

Rv. 4 på Gran, nyttiggjering av svartskifer

Sluttrapport og erfaringar

STATENS VEGVESENS RAPPORTAR

Nr. 333



Tittel

Rv. 4 på Gran, nyttiggjering av svartskifer

Undertittel

Sluttrapport og erfaringar

Forfattar

Halldis Fjermestad, Elisabeth Gundersen, Per Hagelia, Anne Brit Moen og Malin Torp

Avdeling

Prosjektavdeling øst

Seksjon

Prosjekt Vestoppland

Prosjektnummer

105150

Rapportnummer

Nr. 333

Prosjektleder

Anne Brit Moen

Godkjent av

Anne Brit Moen

Emneord

Alunskifer, svartskifer, syre- og tungmetallpotensial, utlekking, tunnel, masseutskifting av myr, XRF, logistikk

Samandrag

I 2013 fekk Statens vegvesen – Prosjekt Vestoppland løyve til å nyttiggjere alunskifer og annan forureinande svartskifer i samband med masseutskifting av ei myr for bygging av ny Rv. 4 gjennom Gran kommune. I løyvet frå Fylkesmannen, Miljødirektoratet (MD) og Statens strålevern (SSV) blei det gitt fleire vilkår som måtte oppfyllest av Statens vegvesen. Dette galdt særleg geotekniske, hydrologiske og geokjemiske forhold i og omkring masselageret; prosedyrar for klassifisering med omsyn til potensial for utlekking av syre og tungmetall og krav til oppfølging i anleggsfasen og driftsfasen. Denne rapporten er eit sluttdokument frå Statens vegvesen til MD og SSV.

Rapporten går gjennom alle undersøkingar, analysar og tiltak som er utført og presenterer erfaringar med korleis potensielt forureinande masse kan nyttast som ressurs i samband med vegbygging når forholda ligg til rette for det.

Title

National Road 4, utilization of black shale

Subtitle

Final report and experiences gathered

Author

Halldis Fjermestad, Elisabeth Gundersen, Per Hagelia, Anne Brit Moen og Malin Torp

Department

Projects Department Eastern Region

Section

Project Vestoppland

Project number

105150

Report number

No. 333

Project manager

Anne Brit Moen

Approved by

Anne Brit Moen

Key words

Alum shale, black shale, acid and heavy metal potential, leaching, tunnel, mass replacement of bog, XRF, logistics.

Summary

In 2013 the Norwegian Public Roads Administration (NPRA) was permitted to use alum shale and other black shale in connection with mass replacement of a bog for construction of new National Road 4 at Gran. The permissions from the County Governor, the Norwegian Environment Agency (NEA) and the Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA) were given on the assumption of full compliance with several defined condition. The most important conditions were related to geotechnical, hydrological and geochemical properties within and around deposited black shales, with emphasis on acid rock drainage and heavy metal leaching potential, with demand for monitoring during the construction phase and the operational phase. This present final report from NPRA to NEA and NRPA presents all investigations, analyses and measures that have been carried out, showing how potentially polluting rock mass may be utilised as a resource in connection with road construction under favourable conditions.

FORORD

Det var svært få i Norge som hadde noko særleg kompetanse på svartskifer/alunskifer då Prosjekt Vestoppland starta førebuingane for å få løyve om lokal lagring av alunskifer frå tunnelane på ny rv.4 i Gran. Endringa i Forurensingsforskriften som kom i 2009 skjerpa og krava til korleis ein kunne ta ut og gjere bruk av alunskifer, i mot kva ein såg for seg under reguleringsplanlegginga i 2003–2005, og gjorde det naudsynt med ein omfattande søknadsprosess. Vi fekk svært god hjelp og rettleiing frå Miljødirektoratet (den gong KLIF) representert ved bl.a Hans Jørund Hansen og Thomas Hartnik, men avgjerande for å komme godt i gang var solid støtte frå fagmiljøet både eksternt og internt. At særleg Roger Roseth (Bioforsk), Erik Endre (NGI/Structor), Trygve Dekko og Kjetil Moen (Multiconsult), og Fredrik Bockelie (Sagex), delte sine erfaringar med oss heilt frå tidleg fase, var avgjerande for at den vidare utviklinga blei positiv og har medvirka til større tryggleik om eigenskapane til denne spesielle bergarten. Prosessen har vore prega av tverrfaglege og engasjerte personar, og godt samarbeid har gjort at ein har lukkast med til dømes å ta i bruk handheldt utstyr ute på anlegget og til å etablere sett av grenseverdier som gjorde klassifisering og sortering muleg.

Gjennomføringa av dette pilotprosjektet hadde ikkje vore muleg for Prosjekt Vestoppland utan støtte frå eit svært sterkt internt fagmiljø i Statens vegvesen, der Per Hagelia har vore ein uvurderleg faginstans heilt frå starten av, og Elisabeth Gundersen bidrog til å få endelig løyve i 2013 med tiltaksplanen for hydrologi. At etatsprosjektet NORWAT valde å bruke Gran som «case», var og til stor hjelp med bl.a prøvetaking og mange studentoppgaver via NMBU. Om ikkje alle i prosjektet har greidd å følgje med på innhaldet i alle ivrige fagdiskusjonar så har vi heldigvis heile vegen hatt kompetent oppfølging av Elisabeth Gundersen, Malin Torp og Halldis Fjermestad som har samla trådane. Dei har og i all hovudsak stått for innsamling av data og forfatta rapporten saman med Per Hagelia. Ein stor takk til alle som har bidrege, og ikkje minst ein stor takk til alle i byggeledelsen som trufast og pliktoppfyllande har sørga for ein trygg gjennomføring. Det er ikkje muleg å nemne alle, men vil rette ein stor takk til Jon Kvisberg i søknadsfasen for pågangsmot og koordinering, og spesielt Stian Ellingsen og Per Olav Tangen for etterretteleg oppfølging og positiv innstilling i gjennomføringsfasen.

Det har vore ei spennande reise, heilt frå då prosjektet byrja førebuingane til søknaden fleire år før anleggstart, fram til dagens resultat etter opninga av vegen i 2017. Pilotprosjektet har vore krevjande og eit stort løft for Statens vegvesen. Krava som var stilt i løyvinga frå miljømyndigheitene i 2013 var svært omfattande, og det har vore mange ukjente parameter som ein måtte finne undervegs. Sjølv om arbeidet har kravd mykje ressursar så har det vore svært interessant, og vi vonar at sluttrapporten gjev trygge svar, og at meir kunnskap om svarte skifre kan bli til nytte for framtidige prosjekt.

Til slutt vil vi rette ein spesiell takk til Erik Endre (NGI/Structor) som har vore fagleg rådgjever undervegs i heile perioden. Han har og saman med Hedda Vikan (Statens vegvesen) gitt gode innspel til forbedringar på denne sluttrapporten.

Gran, april 2018

Anne Brit Moen

INNHALD

Forord	1
DEL 1. BAKGRUNN FOR MASSEUTSKIFTING MED SVARTSKIFER	7
1. Introduksjon og bakgrunn.....	7
1.1. Innleiing	7
1.2. Bakgrunn.....	9
1.3. Regelverk og grenseverdiar	11
1.4. Oversikt grunn- og miljøundersøkingar og vitskaplege gradsoppgåver	14
1.4.1. Geologiske grunnundersøkingar	14
1.4.2. Vassprøver tatt før- og i anleggsperioden	19
1.4.3. NORWATs Arbeid og Vitskaplege gradsoppgåver som har blitt gjennomført.....	20
2. Geologiske forundersøkingar	22
2.1. Innleiing	22
2.2. Tidlege undersøkingar for tunnel i samband med kommunedelplanen	23
2.3. Feltundersøkingar i samband med reguleringsplanen	23
2.4. Forundersøkingar i samband med byggeplan.....	27
2.4.1. Ingeniørgeologiske undersøkingar for Granstunnelen.....	27
2.4.2. Bruk av steinmaterialar	30
2.5 Utlekkingsstestar og mineralsamansetning	31
2.5.1 Statisk utlekkingsstest i samband med reguleringsplansarbeidet	31
2.5.2 Utlekkingstestar ved NMBU-Ås innan NORWAT-prosjektet	33
2.5.3 Samla tolking	38
3. Undersøkingar i myr.....	39
3.1. Vassbalansen.....	39
3.2. Sonderingar, pumpetest og overvaking av grunnvasstand.....	41
3.3. Kjemiske undersøkingar av grunnvatn og vassdrag	44
3.3.1. Vassprøver av grunnvatn og vassdrag	44
3.3.2. Eh – pH-målingar med handhaldt instrument	46
3.4. Topografi og tilgjengeleg volum for masseutskifting	50
DEL 2. KLASSIFISERING OG IDENTIFISERING AV SVART LEIRSKIFER, INKLUDERT ALUNSKIFER, OG GJENNOMFØRING AV MASSEUTSKIFTING AV MYR	52
4. Tidslinje for utført masseutskifting med SVARTskifer	52
5. Klassifisering av svart leirskifer	53

5.1.	Metode for identifisering og klassifisering av svart leirskifer	53
5.1.1.	Bakgrunn for val av metode	53
5.1.2.	Klassifisering av Leirskifer med XRF	53
5.1.3.	Tilleggsvurderingar	60
5.1.4.	Klassifisering av tunnelstein.....	60
5.1.5.	Klassifisering i dagsone	63
5.2.	Resultat av svartskiferklassifisering	63
5.2.1.	Tunnel	63
5.2.2.	Dagsone.....	64
5.2.2.1.	Horgenmoen	65
5.2.2.2.	Nordtangen	67
5.2.3.	Vurdering av radioaktivitet basert på XRF-analysar av uran	73
5.3.	Diskusjon av metode for klassifisering	74
5.3.1.	Grenseverdier for klassifisering av potensielt syredannende massar	74
5.3.2.	Bestemming av radioaktivitet i massane	76
5.3.3.	Kjerneboring foran tunnelstuff og uttak av prøver på stuff	77
5.3.4.	Klassifisering av berg i dagsone.....	78
6.	Masseutskifting med alunskifer	79
6.1.	Metode for utgraving av myr	79
6.2.	Oppfølging av grunnvasstand under anlegg	81
6.3.	Utrekning av omrekningsfaktor mellom faste og lause massar.....	84
6.4.	Oppfølging av masseutskifting og vasskjemi i open byggegrop	85
6.5.	Utlegging av massar frå tunnel og dagsone.....	89
6.6.	Setningsmålingar	91
6.7.	Oversikt over volum svartskifer sprengt ut frå tunnel og frå dagsoner	95
6.8.	Utstrekning av masselager	95
6.9.	Statistikk over kjemisk samansetjing til utlagd skifer	96
6.9.1.	Oppfølging av fyllingsfrontar i masselageret.....	96
6.9.2.	Fyllingsfront 22.05.14.....	97
6.9.3.	Fyllingsfront 27.08.14.....	98
6.9.4.	Fyllingsfront 23.02.15.....	99
6.9.5.	Fyllingsfront 24.03.15.....	100
6.9.6.	Fyllingsfront 20.04.15.....	101
6.9.7.	Fyllingsfront 11.05.15.....	102

6.9.8. Fyllingsfront 01.06.15.....	104
6.9.9. Fyllingsfront avslutning juli 2015.....	105
6.10. Mellomlagring	106
6.11. Ferdigstilling og drenering av masseutskifta område	109
6.11.1. Tildekking av Masselageret	109
6.11.2. Drenering	110
6.11.3. Viktig å ha ei tett oppfølging under anleggsperioden.....	111
DEL 3. RESULTAT FRÅ MILJØOVERVAKING OG OPPFØLGING UNDER ANLEGGSPHASE.....	113
7. Miljøovervåkingsprogram.....	113
7.1. Overvåkingsregime.....	113
7.2. Tolking av vassprøver.....	115
8. RESULTAT FRÅ OMRÅDE FOR MASSEUTSKIFTING	116
8.1. Under masseutskifting.....	116
8.1.1. Vassprøver i open byggegrop i masselager	116
8.1.2. Målingar av eH/pH og oksygen med handheldt utstyr.....	123
8.1.3. Flotasjon av oljeaktig lag på overflata av opent vatn i masselager	125
8.1.4. Tolking/konsekvensar.....	128
8.2. Etter masseutskifting.....	129
8.2.1. Overvaking i masselageret	129
8.2.1.1. Vassprøver i Overvåkingsbrønnar frå masselageret	130
8.2.1.2. Manuell logging med handheldt utstyr	135
8.2.1.3. Automatisk logging	137
8.2.1.4. Gipsutfelling og svelling	143
8.2.2. Overvaking av tilgrensa område til masselageret.....	145
8.2.2.1. Drensvatn frå tunnel og område sør for tunnel.....	145
8.2.2.2. Overvåkingsbrønnar nedstraums og oppstraums masselageret.....	148
8.2.3. Tolking av vassprøver	154
9. UTSLEPP AV ANLEGGSVATN	157
9.1. Drivevatn frå tunnel.....	157
9.1.1. Utsleppsløype for tunneldrivevatn	157
9.1.2. Reinseanlegg.....	158
9.1.3. Vekeblandprøver.....	158
9.1.4. Tolking/konsekvensar.....	160
9.2. Utpumpa vatn frå område for masselager.....	161

9.2.1.	Utsleppskrav og forventa kvalitet på vatn i byggegrop.....	161
9.2.2.	Reinseanlegg for utpumpa vatn frå masselageret.....	162
9.2.3.	Drifting av anlegget	164
9.2.4.	Prøvar av utsleppsvatn og reinseeffekt.....	165
9.2.5.	Estimering av urankonsentrasjonar i Vigga	171
9.2.6.	Tolking/Konsekvensar	172
10.	Vassresipientar	173
10.1.	Oversikt prøvelokalitetar	173
10.1.1.	Prøvelokalitetar ved vegskjæringer	173
10.1.2.	Prøvelokalitetar ved masselager	173
10.2.	Vigga.....	175
10.2.1.	Vassprøver 2014–2015	175
10.2.2.	Automatisk logging av vasskvalitet med multiparametersonder (MPS).....	180
10.2.3.	Passive prøvetakarar (DGT) for biotilgjengelege metall i vassfasen.....	180
10.2.4.	Vassprøver etter tildekking av masselaget.....	182
10.2.5.	Fiskeundersøkingar	184
10.2.6.	Tolking/ konsekvensar	184
10.3.	Bekk på Nordtangen (vegskjering nord for Gran).....	185
10.3.1.	Historikk.....	185
10.3.2.	Vassprøver	188
10.3.3.	Botndyr.....	195
10.3.4.	Tolking/ konsekvensar	195
10.4.	Bekk i Horgenmoen (forskjering nordre tunnelpåhogg)	196
10.4.1.	Historikk.....	196
10.4.2.	Vassprøver	197
10.4.3.	Test av absorbent.....	204
10.4.4.	Tolking/ Konsekvensar.....	204
10.5.	Vøienbekken.....	205
10.5.1.	Vassprøver	205
10.5.2.	DGT.....	206
10.5.3.	Tolking/konsekvensar	206
10.6.	Jarenvatnet	206
10.6.1.	Sedimentprøver	206
10.6.2.	Analysar av fisk	207

11.	Vurdering av miljøpåverknad	207
11.1.	Vurdering av miljøpåverknad i vassdrag	207
11.2.	Vurdering av masselagerets tilstand	210
12.	Oppfølging vidare	211
12.1.	Overvakingsprogram	211
12.2.	Hensynssoner	213
DEL 4	ERFARINGAR FRÅ GRAN	215
13.	Forundersøkingar	215
13.1.	Geologisk og geotekniske undersøkingar	215
13.2.	Hydrologiske og vasskjemiske undersøkingar	217
13.3.	Lagringsmetode	218
14.	Under anleggsdrifta	219
14.1.	Klassifisering av svartskifer med XRF i anleggsdrifta	219
14.1.1.	Viktigheita av XRF-bruk	219
14.1.2.	Grenseverdiar – behov for mineralogisk analyse i kvart prosjekt	220
14.2.	Samarbeid byggherre og utførande entreprenør	221
14.3.	Redusering av miljørisiko	222
14.3.1.	Miljøovervakingsprogram	222
14.3.2.	Tiltak mot spreieing av Forureining	223
15.	vidare utvikling	225
15.1.	Lokal lagring	225
15.2.	Klassifisering av svartskifer	225
15.3.	Tålegrenser i vatn	226
15.4.	Reinsing av vatn	227
15.5.	Vidare bruk av data frå Gran	227
16.	Referansar	228
17.	Vedlegg	233

DEL 1. BAKGRUNN FOR MASSEUTSKIFTING MED SVARTSKIFER

1. INTRODUKSJON OG BAKGRUNN

1.1. Innleiing

I 2003 blei kommunedelplanen med val av korridor for ny firefelts rv. 4 gjennom Hadeland vedteken. Dette innebar også at det blei nødvendig å ta hand om store mengder svartskifer med syreproduserande potensiale, kjent som alunskifer, frå tunnelane i Gran. Det var elles på austlandet fleire døme på at bergarten kunne gje svært uheldige miljøpåverknader, til dømes forsuring og forureining av vassdrag. Kunnskapen om fagområdet var heller liten i bransjen, og prosjektet tok difor i reguleringsplanfasen kontakt med Bioforsk for å starte eit FoU-prosjekt. Ein blei i 2005 einige om følgande målsetting:

- Gjennomføre undersøkingar retta mot å skaffe ein så brei oversikt som mulig
- Skaffe fram opplysningar som kan gje ein miljøforsvarlig handtering av alunskifer/svartskifer i aktuelle prosjekt
- Utarbeide fornuftig dimensjonerte tiltak tilpassa mulig avrenning og vassdrag

Bioforsk (Roseth 2006) utarbeidde på oppdrag frå Statens vegvesen følgjande forslag til FoU-program i samband med nybygging av Rv 4 på Hadeland, Rv 3 og 25 Løten og E6 Moelv- Kolomoen. Forslaget omfatta følgjande:

- «Gi en miljømessig relevant oversikt over ulike typer av alunskifer og svartskifer, sammensetning, geokjemi og forvitningsstabilitet, basert på tilgjengelig informasjon i forhold til litteratur og gjennomførte undersøkelser
- Vurdere/gradere typer av alunskifer/svartskifer i forhold til potensielle miljøproblemer
- Skaffe fram og sammenstille analyser og undersøkelser av avrenningskvalitet og miljøeffekter knyttet til kjente deponier med alunskifer (fokus Norge og Sverige)

- Ta nye vannprøver på utvalgte deponier med ulik alder og ulik fjellkvalitet for ferske opplysninger med samme metodikk og måle/beskrive sammensetning av fysisk tilgjengelig alunskifer/svartskifer på de samme lokalitetene.
- Vurdere opplysninger om alunskifer/svartskifer på aktuelle vegprosjekter i forhold til innsamlet kunnskap og skissere riktig dimensjonerte tiltak for håndtering av disse massene i deponier, tunneler og skjæringer i anleggs- og driftfase.
- Tiltakene vurderes i forhold til lokale forhold, dvs. veglinje, tunneler, planlagte massedeponier, avrenningsmønster og resipientkapasitet/verdi/sårbarhet til de vassdragene som vil motta avrenningen fra disse områdene
- Evt. utføre supplerende undersøkelser av lokale fjellkvaliteter i samarbeid med vegprosjektene og utføre tiltaksvurderinger i samarbeid med valgte konsulenter».

Førebels undersøkingar utført av Statens vegvesen indikerte at bygging av Granstunnelen og andre inngrep neppe ville føre til sur avrenning på kort sikt, på grunn av relativt høg bufferevne i lokale bergartar (Hagelia, 2005). Dette tidlege arbeidet var stort sett basert på uforvitra prøver og det var behov for vidare og meir detaljerte undersøkingar.

Reguleringsplanen for rv.4 Roa – Jaren blei vedteken i Gran kommune i desember 2006, men ikkje i Lunner kommune. Konsekvensen av dette var at heile prosjektet blei teken ut av Nasjonal Transportplan (NTP), og kom ikkje inn igjen som prioritert prosjekt før 2010, og då berre med utbygging i Gran. Dette førte til stillstand i både projektering og FoU i over tre år.

I 2009 blei Forurensingsforskriften skjerpa når det gjaldt handtering av m.a. alunskifer. FoU-prosjektet for å auke kunnskap om alunskifer hadde då lege på is nokre år pga manglande finansiering til vegbygginga, men kom i gang med auka styrke m.a. i samband med at det etter forskriftsendringa blei krav om ein søknadsprosess for å få lov til lokal lagring av massane.

Konseptet hadde heile tida vore å lagre dei utsprengte massane raskt i eit oksygenfritt (reducerande) miljø for å unngå sur avrenning og metallmobilisering ved forvitring og oksidasjon av alunskifer. Målet var å halde massane inerte, og dermed unngå forureining. Ein hadde i reguleringsplanfasen tenkt å lagre massane i ei myr i Lunner

med stor kapasitet, men dette måtte pga delinga av prosjektet endrast til utskifting i ei litt mindre myr i Gran, like utanfor søndre tunnelåpning.

For Prosjekt Vestoppland var det både pga. kostnader og lagringskapasitet i myra svært viktig å få kontroll på omfanget av skifer som hadde potensiale for forureining. FoU-prosjektet blei sett i gang igjen i 2010, og prosjektleiinga trekte inn fleire firma og fagpersonar i bransjen med spesialkompetanse om alunskifer (mellom anna frå «black shale»-prosjektet og ulike miljøfag) i tillegg til etatens egne ressursar og Multiconsult, som var rådgjevar for byggeplanen. Grunnundersøkingane frå kommunedelplanfase og reguleringsplanfase blei supplert med m.a. refraksjonsseismikk, bore- og kaksprøver, og kjerneprøver. Kjerneprøvene og kartlegginga av dei blei spesielt viktige i det vidare arbeidet med FoU-arbeidet, som i 2011 blei utvida med følgjande målsetting:

- Utarbeide plan for undersøkingssmetodikk for oppfølging og sortering av alunskifer/svartskifer på stoff
- Utarbeide grunnlag for å bestemme grenseverdiar som igjen gir rammer for oppfølging under anlegg og ressursbehov.
- Teste aktuelle metodar for analyse av kjerneprøver og bergprøver for kontroll på stoff

Det blei raskt tatt avgjerd om at bruk av handheldt XRF for in situ kartlegging på stoff var eigna, samt at differensiering av ulike type skifrar og var mulig med god støtte i forskningsarbeidet utført av NGI ved Erik Endre (Endre, 2013a). Ei utfordring var mangelen på krav og grenseverdiar for dei ulike tungmetalla i bergprøver. Det blei i gangsett fleire prosessar med mellom anna utlekkingsforsøk for å finne nok grunnlag. Etter fleire møter med Klima- og forurensingsdirektoratet (Klif, no endra til Miljødirektoratet) gjekk prosjektet i 2012 vidare med ein søknad om lokal lagring av utsprengt alunskifer ved masseutskifting i myr under ny rv.4.

1.2. Bakgrunn

Statens vegvesen fekk i 2013 løyve til å nyttiggjere svartskifer i oppbygging av vegkroppen. I løyve frå Fylkesmannen, Miljødirektoratet og Statens strålevern er det gitt vilkår som gjeld gjennomføring, dokumentasjon og rapportering til kvar einskild etat. Denne rapporten svarer ut vilkår 31 i Miljødirektoratets brev datert 27.september 2013.

I brevet er det gitt løyve til graving i alunskifer og bruk av alunskifermassar til oppbygging av veg. Rapporten svarar også ut vilkår 2.5.2 i løyvet gitt av statens strålevern 10.12.2013 til «virksomhet som kan medføre radioaktiv forurensning». Vilkår 31 i Miljødirektoratets løyve krev at:

«Senest 6 måneder etter at anleggsarbeidene er avsluttet skal det sendes inn en sluttrapport til Miljødirektoratet. Rapporten skal beskrive det arbeid og de tiltak som er gjennomført og de resultater som er oppnådd, resultatene fra overvåking i tiltaksfasen, samt et forslag til videre overvåkingsprogram for driftsfasen. Levering av eventuelt farlig avfall skal dokumenteres. Bruk og disponering av syreholdig alunskifer skal beskrives.»

Ettersom Statens strålevern sitt vilkår er tilsvarande Miljødirektoratet har vi fått aksept for å samle alt i ein rapport.

Forundersøkingane fokuserte spesielt på følgjande:

- Skaffe ein mest mogleg nøyaktig oversikt over kor alunskifer og eventuelt andre forureinande svartskifrar er lokalisert og knytte førekomstane til pelnummer
- Avdekke dei kjemiske og mineralogiske eigenskapane til alunskifer, svartskifer frå galgebergledet og dei andre bergartane som førekom i den planlagde tunneltraseen med tanke på reaktivitet, avrenningsproblematikk og eventuelt behov for mellomlagring før deponering
- Undersøke myra som var foreslått som masselager for å dokumentere om alunskifer kunne lagrast med tanke på kjemisk stabilitet (anoksisk), geoteknisk stabilitet og hydrologisk stabilitet.

Statens vegvesen har, i samarbeid med fleire fagmiljø, brukt lang tid på å bygge opp nødvendig kunnskap både for eigen del og for byggebransjen elles. Vi vil i denne rapporten også legge vekt på å dokumentere korleis kunnskapen om vegprosjektet på Gran blei bygd opp. Vidare ønsker vi å få fram kva som gjer forholda på Gran spesielt eigna for lokal masselagring av svartskifer og kva som eventuelt skil desse frå andre stader.

På Gran var det to typar svartskifer som førekom i tunnellopet; svartskifer frå alunskiferformasjonen og svartskifer frå galgebergledet i Tøyenformasjonen. Der vi i denne rapporten skriv svartskifer, inkluderer dette bergrepet både alunskifer og skifer frå galgebergledet dersom det ikkje er spesifisert kva type svartskifer det gjeld.

1.3. Regelverk og grenseverdier

Kapittel 2 i Forurensingsforskriften omhandlar opprydding i ureina grunn i samband med bygge og gravearbeid. § 2–3a i forskrifta definerer ureina grunn på følgjande måte: «grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft». Forskriften definerer også grunn som «forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert».

I denne samanhengen har det tradisjonelt alltid vore eit stort fokus på kambrisk alunskifer, fordi dei fleste variantar av denne svarte skiferen inneheld høge konsentrasjonar av tungmetall og også ofte har eit syredannande potensial. Også andre svarte skifrar enn alunskifer kan representere liknande problem. Årsaka til dette er at svarte skifrar er danna ved svært langsam sedimentasjon under sterkt reduserande forhold der jernsulfid, spesielt pyritt (FeS_2), er stabilt. Jernsulfid inneheld mange av dei skadelege tungmetalla (Ni, Cd, Zn, As m.fl.). Ved oksidasjon av svarte skifrar vil desse metalla bli frigitt til det ytre miljø. Sulfidoksidasjon avgir varme ved kjemiske reaksjonar med vatn og luft og eitt av reaksjonsproduktene er svovelyre. Ved forvitring av alunskifer, dvs. når vatn og oksygen slepp til, kan desse reaksjonane gå raskt. Naturleg forvitra alunskifer i overflata er derfor i prinsipp mest reaktiv og har dermed eit større syre- og tungmetallpotensial enn uforvitra alunskifer i djupet. Tunnelmasse under dagfjellssona er vanlegvis lite påverka av forvitring, men kan vere det i tilknytning til sprekkesoner. Senking av grunnvatnet i bergmasse av alunskifer i samband med byggeaktivitet kan føre til auka oksidasjon. Oksidasjon av alunskifer fører oftast også til svelling og problem for fundament, fyllingar m.m. (Bastiansen, m.fl., 1957).

I løpet av planlegginga kom det ei viktig endring i Forurensningsloven: Frå og med 1. januar 2011 blei radioaktivitet tatt inn forskriftens §1 Saklig virkeområde «Forskriften gjelder forurensningslovens anvendelse på stråling fra radioaktive stoffer som er eller kan være til skade eller ulempe for miljøet...». «...Gjennom forskriften gis

forurensningsloven anvendelse på radioaktiv stråling og radioaktive stoffers virkning på miljø og helse. Forurensningsloven gjelder for forurensning i det ytre miljø og ikke for arbeidsmiljø». Uraninnholdet i alunskifer varierer mellom 50–200 ppm. Uran er knytta til andre mineral enn jernsulfid, men blir likevel løyst ut i vatn og er dermed raskt tilgjengeleg for det ytre miljø.

Det auka fokuset på strålingsproblematikken betyr at Statens vegvesen nå har eit sjølvstendig ansvar for å dokumentere om masseuttak kan føre til strålefare på det ytre miljø. I praksis betyr dette at Statens vegvesen som byggherre må varsle Statens Strålevern om prosjektet kjem i berøring med radioaktiv bergmasse, søke tillatelse ved eventuell handtering og gjennomføre tiltak i samsvar med krav gitt av Statens Strålevern. Statens strålevern definerer berg med over 1 Bq/gram som radioaktivt avfall som må handterast etter Avfallsforskriften. Dersom slik masse blir avdekka på deler av våre planlagde vegstrekningar må Statens vegvesen søke Statens strålevern om løyve.

Praksis har tidlegare vore å køyre alunskifer til godkjent deponi til Langøya i Vestfold. Statens vegvesen avdekte alt tidleg på 2000 talet såpass store volum med alunskifer at ein såg lokal lagring som det einaste som var økonomisk forsvarleg. Prosjektet på Gran har vore eit krevjande pilotprosjekt med stort behov for kompetanseoppbygging og tett samarbeid mellom interne og eksterne krefter innan miljøgeologi, hydrogeokjemi, hydrologi, geoteknikk og biologi. Arbeid innan desse disiplinane har føregått både før og etter at Statens vegvesen fekk løyve til lokal lagring av alunskifer. Det er henta inn omfattande dokumentasjon både frå forundersøkingar, anleggsfasen og tidleg driftsfase.

Bakgrunnen for at Statens vegvesen fekk løyve frå Miljødirektoratet (MD) var:

- At myra med behov for masseutskifting låg i eit djupt trauforma søkk der toppen av bergoverflata under myrmassane ligg omkring 0 til 15 meter djupare enn høgste nivå i resipienten (elva Vigga som renn ut i sørenden av Jaren). Myrmassane har eit øvre tjukt lag av torv (3–8 meter), med marin silt og leire under. I tillegg var det registrert lag av mergel og innslag av ujamt fordelt sand og morenemateriale. Dei naturgitte tilhøva låg godt til rette for tiltaket.
- Mesteparten av alunskifervolumet og anna problematisk svartskifer (galgebergledet) var representert med hovudsakleg uforvittra tunnelmasse frå

Granstunnelen, forvitra alunskifer i forskjeringa rett nord for tunnelen og innslag av alunskiferlag mellom vulkanske gangbergartar (mænaitt og camptonitt) i to vegskjeringa sør for Jaren sentrum. Storparten av alunskifermassen kunne derfor transporterast via tunnelen til masselageret (myra), som er lokalisert rett sør for Granstunnelen.

- Statens vegvesen og NGI hadde utført grundige undersøkingar av miljøgeologiske- og vasskjemiske forhold, både i og utanfor områda med alunskifer. I tillegg skaffa Statens vegvesen fram dokumentasjon av geotekniske, hydrologiske og geokjemiske eigenskapar i myra med tanke på design for stabil lagring av alunskifer (samarbeid med NMBU).
- Statens vegvesen fekk fram ein omfattande risikoanalyse og detaljerte planar for kjemisk klassifikasjon, tildekking, drenstiltak, hydrologisk tiltaksplan, beredskap og overvaking for å unngå oksidasjon og skadeleg avrenning ved sprenging, transport, mellomlagring og masseutskifting.
- Det var etablert eit sterkt tverrfagleg nettverk mellom prosjektleiinga i Prosjekt Vestoppland og Vegdirektoratet (Tunnel og betongseksjonen, Miljøseksjonen og Geo- og skredseksjonen). Ved etablering av det fireårige FoU-programmet NORWAT i SVV blei rv 4 Gran vald ut som ein hovudaktivitet i tett samarbeid med NMBU-Ås. Det har og vore betydeleg støtte frå fagmiljøet i NGI, Multiconsult og Bioforsk.

Statens strålevern (SSV) aksepterte at vilkåra for god handtering av radioaktivt avfall var ivaretatt ved masseutskifting av myra (brev datert 10.12.2013). Det blei likevel nødvendig å søke SSV separat om handtering av alunskifer på strekninga nord for Granstunnelen, der det er alunskifer i nokre høge vegskjeringar. Det blei gitt løyve til dette i brev datert 04.07.2014.

Fylkesmannen i Oppland (FMO) gav utsleppsløyve, i brev datert 19.11.2013, med svært omfattande utsleppsgrenser for anleggsfasen og driftsfasen. Grenseverdiane baserte seg på tilstandsklasse 2 og 3 i Miljødirektoratets utkast til miljøklassifiseringssystem av ferskvatn (TA3001) (KLIF, 2012), sjå tabell 27 og 33. I anleggsfasen viste det seg å vere vanskeleg å halde seg innanfor nokre av krava (sjå Del 3). Prosjektet søkte FMO om litt høgare grenseverdier for nokre parameter i søknad datert 27.06.2014, noko som førte til ei munnleg avklaring frå FMO i eit møte. Grenseverdiane som gjeld for driftsfasen var

uendra, men vart omsøkt i 20.06.2017 i samband med utslepp av tunnelvaskevatt (SVV, 2017), basert på ei miljørisikovurdering av NIBIO (2017).

1.4. Oversikt grunn- og miljøundersøkingar og vitskaplege gradsoppgåver

1.4.1. GEOLOGISKE GRUNNUNDERSØKINGAR

Tabell 1 under gir ei oversikt over dei mest viktige undersøkingane som blei utført på kvart plansteg.

Tabell 1. <i>Oversikt over undersøkingar utført på Rv 4 Gran grense-Jaren</i>						
År	Geologiske/ geotekniske rapportar	Boringar i berg (opptak borekaks, kjerneboringar mm)	Undersøking av alunskifer og andre bergartar på Gran	Undersøking av myr/masselager og resipient	Forholdet til Forurensingsloven	Planfase
2001– 2003	Statens vegvesen (Iversen og Klüver, 2001, Iversen 2001)	Borholsinspeksjon (Elvebakk, 2001)	Kartmessig utbreiing (innleiande)	Nei	Nei	Konsekvensutgreiing og kommunedelplan: Vedtak 2003.06.26
2004	Geophysics (2004) Lausmasse og refraksjonsseismikk	Nei	Nei	Nei	Miljøoppfølgingsplan	Reguleringsplan,
2005	Bergartsidentifikasjon Borekaks (Geokart AS, 2005) Vurdering av alunskifervolum i vegskjeringar (SVV– Sloreby 2005, Vedlegg 1.2) Forprosjekt tunnel (Rambøll 2005)	Borekaks frå tunnel- og skjeringar (SVV– Sloreby (2005, Vedlegg 1.1 og 1.2)	Innleiiande mineralidentifikasjon og statisk utlekkings- forsøk (Hagelia, 2005)	Omfattande boreprogram i myr (SVV–Sloreby)	Miljøoppfølgingsplan Fokus på syrepotensial og tungmetallmobili- sering i alunskifer, galgebergskifer mm.	Reguleringsplan,
2006	Nei	Nei	Forslag til FoU-program (Roseth, 2006)	Nei	Forslaget til FoU leggst til grunn for vidare prosjektering	Reguleringsplan Gran grense – Jaren. Vedtak 2006.12.13. <i>Stans i framdrift til 2010.</i>

2010	Granstunnelen – kreativ fase (Multiconsult 2010)	Nei	Svartskifer, Hadeland VGS (Endre, 2010)	Nei	Auka fokus på tiltak etter endring i forurensningsloven i 2009	Byggeplan
2011	Premissnotat tunnel (Multiconsult 2011-1) Refraksjonsseismikk (Toresson, 2011) Vurdering av alunskifervolum i vegskjeringar (Multiconsult 2011-2)	Supplerande fjellkontrollboringar (SVV) Kjerneboringar (fire djupe kjerner BH 1 til BH4, Multiconsult 2013, Endre, 2013a)	Handtering av alunskifer (Multiconsult 2011-4) Vegoppbygging, avrenning, eksponerings-miljø betong (SVV- Hagelia 2011)	Prøvegraving, myr (Multiconsult 2011-3) Forslag om lokal lagring av alunskifer ved masseutskifting (Multiconsult, referat i Vedlegg 2) Prøvetaking/analyse av vatn ved ulike årstider (Multiconsult)	Tiltaksplan (Dekko/Multiconsult 2011-4, Roseth/Bioforsk 2011)	Byggeplan
2012			Endre/NGI arbeider med kjemisk stratigrafi og skaffar fram grunnleggande føresetnader for kjemisk klassifikasjon av alunskifer og andre svarte leirskifrar	Multiconsult/SVV/ NORWAT/NMBU Opptak av 54 mm sylindrar («Hull nr. 1») geoteknisk)	Møte med Statens strålevern (mars 2012) Måling av Bq/g i skifer tunnel (v/IFE: Endre 2012 vedlegg 5.1) Første ROS-analyse (august) Søknad til KLIF	Byggeplan Oppstart etatsprogrammet NORWAT (2012-2015)

2013 Januar til juli	Geologisk rapport Granstunnelen med geologiske lengdeprofiler utarbeidd av Tunnel og betongseksjonen- Vegdirektoratet (Multiconsult 2013)	Supplerande fjellkontrollboring og nye kjerneboringar, BH 5, BH6-1, BH6-2. Komplettering av geologi i undergrunnen	Kriterier for identifisering og karakterisering (Endre, 2013a) Utlekkingstestar i NORWAT-prosjektet. Tungmetall inklusive uran (Masteroppgåver Fjermestad 2013, Helmers 2013)	Multiconsult/SVV/ Bioforsk. Undersøking av myr og etablering av monitorbrønner (Eh-pH, vasskjemi, pumpe-test). Uttak og målingar av Eh-pH og på 54 mm sylindrar m.m) med geotekniske analysar	Arbeid med søknader/møter med Klif/MD	Byggeplan Konkurransegrunnlag Anleggsbefaring NCC tildelt kontrakt
2013 August til desember		Oppstart kjerneboringar framfor tunnelstuf (begge tunneløpa blei drevne mot nord)	Opplæring og uttesting av handheldt XRF, inkl. kalibrering av instrumentet for bruk på svarte leirskifrar mm.		Interne grenseverdier for klassifisering av svarte skifrer etablert (Statens vegvesen) Revidert ROS-analyse Utsleppsløyve frå Fylkesmannen 19.11.13 September løyve frå MD, og desember løyve frå SSV	Samhandling med valt entreprenør. Anleggstart, september 2013
2014	Rapportering av ingeniørgeologiske forhold i Nova Point Tunnel (Statens vegvesen) ERT-scanning frå Helikopter (NGI, 2014)	Kjerneboringar framfor tunnelstuf og innsamling av bergprøver frå stuf	Masteroppgåve i NORWAT uranutleking (Hernandez-Santos 2014). Kontinuerleg klassifisering av tunnelmasse ved XRF	Multiconsult/SVV/ NORWAT/NMBU	Måling av Bq/g i skifer frå skjeringar (vedlegg 5.2) i alunskifer Utslepp til resipient (Roseth/Bioforsk 2014). Revidert utsleppsløyve	Anlegg

2015	Rapportering av ingeniørgeologiske forhold i Nova Point Tunnel (Statens vegvesen)	Kjerneboringar framfor tunnelstuff (avslutta etter ein kom inn i alunskifer)	Kontinuerleg klassifisering av tunnelmasse ved XRF (mindre omfang i alunskifer) Oppstart storskala utlekkingsstest (kontainerforsøk, effekt av kalking (Fjermestad, Hagelia & Thommasen, 2017)	SVV/ NORWAT/NMBU	Sluttrapport midlertidig rensesanlegg Granstunnelen (FMO)	Anlegg
2016	Rapportering av ingeniørgeologiske forhold i Nova Point Tunnel (Statens vegvesen)		Storskala utlekkingsstest fortsetter. XRF-målingar langs veg i dagen mm Masteroppgåve Alunskifer svelling (Terefe 2016)	SVV/NORWAT/NMBU		Anlegg
2017		Geologisk sluttrapport (under arbeid)	Resultat frå utlekkingsforsøk i felt (Fjermestad mfl. 2017) Masteroppgåver ved UiO (Erstad 2017, Børresen 2017)	ROS-analyse for eventuelle hensynsoner, bygging og graving i nærområda (SVV, 2017-18)	Utarbeiding av sluttrapportar for tiltaket Område er lagt inn i Grunnforurensningsdata basen.	Vegopning 8. juli 2017

1.4.2. VASSPRØVER TATT FØR- OG I ANLEGGSPERIODEN

I rapporten (del 2 og 3) går vi gjennom resultatene for undersøkingane av vasskjemi og hydrologi. Følgjande miljøundersøkingar for anleggsfasen er utført (tabell 2):

Tabell 2. Oversikt over miljøundersøkingar utført i samband med anleggsarbeida på Gran og masseutskifting med alunskifer. Tabellen angir område, type undersøking, dato for prøvetaking, referanse til vedlegg og kommentarar.

Område/lokalitet	Type prøve/undersøking	Tidsperiode	Vedlegg	Kommentar
Vigga, bekkar og grunnvatn	Vassprøver	2011 og 2012	6	Multiconsult
Myrområde	Boring av 14 brønner for overvaking og pumpetest	21.02.2013 – 27.02.2013		Brønnane blei tatt ned under anlegg, brønn 13 står att.
Myrområde før masseutskifting	Vassprøver i overvakingsbrønner	04.2013 – 10.2013	7	Statens vegvesen
Myrområde før masseutskifting	Eh/pH i brønner på myr	04. 2013	Tabell 9	Bioforsk
Myrområdet	Online logging av grunnvasstand med loggarar i brønner	18.03.2013 –		Eh/pH måling i brønn 13
Myrområde, byggegrop	Vassprøver	03.2014 – 07.2015	12.1	Utført i perioden medan utlegging av svartskifer føregjekk.
Myrområde, byggegrop	Eh-pH med handhaldt multiparametersonde	03.2014 – 06.2015	13	Utført i perioden medan utlegging av svartskifer føregjekk.
Myrområde, brønner	Vassprøver		14	
Myrområde, brønner	Eh-pH med handhaldt multiparametersonde	2016–2017	15	SVV
		2017–2018	16	NIBIO
Myrområde, brønner	Online multiparametersonde	2016 –	Kap 8.2.1.3	Måleinstrument frå GEONOR i brønn B1,B2 og B3 (eH/pH i brønn B1 og B3)

Myrområde, utpumpa vatn	Vassprøver	06.2014 – 06.2015	20	
Tunnel, drivevatn	Vekeblandprøver, Vassprøver	Veke 48, 2013 – veke 43, 2015	19.1 19.2 Tabell 31	Slutt drivefase uke 22, nedrigga renseanlegg veke 40
Tunnel, drivevatn	Online multiparametersonde	28.11.2013 – 05.11.2015	19.1	
Vigga	Vassprøver	01.2014 –	24	
Vigga	DGT	01.2014 – 06.2016	27	COWI
Vigga	Online multiparameter sonde		26	NIBIO
Horgenmoen, bekk	Vassprøver	03.2014 –	22.1	
Nordtangen, bekk	Vassprøver	02.2014 –	23	
Vøienbekken	Vassprøver	2014, 2017	25	
Vøienbekken	DGT	01.2014 – 06.2016	27.1	COWI
Testområde <i>rødmull</i> , utløp frå bekk i Horgenmoen til Jarevatn	Vassprøver	06.01.2015	22.2	Striesekkar med <i>harpet rødmull</i> blei lagt ut som adsorbent 15.12.2014
NORWAT-undersøkingar	Vasssprøver, botndyr, metallopptak i fisk mm	2013 – 2015		Sjå sluttrapport (Skipperud m.fl. 2016)

1.4.3. NORWATS ARBEID OG VITSKAPLEGE

GRADSOPPGÅVER SOM HAR BLITT GJENNOMFØRT

Kunnskapsutviklinga har føregått i nært samarbeid mellom Statens vegvesen og universitet på NMBU. Etatsprogrammet NORWAT gjennomførte feltarbeid og prøvetaking før anleggstart (juni og september 2013), under anleggsperioden (juni 2015) og etter at utgraving og deponering av svartskifer var ferdig (september 2015). Prøvar som blei tatt under feltarbeida omfatta vatn, både oppslutta og in-situ fraksjonert vatn, sediment, botndyr, fisk og noko jord og planter. Prøvetakinga inkluderte analysar av relevante metall i prøver fra utvalgte lokalitetar. Analyser av U-238 og Th-232 og Po-210 var

også inkludert. Gammadosar blei også målt in situ ved hjelp av Automess på alle prøvetakingslokalitetane. Oppsummerte resultat frå NORWATs arbeid og forskningsresultat er publisert i sluttrapporten *Inngrep i områder med sulfidrike mineraler – Effekter og miljørisiko* (Skipperud m. fl. 2016). Rapporten er tilgjengeleg på NORWAT sine sider på www.vegvesen.no. På same område ligg også aktuelle masteroppgåver og vitenskaplege artikler frå rv 4. Tabell 3 viser utførte masteroppgåver knytt til vegprosjektet. I tillegg har ein doktorgrad blitt gjort på sorbentundersøkingar (Alvarenga, 2016) og Frøydis Meen Wærsted er i gang med ein anna doktorgrad.

Tabell 3. Masteroppgåver (og ein doktorgrad) utført med relevante problemstillingar frå Rv 4 Gran

Tittel	Forfattar	År	Institusjon
Mobilitet av uran fra forskjellige bergarter som funksjon av pH: Implikasjoner for tunnelbygging	Tari Anne Helmers	2013	UMB
Mobilitet av uran og andre metall i bergartar i ny vegtrasé på Gran, Hadeland	Halldis Fjermestad	2013	UMB
Potential Mobility of Radionuclides and Trace Elements in Bedrock Materials and in the Deposition Area at a Tunnel Construction Site RV4 Gran, Hadeland	Stephanie Hernandez Santos	2014	NMBU
Leaching Uptake and Effects in Brown Trout (<i>Salmo trutta</i>) of Radionuclides and Metals from Black Shales and Sulphur Bearing Gneiss	Maren Hjulstad	2015	NMBU
Immobilization of uranium as a function of peat content	Mansoor Ahmad	2015	NMBU
Utvikling av vannkvalitet i en innsjø med ulike påvirkningsfaktorer studert ved sedimentanalyser – med eksempel fra Jarevatnet med hovedfokus på biologiske analyser	Marlene Sørli	2015	NMBU
Ecological implications of road construction in an alum shale bedrock area. A state highway (Rv4) case study	Joachim Engelstad	2016	NMBU
Swelling properties of Alum Shale as a function of its mineralogy	Desta Terefe	2016	UIO
Applicability of Natural Porous Materials and Lime with Conditioning and Sorption Properties for Wastewater Treatment	Emilio Alvarenga	2016	NMBU
Leaching of uranium and heavy metals from acid producing black shales	Lars-André Erstad	2017	UIO
Geochemical and mineralogical evaluation of mineral-water reactions and leaching potential in a black shale depot	Håkon Skumsrud Børresen	2017	UIO

2. GEOLOGISKE FORUNDERSØKINGAR

2.1. Innleiing

Dei miljøgeologiske undersøkingane fokuserte på geologiske tema som vanlegvis ikkje går inn i ordinære vegvesenprosjekt. Det blei lagt særleg vekt på detaljert bergartsidentifikasjon, mineralogisk og geokjemisk analyse og nøyaktig geologisk kartlegging av bergartsgrenser. Geologien i området Gran – Jaren er kompleks, med behov for mange observasjonspunkt for å komme fram til riktig tolking av geologien i undergrunnen.

Prosjektområdet mellom Gran grense og Jaren går gjennom kambriske–ordoviciske sedimentære bergartar, inklusive svarte skifrar (ca. 500–470 millionar år gamle) (sjå figur 1). Den sedimentære lagrekka på Hadeland er sterkt påverka av seinare folding og overskyving i kaledonsk tid (ca. 400 millionar år sidan) og inntrenging av magmatiske gangar (mænaitt m.m.) for omkring 300 millionar år sidan. Det finst få stader med godt blottlagt berg i området. Lausmassane blei danna under og etter siste istid, og består hovudsakleg av elveavsetningar omkring elva Vigga og elles morene, marin silt og leire og torv. Det er i tillegg førekomstar av forvittringsjord med innslag av alunskifer.

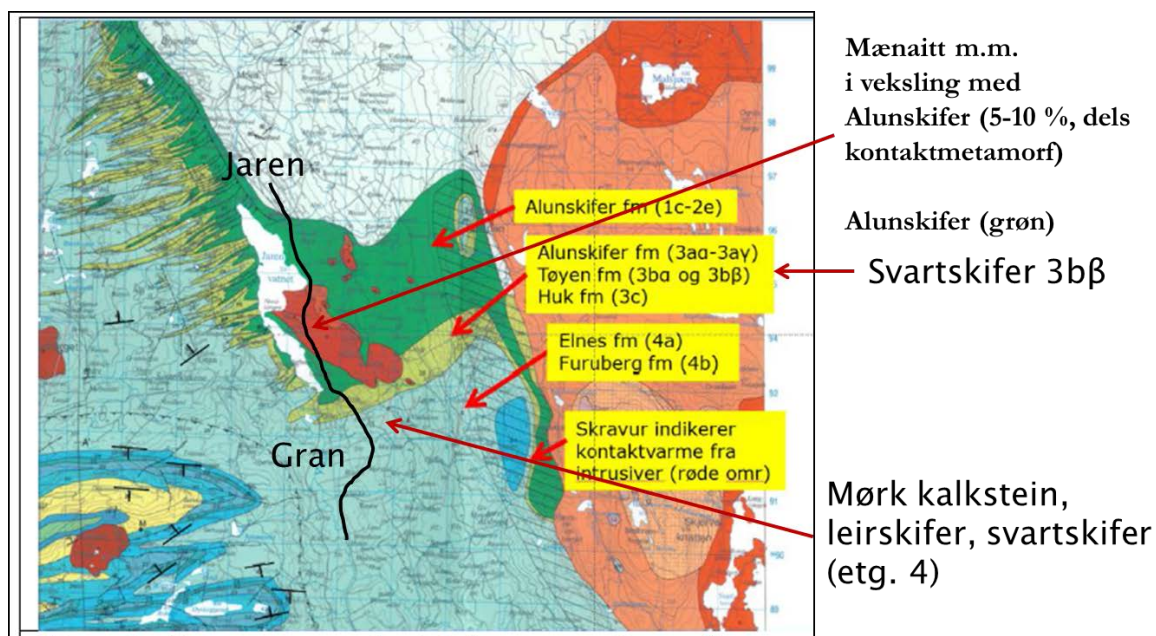
Planlagde masseuttak med alunskifer var i hovudsak frå dei ca. 1700 m lange Granstunnelane og nokre vegskjeringar nordanfor. Geologisk kartlegging, registreringar og boringar hadde som mål å skilje mellom a) miljømessig problematiske svartskifrar (alunskifer og deler av såkalla Galgebergskifer) og b) ulike kalksteinsvariantar og uproblematiske svarte leirskifrar som kan disponerast fritt. Forundersøkingane la etter kvart stor vekt på den lokale sedimentære stratigrafien og strukturgeologisk forståing av kaledonsk deformasjon som grunnlag for nøyaktig lokalisering av bergartsgrenser relatert til pelnummer. Undersøkingane gav grunnlag for uttak av representative prøver for miljøgeologisk analyse, inklusive mineralsamansetning, totalkjemi, utlekkingstestar og potensiell innverknad på ytre miljø. Området for planlagd masselager i ei torvmyr rett sør for Gran sentrum blei undersøkt i stor detalj med tanke på geotekniske, hydrologiske og geokjemiske eigenskapar.

Med utgangspunkt i dette var det muleg å estimere totalvolumet av potensielt miljøskadelege svartskifrar, etablere nødvendig beredskap, utarbeide

klassifiseringssystem/rutinar for å skilje ut masse med høgst miljørisiko og ein optimal anleggslogistikk med tanke på lokal lagring av svartskifer over gitte grenseveridar.

2.2. Tidlege undersøkingar for tunnel i samband med kommunedelplanen

Den første geologiske forundersøkinga for Granstunnelen blei utført i samband med kommunedelplanen. Undersøkinga konkluderte med at tunnelen ville gå gjennom alunskifer, og andre svarte skifrar og kalksteinar. Arbeidet konkluderte med at tunnelprosjektet var gjennomførbart og gav viktig informasjon om utstrekninga til alunskiferen (Iversen og Klüver 2001, Iversen 2001).



Figur 1. Geologisk oversiktskart med alunskifer farga i mørkegrønt (basert på kart frå NGU). Dei ulike formasjonane er bestemt av Geokart AS (2005) og NGI (Endre, 2013a). Den svarte streken viser nye Rv 4 Gran grense - Jaren.

2.3. Feltundersøkingar i samband med reguleringsplanen

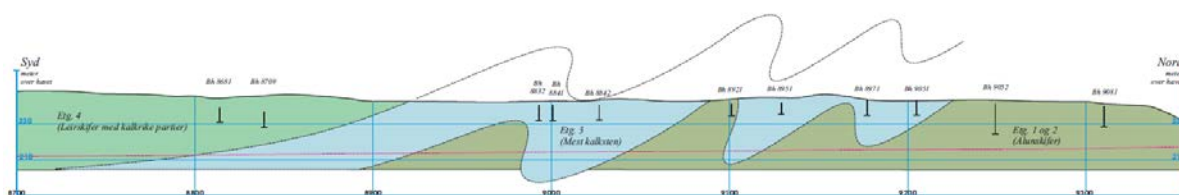
Området omkring Gran - Jaren er stort sett overdekt av lausmassar og jordbruksland. Det blei derfor sett i verk eit omfattande program med fjellkontrollboringar med tanke på geotekniske forhold og betre oversikt over utbreiinga til alunskiferen og andre

bergartar. Fjellkontrollboringane over tunneltraséen og planlagde vegskjeringar i Nordtangenområdet mellom Gran og Jaren omfatta opptak av borekaks av bergmasse for kvar meter (alle ned til 5 meter i berg under lausmassane). Det blei tatt opp borekaks på 11 punkt over tunnelen (totalt 56 prøver) og på 16 ulike stader (totalt 215 prøver) lenger nord. Tunneltraséen var dominert av alunskifer og andre sedimentære bergartar, medan to vegskjeringar omkring Nordtangen hadde stort innslag av tidleg permisk gangbergartar mænaitt og camptonitt i veksling med alunskifer. Resultata blei brukt for finne fordeling av alunskifer og gangbergartar i vegskjeringane. Det viste seg at alunskifermengda auka tydeleg mot djupare nivå, og det blei etablert vertikalfilar med tanke på å optimalisere vertikalcurvaturen med tanke minst muleg uttak av alunskifer (Vedlegg 1.2).

Geokart AS (2005) utførte systematiske visuelle undersøking av alle kaksprøvene, assistert med binokularlupe. Prøvene frå tunneltraséen blei undersøkt med tanke på farge, mengde finstoff, synleg førekomst av sulfid og fossilmateriale. Fossilfaunaen gav grunnlag for å etablere ein relativt detaljert stratigrafi, med kambrisk alunskifer i nordre deler av tunneltraséen og elles ordoviciske kalksteinar og svart leirskifer (Elnesformasjonen). Prøvene frå skjeringane lengre nord blei undersøkt med tanke på prosentvis fordeling av alunskifer, mænaitt og camptonitt.

Alunskiferen mellom desse magmatiske gangbergartane var ofte nokså hard «tablettformede med glatte flater og et nesten porselensaktig preg» og tyda på innverknad frå magmatisk varme (kontaktmetamorfose). Alunskifer-kaksa frå tunneltraseen var svak med mykje finstoff.

Geokart AS peika i sin rapport på problematiske kaledonske foldestrukturar og mulege overskyvningar som kunne tyde på at alunskiferen kanskje kunne komme inn i tunnelen på fleire stader (figur 2). Dei viste til behov for kartlegging av strøk og fall i felt og meir nøyaktige etablering av bergartsgrenser ved hjelp av kjerneboringar.



Figur 3: Profil langs tunneltraseen ved Gran. Alle borehull er påsatt vest for profilet og projisert inn dette. De to sydligste hullene ligger ca. 100 - 120 meter fra profilet. Tolkningen av geologien i profilet er meget usikker; hovedsakelig bygget på loggene av kaks fra borehullene og det geologiske kartet i figur 1, som også tillegg viser at lagene er sterkt foldet.

Figur 2. Førbelts geologisk lengdeprofil langs tunneltraseen på Gran (Geokart AS 2005), hovedsakelig basert på logging av kaks fra borehola og tidlegare geologisk kartlegging av NGU. Geokart AS presiserte at tolkinga er veldig usikker, med behov for meir nøyaktige undersøkingar.

Statens vegvesen ved Erik Sloreby, Edvard Iversen og Per Hagelia hadde fleire synfaringar i 2005. Dei geologiske registreingane omfatta tunneltraséen og skjeringar nordanfor, inklusive inspeksjon av borepunkta der kaksprøvene blei henta opp. Det var avgjort av betydning å ha med lokalkjent geolog/geoteknikar (Sloreby) i dette arbeidet. Viktige observasjonar med tanke på alunskiferproblematikken var:

- Alunskiferen i den planlagde forskjeringa rett nord for Granstunnelen ovanfor Horgenmoen viste kraftig og tilsynelatande djup forvitring (Figur 3)
- Alunskiferlaga mellom mænaitt og camptonitt omkring Nordtangen og nordanfor var til dels svært tynne. Det var også tydeleg utfelling av gul-grøne forvittringsmineral og rustraude skorper utanpå mænaitt, danna frå alunskifer, fleire stader. Berre tjukkare alunskiferlag verka relativt upåverka av djup forvitring og hadde lokalt eit feittaktig preg litt under skjeringsoverflata (Figur 4).

I eit eige førbelts notat blei det foreslått å sette opp knuseverk for å utnytte dei gode steinmaterialkvalitetane til mænaitt og camptonitt i vegoverbygninga (Hagelia 2005). Dette blei ikkje gjort.

Rambøll (2005) rapporterte via forprosjekt for Granstunnelen i samband med reguleringsplanen og la til grunn at alunskiferen ikkje hadde nemneverdig syrepotensial. Rapporten inneheld ikkje referanseliste, men bygde i stor grad på eit førbelts resultat frå ein utlekkingsstest der forvittra alunskifer ikkje var vurdert (Hagelia 2005). Resultata frå denne første utlekkingsstesten er av praktiske omsyn oppsummert saman med seinare utlekkingsstestar utført som masteroppgåver innan NORWAT-programmet på byggeplan (sjå kapittel 2.5.1).



Frå Rv 4 rett nord
for Gran sentrum

Merk forvitring
med sannsynleg størst
forureiningspotensiale



Frå Rv 4 lengre nord.
Alunskiferlag i kalkstein
(venstre)
Alunskifer og mænaitt
(høgre)

Figur 3. Alunskifer i felt. Øvre rad viser sterkt forvittra alunskifer ved det planlagde tunnelpåhogget nord for Gran nærme Horgenmoen. Nedre rad viser alunskifer og kalkstein (venstre) og eit borepunkt med opptak av kaks frå Nordtangenområdet (høgre): merk svart alunskifer og store mengder sterk mænaitt.



Figur 4. Tynne lag av alunskifer mellom mænaitt-benkar langs gamle Rv 4 ved Nordtangen (2005). Grønleg-gule utfellingar av jarositt m.m. danna ved forvitring av alunskifer (venstre) og lokalt tykkare lag av feit alunskifer i (høgre)

2.4. Forundersøkingar i samband med byggeplan

2.4.1. INGENIØRGEOLOGISKE UNDERSØKINGAR FOR GRANSTUNNELEN

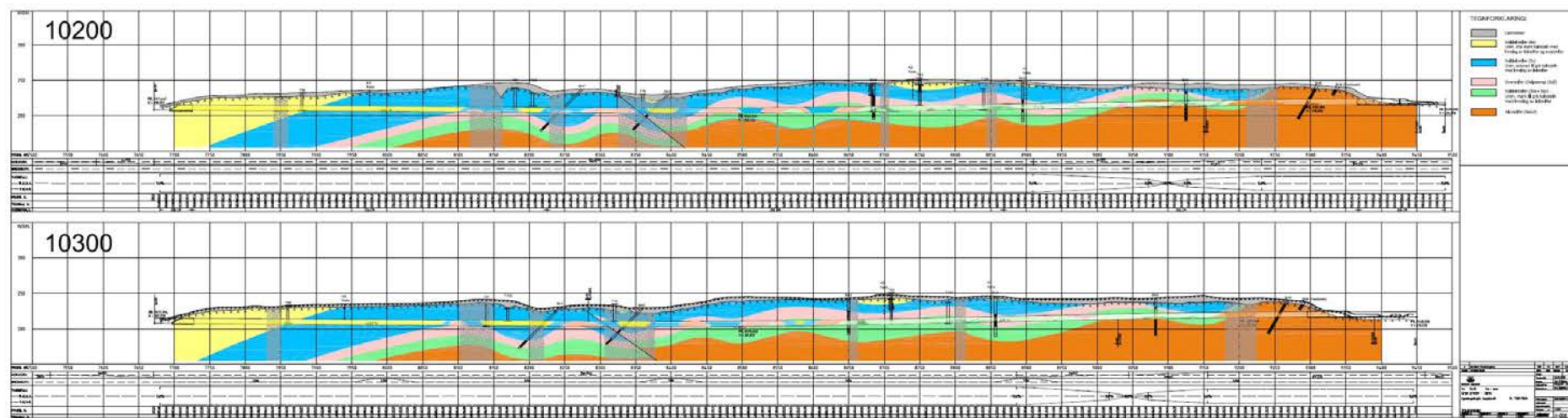
Det blei utført kjerneboringar på fire lokalitetar frå terrenget på skrå ned mot planlagt tunnelprofil i 2011. (Sjå figur 5). Desse blei logga ved bruk av vanlege prosedyrar for ingeniørgeologisk kartlegging. I tillegg kartla NGI kjemisk og litologisk stratigrafi (lagdeling).

Undersøkingane viste at det var manglande samsvar mellom på den eine sida geologisk kartlegging (NGU) og boringane (kjerneboringar og kaksboringar). Supplerande kjerneboring (BH5 og BH6) og kaksboringar blei utført av Statens vegvesen i januar til februar 2013 for å etablere sikrere tolking av geologien på tunnelnivå, med spesiell vekt på sikker tolking av alunskifer og andre svarte skifrar (Galgeberg). Kjerneboring nær nordre påhogg skapte problem med fastkøyring og stort kjernetap i djupforvitra alunskifer (figur 6). Området med forskjeringane ovanfor Horgenmoen var også sterkt forvitra, og ein la derfor til grunn at dette området ville ha størst fare for avrenning av tungmetall.

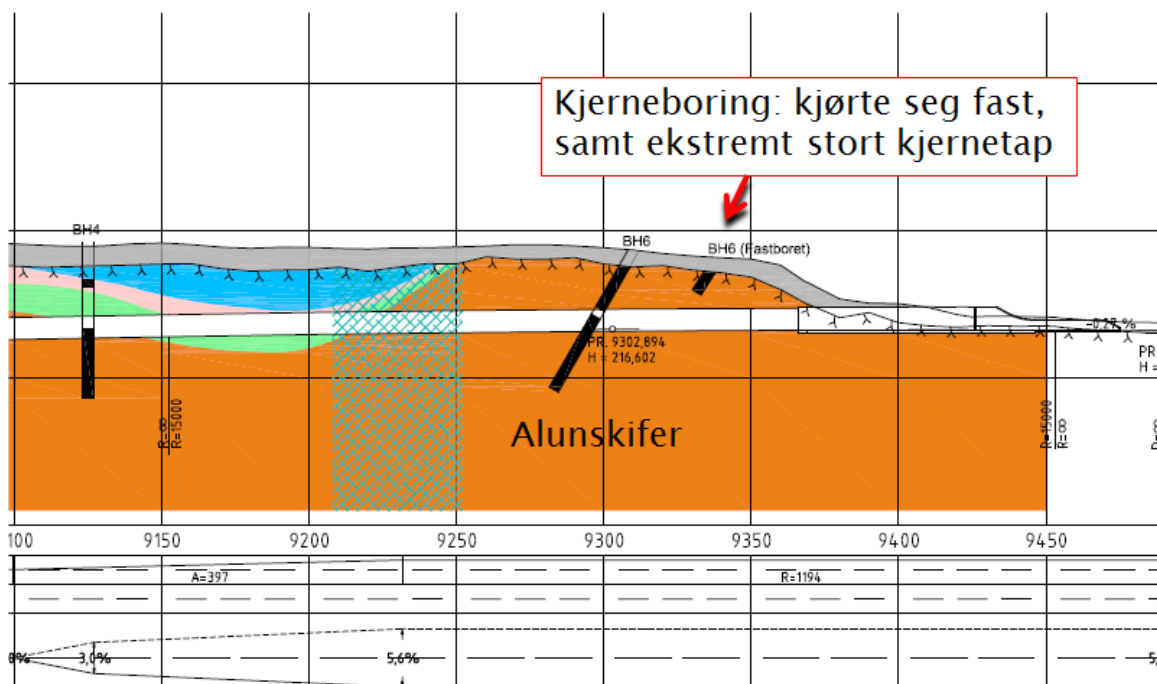
På grunnlag av nye kjerner og kaksboringar konstruerte Tunnel og betongseksjonen– Statens vegvesen vertikale lengdeprofilar for heile tunnelen (reinteikna og rapportert av Multiconsult 2013 i figur 5). Under driving av tunnelen viste det seg at tolkinga basert på kjerneboringa og kaksboringar stemte relativt bra med tanke på forekomst av alunskifer (merka oransje i figuren), og delvis forureinande svartskifer (Galgebergledet: rosa). Observert geologi i tunnelen er teikna inn for samanlikning. Geologisk profil er vedlagt i vedlegg 3.

NGI viste at svartskifer tilhøyrande Galgebergledet (3bβ, ikkje alunskifer) likna kjemisk på alunskiferformasjonen (Endre, 2013b), og rådde til at ein burde vurdere å handtere desse på same måte som alunskifer. Rapporten frå NGI fokuserte også på fragmenteringsegenskapane alunskifer og andre svarte skifrar, som dannar svært mykje reaktivt finstoff ved sprenging, utlasting og overfartar med anleggsmaskinar. Endre (2013a) peikar også på at forvitra alunskifer har større syrepotensial enn uforvitra alunskifer. Ei eventuell senking av grunnvatnet over Granstunnelen etter driving ville

kunne føre til auka oksidasjon av alunskifer (Bastiansen mfl. 1957), noko som blei vurdert som uheldig både med tanke levetid av sprøytebetong i tunnel (Hagelia 2011) og mogleg på diffus avrenning. Ein la derfor til grunn at det var behov for systematisk forinjeksjon mot tunnellekkasjar. Multiconsult undersøkte vassbalansen over tunneltraséen og viste at faren for senking av grunnvatnet likevel var liten (Multiconsult 2013).



Figur 5. Lengdeprofil av det nordre og søndre tunnellopet. Nordgående løp (øverst) og sørgående løp (nedst). Nordre påhogsområde er til høyre på begge profilene Gul farge indikerer Elnes (4a), blå indikerer Huk kalkstein (3c), rosa indikerer Tøyen Galgeberg (3b β), grøn er Tøyen Hagaberg (3b α) og oransje farge indikerer Alunskiferformasjonen (2-3a). Faktisk geologi i tunnellopet er teikna inn i ettekant av tunnelkartlegginga. Dei svarte strekane viser områda der det blei utført kjerneboring. Lengdeproflet er også vedlagt (vedlegg 3).



Figur 6. Detalj frå nordre del av Granstunnelen med påhoggsområde og forskjeringa ved Horgenmoen, med innteikna kjerneboringar. Området frå ca pelnummer 9325 til 9450 hadde innslag av djup forvitring og svak alunskifer inntil 5–10 meter i fastbora BH6 og tydeleg også i øvre 1–2 meter i forskjeringa.

2.4.2. BRUK AV STEINMATERIALAR

Alunskifer og andre svarte skifrar er svært svake bergartar som er lette å knuse, og kan derfor ikkje brukast i vegoverbygnaden. Områda i skjeringane omkring Nordtangen har derimot eit svært stort innslag av mænaitt og camptonitt. Desse bergartane er finkorna svært sterke bergartar med stort potensial for bruk i berelag, og det blei foreslått å undersøke dette nærmare med tanke på å sette opp knuseverk for god utnytting av kortreist stein (Hagelia 2011). Reint mekanisk kunne det vere mogleg å skilje ut den finknuste alunskiferen ved å sette opp eit sikteverk. Prosjektet gjekk ikkje vidare med dette.

2.5 Utlekkingsstestar og mineralsamansetning

2.5.1 STATISK UTLEKKINGSTEST I SAMBAND MED REGULERINGSPLANSARBEIDET

For å skaffe fram førebels oversikt over utlekkingspotensialet til svartskifrane på Gran valde Geologi og tunnelseksjonen i Vegdirektoratet ut 7 av kaksprøvene (tabell 4) frå arbeidet til Geokart AS (2005) for utlekkingsforsøk (Hagelia 2005). Utvalet representerte variasjonar innan kambro-siluriske sediment. Prøvene blei også undersøkt mineralogisk ved bruk av røntgendiffraksjon (XRD) utført ved Naturhistorisk museum i Oslo. Minerala har stor innverknad på utlekkingsprotensialet, fordi dei har ulik løysingsevne.

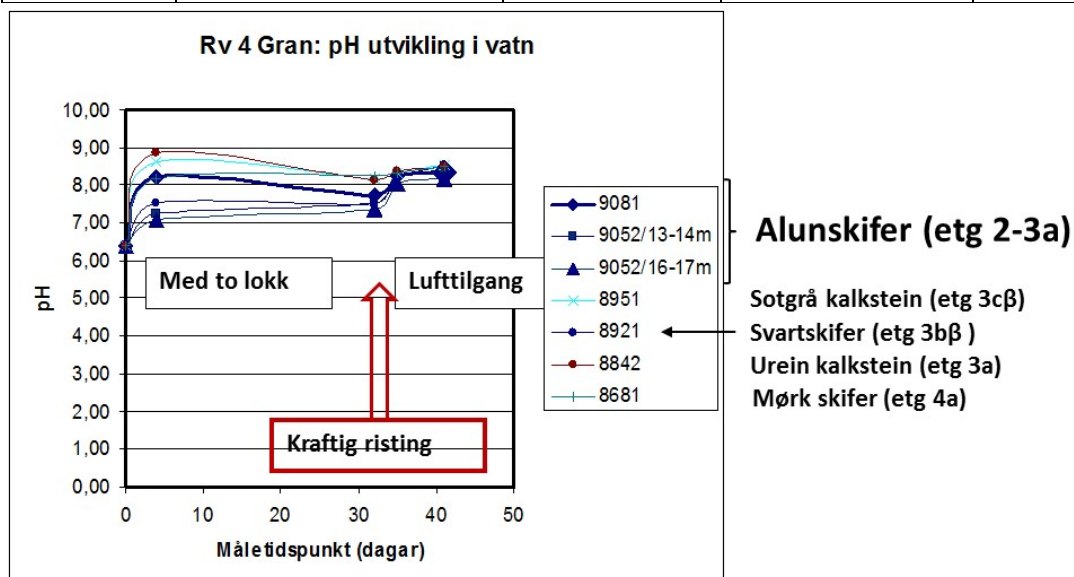
7 prøver blei lagt i vatn over 41 dagar (Figur 7), og pH blei målt i vatnet etter 4, 32, 34 og 41 dagar (figur 8). Analyse av vatn blei utført etter 41 dagar (NIVA 2005 vedlegg 4). Hovudkonklusjonen var at pH auka frå 6,41 i testvatnet til mellom 8,00 og 8,5 for alle prøvane. Fram til dag 32 var flaskene tetta med lokk. Den krappe auken i pH frå dag 32-35 har uventa samanheng med kraftig risting (ved dag 32) og auka tilgang på luft (opne flasker 32 - 41 dagar). Feit alunskifer (9052/16-17m) viste kraftig anriking av sulfat (1090 mg/L) etter 41 dagar og høge tungmetallkonsentrasjonar (Ni = 224 µg/L, Mn = 457 µg/L, Fe = 59 µg/L, Co = 12 µg/L, Cd = 3 µg/L). Det blei ikkje gitt ei presis tolking, men resultatane viste anriking av sulfat og tungmetall utan opplagt syredanning («Neutral Rock Drainage»). Årsaka til dette kan vere løyselege sulfat eller alternativt at oksidasjon av pyritt (svovelkis) med syreproduksjon er kamuflert på grunn av høgt innhald av kalsiumkarbonat som er buffer. Figur 9 viser at sulfat var kraftig utluta i alunskifer prøvene frå pel 9052, og mest i fullstendig uforvitra prøve 9052/16-17 m (sulfat = 1090 mg/L). Krom (Cr) og kopar (Cu) var lågt i alle prøvene (sjå analyserapport i vedlegg 4).



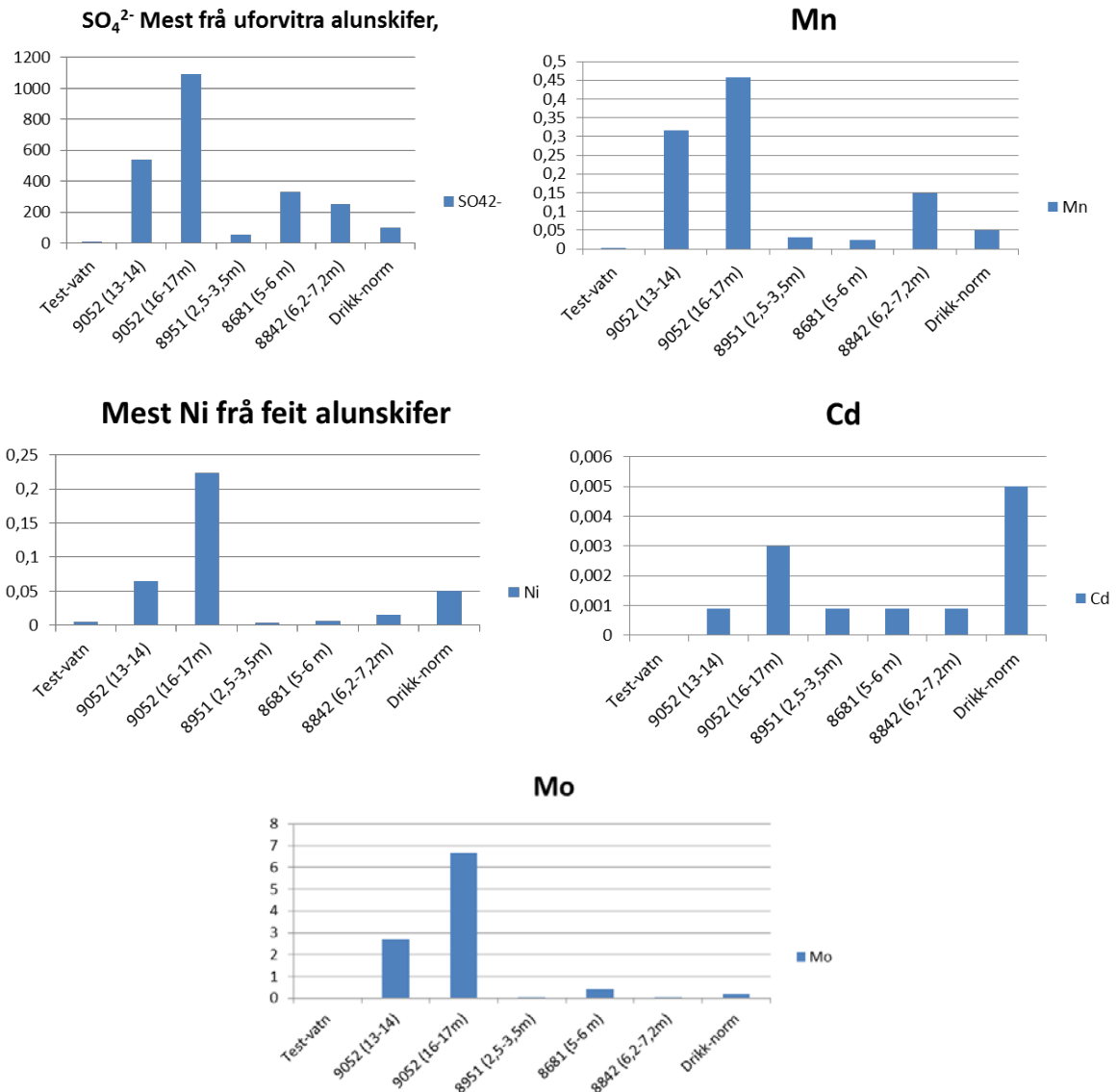
Figur 7. Statisk utlekkingsstest med 100 ml kaks (mestdelen 0 til 0,5 mm) fylt til 500 ml med springvatn. Flaskene på bildet var alle alunskifer.

Tabell 4. Kaksprøver brukt i utlekkingsforsøk (Hagelia 2005). Prøvenummer refererer til tidlegare pelnr. vist i Vedlegg 1.1. *) prøve 8921 blei seinare identifisert som svartskifer frå Galgebergledet.

Kaksprøve	Bergart – etasje (Geokart AS)	Hovudmineral XRD	Kismineral XRD	Merknad
9081/ 9,5-10,5m	Alunskifer. Glinsande m kalkspat og svovelkis	Kvarts, muskovitt	Pentlanditt Svovelkis	
9052/ 13-14m	Alunskifer. Glinsande Lite kalkspat. Svovelkis	Kvarts, mikroklin, dolomitt, ankeritt, skapolitt	Litt svovelkis	Skapolitt vitnar om kontaktmeta- morfose
9052/ 16-17m	Alunskifer. Kolsvart- Feit. Lite kalkspat. Kis?	Kvarts, muskovitt, ankeritt	Litt svovelkis	
8951/ 2,5-3,5m	Kalkstein 3 cβ- sotgrå Bruser sterkt i HCl. Ikkje kis	Ikkje analysert	Ikkje analysert	
8921/ * 4,9-5,9m	Alunskifer- mjølaktig glinsande	Kvarts, muskovitt, ankeritt, skapolitt, grafitt	Neppe kis	Termisk påverka
8842/ 6,2-7,2m	Kalkstein 3c - urein Små spreidde korn av svovelkis	Kvarts, muskovitt, ankeritt, magnesium- kalsitt	Ikkje kis	
8681/ 5-6m	Mørk skifer 3c-4a m karbon	Kvarts, muskovitt, albitt	Ikkje kis	



Figur 8. Utvikling av pH verdi i vatn i kontakt med alunskifer (mørk blå), svartskifer frå Galgebergledet (etg. 3bβ) sotgrå kalkstein (turkis), urein mørk kalkstein (brun) og mørk skifer (grå). Den første målinga er pH-verdien i test vatnet som blei brukt (pH = 6,41). Dei to neste målingane (4 dagar og 32 dagar) er utført medan flaskene var tetta med to lokk. Så blei flaskene rista godt og opna. Dei to siste målingane (34 og 41 dagar) viser at pH verdien i alle prøvene auka etter lufttilgang.



Figur 9. Vatna blei analysert etter eksponering i 41 dagar. Samanstillinga viste mobilisering av sulfat og sulfidbundne metall (Ni, Cd, Mo) trass i pH = 8–8.5. Alle verdiar i mg/L. Prøve 9052 16–17m er «feit» alunskifer. Sjå tabell 4 for identifisering av prøvene. Drikk-norm er grenseverdiar frå drikkevannsforskriften (2013).

2.5.2 UTLEKKINGSTESTAR VED NMBU–ÅS INNAN NORWAT-PROSJEKTET

Det blei utført tre masteroppgåver ved NMBU med forskjellige utlekkingstestar på bergartsprøver frå Gran (Fjermestad 2013; Helmers 2013 og Santos 2014).

Sekvensiell ekstraksjon blei utført i oppgåva til Fjermestad (2013). Prinsippa for sekvensiell ekstraksjon er å tilsetje ulike løysningar til bergartsprøver i ulike steg der ein forsøker å simulere effektar av endra pH og redoks-regime. Tabell 5 viser resultat av

analyse ved røntgendiffraksjon (XRD semi-kvantitativ utført av Hans-Jørgen Berg ved Naturhistorisk Museum i 2013, Hagelia 2013a) på 6 av dei 10 prøvane frå forsøket.

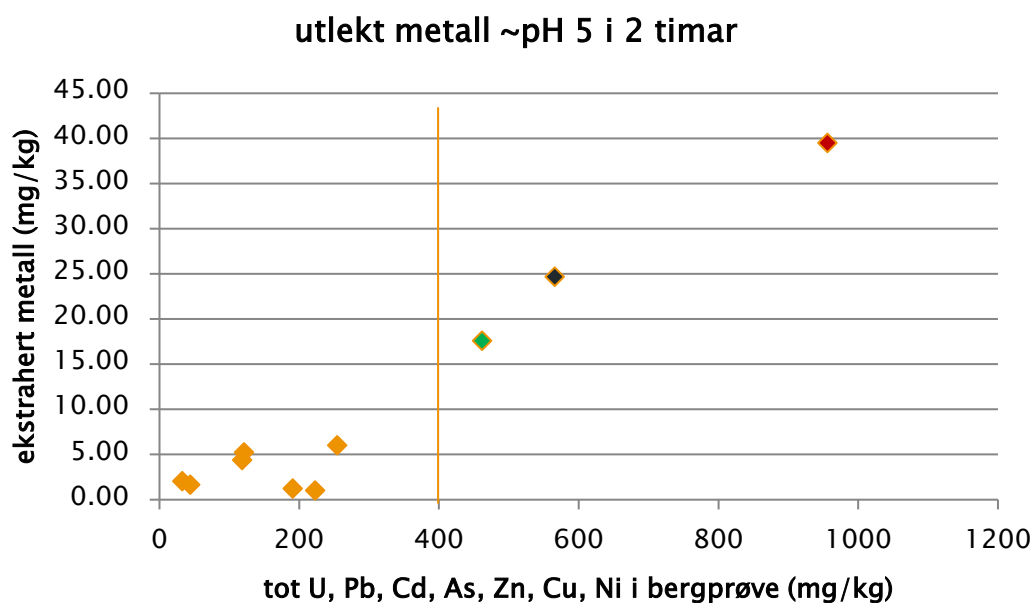
Ut frå forsøket såg ein at kadmium og sink viste ein høg mobilitet i forhold til dei andre spormetalla. Spesielt ved tilsetjing av oksidasjons- og reduksjonsmiddel til prøven blei mobiliteten høg. Fleire metall såg ut til å vere knytt til sulfid, og blei frigjorte ved oksidasjonsmiddelet H_2O_2 (oksidasjonsmiddelet skal simulere ein tilstand med optimal oksidasjon av sulfid). Slike metall var Cu, Zn, Cd, Co og Ni (til dels også Pb). U og Mo viste i tillegg ein viss grad av mobilitet i dei første stega, noko som tyder på at metalla har fraksjonar som enkelt kan mobiliserast til eit vassmiljø. Alunskiferen og Elnes skiferen var utypiske for si bergartsgruppe med tanke på uraninnhald (uraninnhaldet i alunskiferen var lågt til å vere alunskifer (22 mg/kg), medan uraninnhaldet i Elnesskiferen var høgt til å vere Elnesskifer (30 mg/kg)). Ei forklaring kan vere at prøvane er feilklassifisert eller at prøvane er bytta om.

Tabell 5. Mineralsamansetning av kaksprøver undersøkt ved sekvensell ekstraksjon (Fjermestad 2013). Alle prøvene er frå tunneltraseen. Prøvenummer refererer til pelnummer. KSK = Kloritt-serpentin-kloritoid mineral.

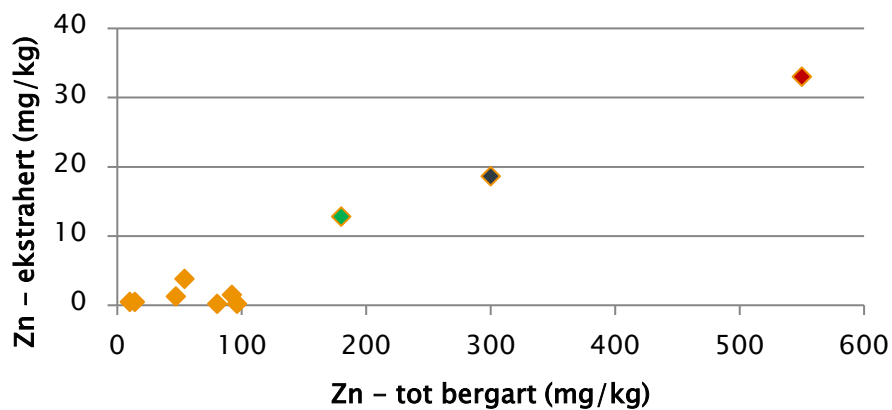
Prøve- nr	Prøvenummer i felt (djupn i berg)	Mineral og relative mengder (basert på vurdering av intensitetar, er usikkert)	Bergartstype
1	8921 (4,9-5,9 m)	Kvarts>>muskovitt > pyritt ≈ dolomitt ≈KSK ≈kaolin	Svartskifer (Galgeberg, et. 3bβ)
3	9081 (9,5-10,5 m)	Kvarts>kalsitt>dolomitt >markasitt>muskovitt≈mikroklin	Alunskifer (etasje 2-3a)
4	8709 (4-5 m)	Kvarts>kalsitt>albitt>ankeritt pyritt>muskovitt ≈KSK≈kaolin	Mørk skifer (Elnes etasje 4a)
5	8681 (3,0-4,0)	Kvarts >kalsitt>KSK >muskovitt	Mørk skifer-kalkstein (etasje 4a)
6	8842 (3,2-4,2 m)	kvarts>Kalsitt>ankeritt> muskovitt>pyritt>markasitt	Karbonførande kalkstein (et. 3c)
10	8841 (7,5-8,5 m)	Kvarts>kalsitt>ankeritt>KSK ≈ muskovitt>anhydritt≈pyritt	Karbonførande kalkstein (et. 3c)

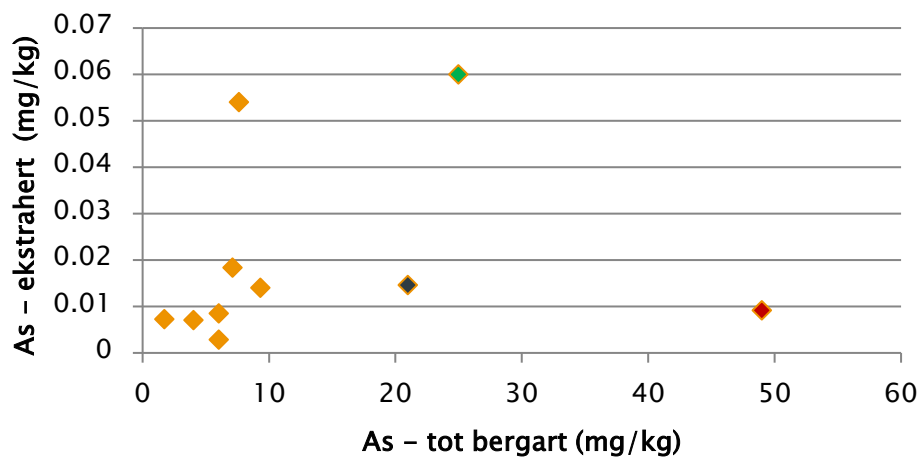
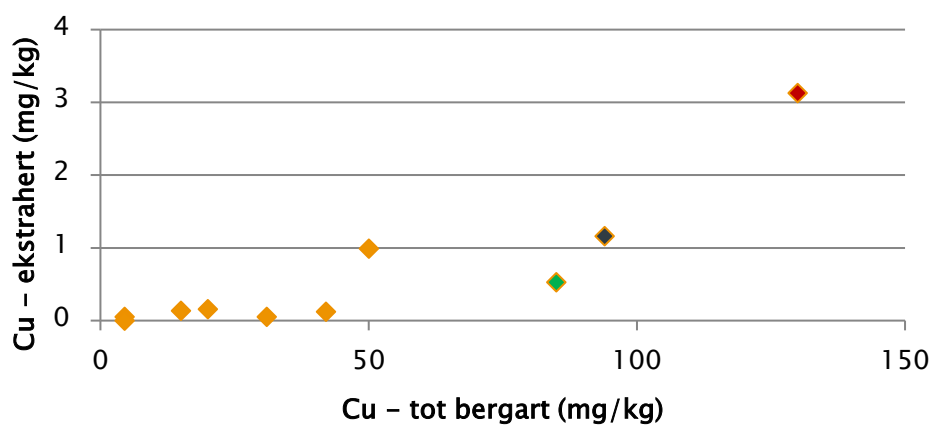
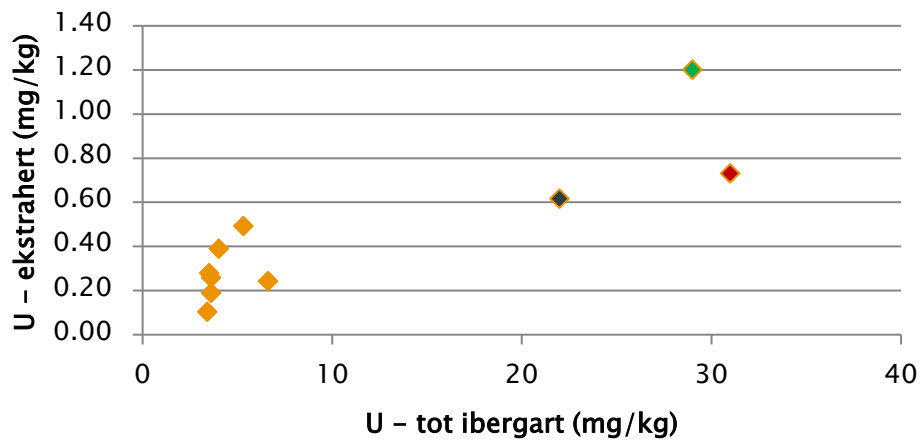
Figur 10 og 11 viser utlekte konsentrasjonar av ulike grunnstoff i frå ti bergartsprøver etter tilsetjing av 1M NH_4Ac =pH 5 i to timar. Prøvane merka med oransje var kalksteinar, medan prøvar med andre fargar var variantar var svart skifer. Det var tydeleg variasjonar i innhald av metall i bergartspøvane, og utlekkinga auka ved auka innhald i bergarten. Resultata vist i figurane var ein del av grunnlaget for å utarbeide

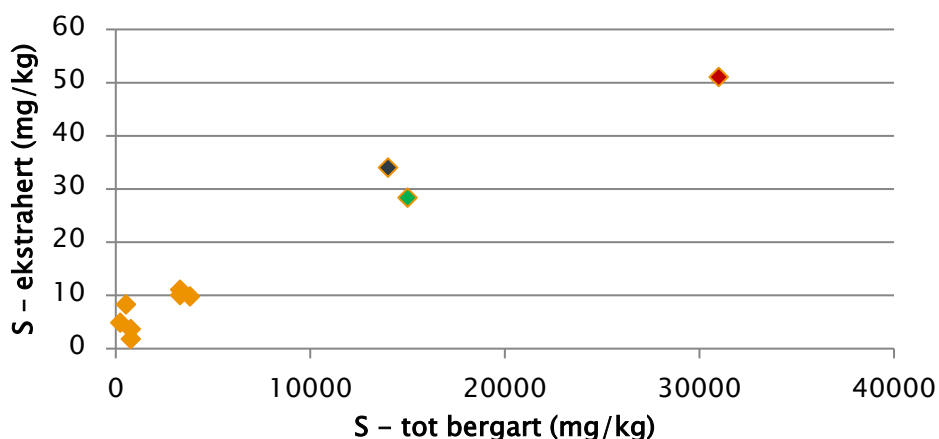
grenseverdier for klassifisering med XRF i anleggsfasen (sjå kapittel 5.1.2 og vedlegg 8.1 *Grunnlag for interne grenseverdier*).



Figur 10. Figuren viser utlekte konsentrasjonar ved tilsetjing av ei løysning (1M NH₄Ac) med pH = 5 i 2 timar. Forholdet mellom prøve og løysning var 1:10. Prøven var sikta gjennom 2 mm masker og utgjorde 2 g. grøn prikk er prøvenr 4 (Elnes skifer), svart er nr 3 (alunskifer) og mørk raud er prøvenr 1 (Galgeberg).

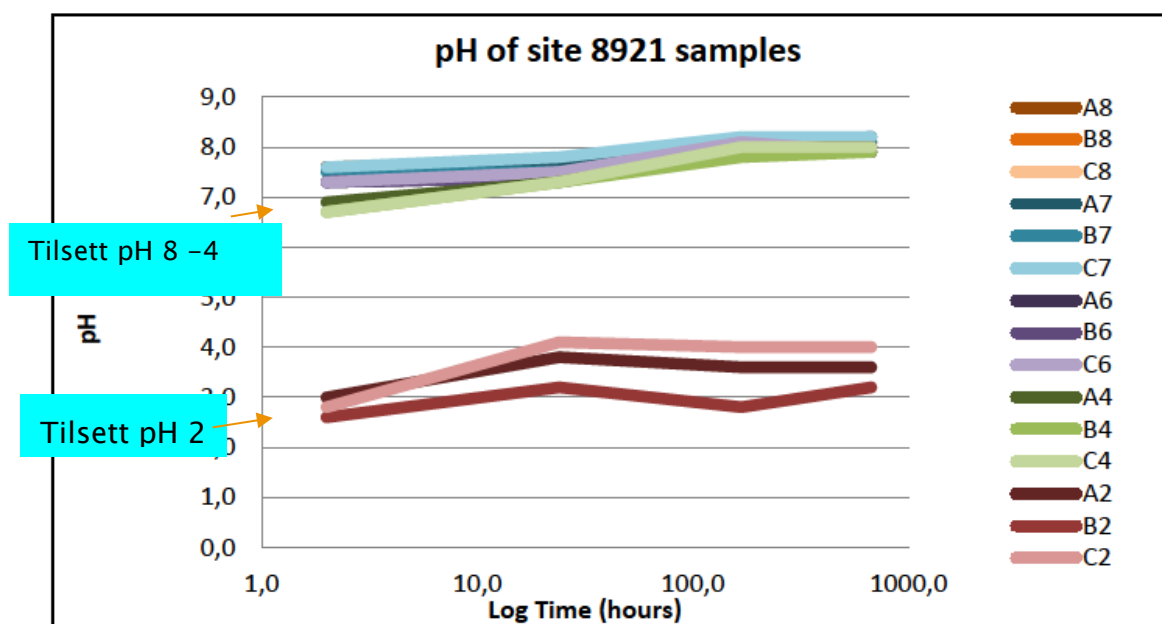






Figur 11. Figurane viser utlekte konsentrasjonar av ulike grunnstoff ved tilsetjing av ei løysning (1M NH_4Ac) med $\text{pH} = 5$ i 2 timar. Forholdet mellom prøve og løysning var 1:10. Prøven var sikta gjennom 2 mm masker og utgjorde 2 g. Grøn prikk er prøvenr 4 (Elnes skifer), svart er nr 3 (alunskifer) og mørk raud er prøvenr 1 (Galgeberg). Alunskiferen og Elnes skiferen var utypiske for si bergartsgruppe med tanke på uraninnhald (uraninnhaldet i alunskiferen var lågt til å vere alunskifer, medan uraninnhaldet i Elnesskiferen var høgt til å vere Elnesskifer).

Helmers (2013) undersøkte utlekking av uran i fleire prøvar av skifer og kalksteinar frå Gran (frå same lokalitar som i tabell 4, alunskifer var ikkje med i forsøket) ved tilsetjing av ulike pH-løysningar til materialet. Prøvane hadde høgt innhald av karbonat, som dermed forhindra syredanning frå oksidasjon av pyritt. Etter tilsetjing av ei løysning med pH 4 til prøvene, klarte alle prøvane å buffre løysninga opp til nøytrale pH-verdiar. Ved tilsetjing av ei løysning med pH 2 blei løysninga buffra opp til pH 3–4 for svartskiferprøven frå Galgebergledet (figur 12). Samtidig blei 25 – 35 % av uranet løyst ut frå galgebergskiferen (8921) ved tilsetjing av pH 2-løysning over 1 mnd. 1 – 15 % av uranet blei løyst ut ved nøytrale pH-verdiar. Ved nøytrale til alkaline forhold viste skifer med høgast karbonatkonsentrasjonar (prøve 8709 Elnes) den største U-mobiliteten.



Figur 12. Effekt av ulik pH på Galgeberg svartskifer med ulik start-pH i testvatnet. Dei oransje linjene representerer prøver som blei vaska med pH 8 -løysning ved 2 timar, 1 dag, 1 veke og 1 mnd, medan dei blå, lilla og grøne linjene representerer prøver som blei vaska med pH-løysningar med pH-verdiar på høvevis 7, 6, 4 og 2.

2.5.3 SAMLA TOLKING

Samla tolking viser at det er særleg alunskifer og deler av Galgebergskiferen som gir høge utlekkingsverdiar av tungmetall. Den største risikoen for potensiell utlekking av forhøgde konsentrasjonar frå svartskifer skjer ved oksygenrike, sure forhold. Samtidig skjer det også utlekking av uran m.fl. metall frå svartskifer ved nøytrale pH-verdiar. Karbonførande kalksteinar (etasje 3c mm) gav også merkbar, men relativt låg, mobilisering av uran og det er sannsynleg at dette er knytt til organisk karbonat. Samtidig var det totale innhaldet av uran i desse steinane lågt (rundt 4 mg/kg). Ein bør merke seg at første steg i sekvensiell utlekking etter metoden ved NMBU representerer korttids utlekking i vatn med kontakttid på berre 1 time, og det blei registrert svært låg utlekking av tungmetall og sulfat på dette steget. Men dei tidlege forsøka med statisk utlekking i ionefattig vatn over 41 dagar viste likevel tydeleg utlekking. Utlekking over fleire månadar kan dermed føre til metallmobilisering utan at det dannast syre.

Det er elles viktig å legge merke til at magnetkis (pyrrhotitt) ikkje er påvist i alunskiferen på Gran. Dette mineralet blir danna ved metamorfose av svovelkis (pyritt), og er utbreidd i Oslo på grunn av varme frå permiske magmatiske bergartar. Det er vist at mindre

mengder av monoklin pyrrhotitt fører til katalytisk oksidasjon av pyritt, medan fråvere av pyrrhotitt gjer alunskiferen mindre reaktiv og har lågare syrepotensial (Bastiansen mfl. 1957). Alunskifer og galgebergskifer på Gran fører oftast ein del karbonat (kalsitt, dolomitt, ankeritt) som i tillegg verkar som pH-buffer. I tillegg er det identifisert mindre innslag av relativt lettløselege sulfatmineral som anhydritt og hexahydritt i Galgebergskifer. Samtidig utlekking av sulfat, Ni, Cd og Mo i den statiske utlekkingstesten over 41 dagar tyder likevel på oksidasjon av pyritt og markasitt (Ni, Cd, Mo, Zn, As er typisk knytta til sulfidmineral). Syrepotensialet i alunskiferen på Gran er på «kort sikt» (over mange månadar) å rekne som lågt og i praksis styrt av bufferkapasiteten. Syrepotensialet kan derimot auke på lenger sikt dersom denne blir brukt opp. Forvitra alunskifer er rekna som mest problematisk i så måte. Det blei derfor lagt opp til omfattande og systematisk overvaking av områda langs veg i dagen og masselageret både i anleggsfasen og driftsfasen.

Utlekkingstestane viste at fleire metall (som til dømes U, Ni, Mo, Cd, As og Zn) kan lekke ut ved nøytral pH. Det blei gjort fleire utlekingsforsøk i større skala i anleggsfasen, der utsprengte massar frå tunnel og dagsone blei nytta. Desse undersøkingane stadfesta at utlekking av tungmetall skjedde ved nøytrale og basiske pH-verdiar.

3. UNDERSØKINGAR I MYR

For å finne ut om området var eigna som eit masselager for svartskifer var det viktig å avdekke strømmingsforholda inn og ut av myra, botntopografi og type lausmassar rundt lageret.

3.1. Vassbalansen

For området der vi planla å legge svartskifer blei det gjennomført ei enkel vassbalanse for å få eit grovt estimat på nydanning av grunnvatn. Ut i frå den årlige nedbøren (P) vil noko fordampe (E), noko vil renne av som overflateavrenning (Q) og det resterande vil infiltrere grunnen og mate grunnvatnet (ΔS). Denne balansen kan skrivast som:

$$P = E + Q + \Delta S$$

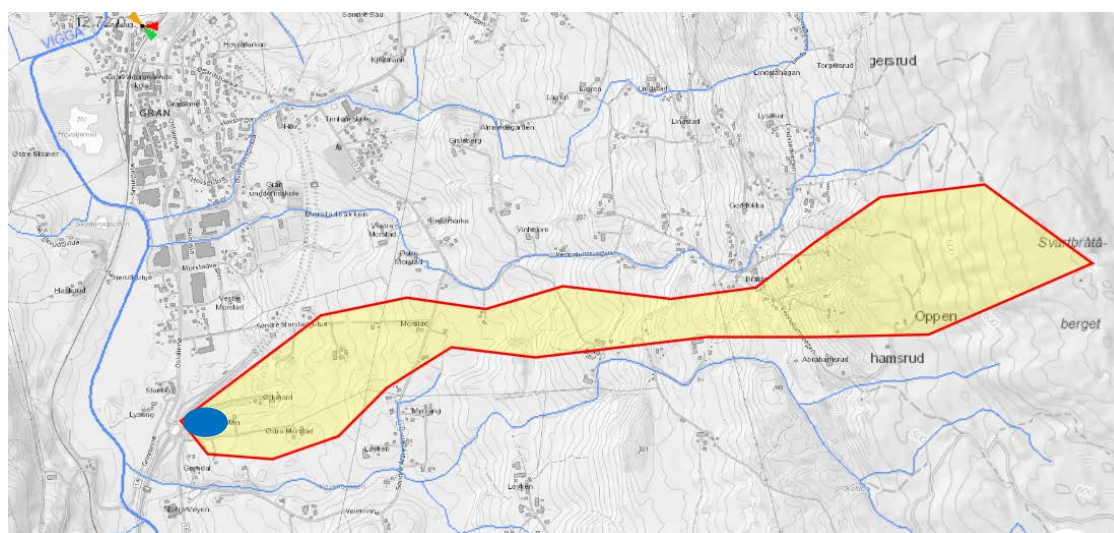
Vassbalansen blei estimert ut ifrå nedbørsverdiar frå Lunner målestasjon (figur 14), avrenningsdata frå NVE og Turc's formel for andelen av nedbør som vil fordampe. Det

aktuelle nedbørsfeltet ligg mellom to bekkar og har eit ca. areal på 1,5 m².

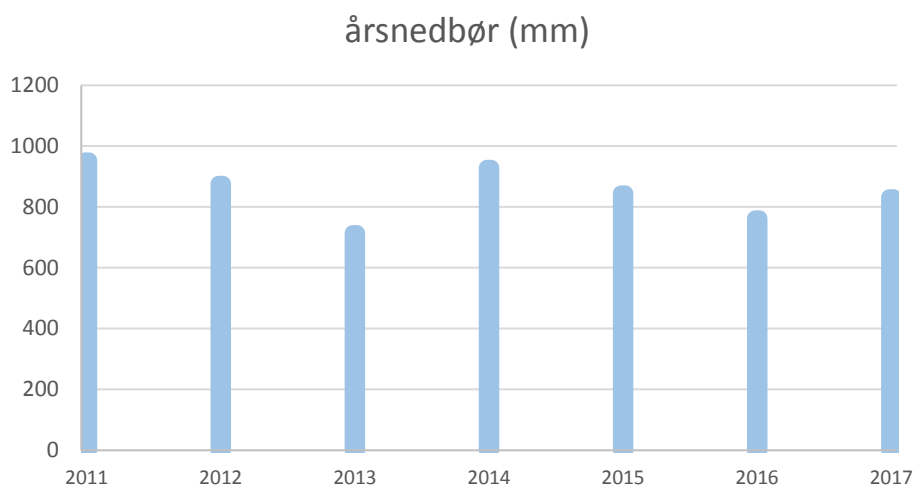
Gjennomsnittstemperaturen på Gran er 1,7 °C. Verdiane som blei bruk i utrekninga er gitt i tabellen under.

Årleg nedbør	Årleg avrenning	Årleg fordampning	Årleg infiltrasjon til grunnvatnet
0,85 m	0,21 m	0,32 m	0,32 m

Denne forenkla vassbalansen gir ei total nydanning av grunnvatn på ca. 479456 m³/år. Nedbørsfeltet består for det meste av jorder og dyrka mark med lite busetjing og tette flater. Overslaget viser at det er godt med grunnvatn i området. Eit omtrentleg nedbørsfelt er vist i figur 13.



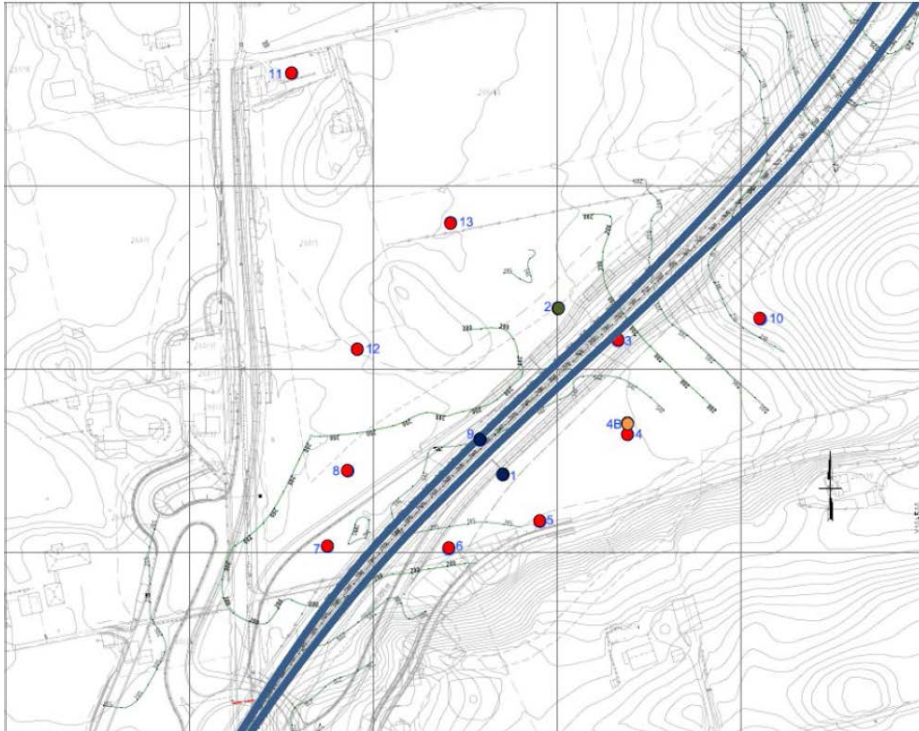
Figur 13. Figuren over viser eit omtrentleg nedbørsfelt. Sjølve masselageret er markert med ein blå ellipse nedst i feltet.



Figur 14. Års-nedbør dei siste 7 åra frå stasjon 20540 på Lunner.

3.2. Sonderingar, pumpetest og overvaking av grunnvasstand

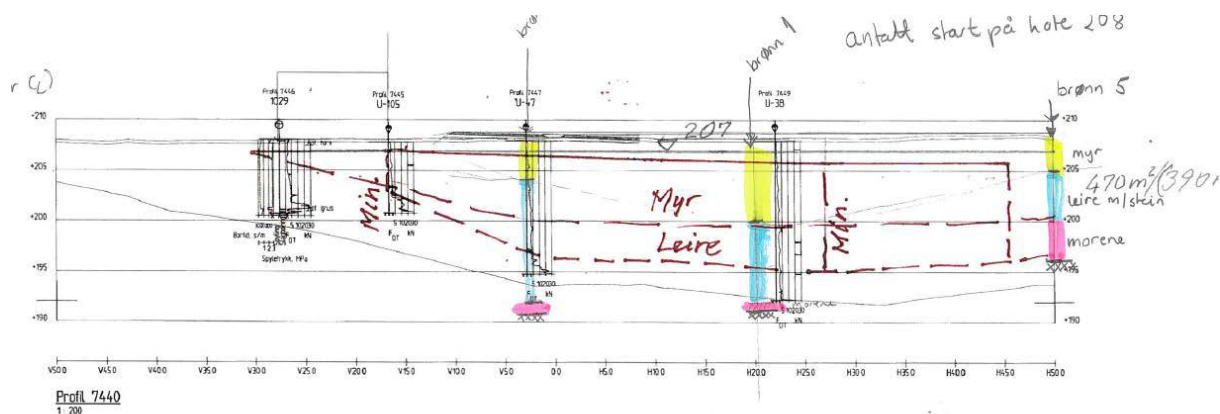
Det var venta at svartskiferen var stabil viss den blei liggande permanent under lågaste grunnvasstand med minimal tilgang til oksygen. For å få ein indikasjon på naturleg variasjon av grunnvasstanden i myra før denne blei grave ut blei det sett ut 13 brønnar i og rundt det aktuelle området. Brønnplassering er vist i Figur 15.



Figur 15. Kart over brønnar som blei sett ut i og rundt det aktuelle området for masseutskiftning.

Grunnvasstanden blei målt i over eitt år før utbygging. Lågaste målte grunnvasstand i denne perioden var ca. kote 204. Det blei derfor vedtatt å legge inn ein sikkerheitsmargin på 1 m slik at toppen av svartskiferfyllinga skulle gå opp til kote 203. Vasstand i Vigga nedstraums myra blei målt til ca. kote 202 ved lågaste vasstand.

I tidligare planfasar har det blitt utført fleire sonderingar i myra ned til fast morene og fjell (illustrert i figur 16). Desse avdekka at det under eit topplag med torvmassar var marine avsetningar av type blaut silt og leire. Massane hadde eit høgt humusinnhald, dvs. dei er svært setningsgivande ved ei senking av grunnvatnet. Under dei marine avsetningane blei det fleire stader påvist ei hard botnmorene. Massane ned til botnmorenen måtte fjernast for å få eit størst mogleg tilgjengeleg volum for svartskifer, og for å redusere setningar på framtidig veg.



Figur 16. Tverrprofil 7440 med innteikna totalsondering, dreietrykkssonderingar, og tre grunnvassbrønner. Undersøkingane gir et bilde av dei ulike lausmassane.

For å få ei forståing av dei hydrologiske eigenskapane til myra og tilgrensa områder blei det gjennomført ein pumpetest. Denne er framstilt i rapporten *Tiltaksplan Hydrologi*, (Statens vegvesen 2013). Det blei pumpa ut vatn frå brønner med filter i dei ulike avsetningane. I tillegg til pumpebrønnen blei senking i 9 av brønnane rundt logga. Pumpetesten viste at dei overliggende laga av torv, silt og leire hadde låg permeabilitet. Det var vanskeleg å pumpe noko særleg vatn ut av desse laga sjølv ved ei låg pumperate. Brønnen blei raskt tømt og det tok lang tid før vatnet i brønnen steig opp til opphavelig nivå før pumping. For brønnane med filter i morene og eit par meter ned i fjell var situasjonen heilt motsett. I desse massane var vassgivarevna stor. Her såg vi ein rask reaksjon i alle brønnane med ein gong pumpa starta. Det blei pumpa ut ca. 80 l/min, og etter ca. 2,5 timar målte vi ei senking i pumpebrønnen på ca. 1 m. Då pumpa blei slått av kom vatnet raskt tilbake i brønnen og «recovery» – perioden var ikkje veldig mykje lenger enn pumpe-perioden. Desse resultata skulle vise seg å vere nyttige under anleggsperioden og etter utbygging. Tilstrøyming av vatn frå morene/fjell ville raskt gjenopprette grunnvasstanden ved ei midlertidig senking. Vi erfarte også at dei stadlege massane som skulle gravast vekk var såpass tette at dei kunne leggest over deponerte massar på sideterenget til vegen. Massane var ikkje eigna til bruk i sjølve vegoppbygginga (Hagelia 2011).

Pumpetesten viste også at tette massar med liten permeabilitet over botnmorenen/topp fjell vil føre til at strøymingsgradientane i lausmassane vil vere retta oppover mot overflata. Grunnvasstrykket i botnmorenen/topp fjell var skulda infiltrasjon frå snøsmelting og nedbør i fjellside i tillegg til den topografiske skilnaden mellom myra

og infiltrasjonsområda. Dette gir eit strøymingsmønster i grunnvatnet med lange opphaldstider og dermed gode moglegheiter for reduserande grunnvatn (låge Eh-verdiar) som er gunstig for lagring av svartskifer. Grunnvatnet i botnmorenen/topp fjell vil fylle masselageret med vatn til eit nivå som svarar til trykkhøgda i dette laget. Dersom infiltrasjon gjennom toppen av lageret blir forhindra, vil ein positiv trykkgradient i botnlaget/toppfjell hindre lekkasjar frå deponiet mot undergrunnen. Det var derfor eit ønske at dei deponerte massane fekk ein permeabilitet i same storleik som massane som blei fjerna.

In-situ målingar av mellom anna Eh-pH av grunnvatnet frå botnmorene/topp av fjell bekrefta at dette vatnet var oksygenfattig med låge/gunstige Eh-verdiar.

Berget i området under deponiet er dominert av mørke kalksteinar, kalkførande leirskifer og svartskifer knytt til etasje 4a i Elnesformasjonen. Mørke skifer i Elnesformasjonen er ikkje skadeleg på same måte som alunskifer. Det var også viktig å kjenne til dei kjemiske eigenskapane til vatnet. Dette blei analysert ved hjelp av vassprøver frå kvar av brønnane. Frå sonderboringane og registrering av borekaks frå brønnane fekk vi eit bilete av lagdeling i myra. Brønnskjema registrerte også tilsig av vatn, eller om massane var tørre. Brønnsfilter for kvar brønn blei plassert i det mest vassførande laget. For dei fleste brønnane i sjølve myra var dette i morene og i fjell. Massane over var stort sett tørre. Registreringar for kvar brønn er vist i tabell 6. Observasjonsbrønnane blei plassert utanfor sjølve området. Tanken med desse var å observere før under og etter bygging. Brønnane i sjølve området blei fjerna etter kvart som området blei gravd ut.

Tabell 6. Oppsummering av brønnskjema for kvar brønn.

Brønn nr	Totalt dyp	Filter plasserin	Divernivå	Registrert vanninnslag (L/time)	Merknad til plassering av filter	Type brønn
1	18 m	14-17,5 m	12m	500-1000/50-500	I morene/svart skifer	Pumpebrønn
2	18 m	2-8 m	17m	50-500/<50 (tørt under)	I myrjord med sand/leire	Pumpebrønn/Observasjonsbrønn
3	18 m	11-17,5 m	14,5m	<50/>1000	I morene/ svart skifer	Observasjonsbrønn
4	46 m	2-6,5 m 19-30 m	20m	<50/>1000 <50/<50/>1000	Fuktig myrjord/fin sand Leire m stein/morene/svart skifer	Pumpebrønn/Observasjonsbrønn
4B	8,3 m	2-7 m	7,5m	<50/50-500/<50	I myrjord/sand/leire	Observasjonsbrønn
5	13,55 m	9-13 m	11,5m	50-500/50-500	I morene og skifer	Observasjonsbrønn
6	14,55 m	9,5-14 m	14m	<50/50-500	I morene/svart skifer	Observasjonsbrønn
7	13,3 m	4-13 m	12,8m	50-500/500-1000	I mørk leire/skifer	Observasjonsbrønn
8	15,2 m	4-14 m	13,2m	50-500/500-1000	I mørk leire/skifer	Observasjonsbrønn
9	18 m	11,5-17,7 m	17m	500-1000/>1000	I morene og skifer	Pumpebrønn/Observasjonsbrønn
10	8 m	1-7,5 m		tørt heile vegen	I stein, jord/sand/stein/sand & svart/grå skifer	Permanent brønn
11	6 m	1-5,7 m		tørt?/<50/50-500	Jord, grå leire & fjell	Permanent brønn
12	6 m	1-5,7 m		tørt heile vegen	Fyllmasse/ brun leire/ fjell	Permanent brønn
13	18 m	1-16,5 m		50-500/500-1000/500-1000/500-1000/>1000	Myrjord/grå leire og silt/leire/morene/ svart skifer (sprekker)	Permanent brønn

3.3. Kjemiske undersøkingar av grunnvatn og vassdrag

3.3.1. VASSPRØVER AV GRUNNVATN OG VASSDRAG

I byggeplanfasen blei det tatt prøver frå elva Vigga, to bekkar, nokre brønnar og andre vasskjelder i området rundt masselageret, for å kartlegge bakgrunnsverdiar til bruk som referanseverdiar. Prøvene blei tekne i oktober 2011, og i april og september 2012.

Resultata er gitt i eige notat vedlagt søknaden til KLIF i 2012 og er lagt ved rapporten i vedlegg 6.1 og 6.2. I tabell 7 er utvalde parameter samanstillt.

I Horgenbekken som drenerer ut i sørenden av Jarevatnet blei det målt uranverdiar på 80 og 90 µg/l. Dette er høgt og viser at bekken tydeleg er naturleg påverka av alunskifergrunn. Nikkel var 31 µg/l og sink var 30 µg/l, noko som også er høgt og tilsvarar tilstandsklasse 3 (moderat) og 4 (dårlig) etter Miljødirektoratets klassifiseringsgrenser for ferskvatn (2016). I bekken ved Nordtangen var uranverdiane 8,8 og 6,4 µg/l. Også denne bekken såg ut til å vere påverka av alunskifergrunn. I Vigga var uranverdiane 2,0 og 1,4 µg/l. Metallkonsentrasjonane i elva tilsvarte klasse 2 «god». Vassdraga hadde også påverknad av nitrogen, der nitrat-N var høgast i Horgenbekken (maks 7,8 mg/l) og Nordtangenbekken (maks 4,2 mg/l).

Tabell 7. Vasskjemi i bekker og elva Vigga før anleggsarbeidet starta utført av Multiconsult frå 2011–2012 (vedlegg 6).

	pH	Alkalinitet pH 4,5 (mmol/l)	SO ₄ (mg/l)	U (µg/l)	Ni (µg/l)	Zn (µg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
Vigga	8,1	2,4–2,7	28–30	1,4–2,0	2,0–3,7	1,6–6,2	2,0–3,2
Horgenbekken	8,1–8,3	4,5–5	85–100	74–92	20–31	9,8–30	4,2–7,8
Nordtangenbekken	8,1–8,2	2,4–2,5	32–41	6,4–8,8	1,7–2,3	1,1–1,8	2,9–4,2

Før anleggsarbeida starta hausten 2013 blei det tatt prøver i dei 14 observasjonsbrønnane på og rundt det framtidige masselageret (figur 15 og 17). Vassprøvene blei tatt i fem omgangar mellom april og oktober i 2013. I vedlegg 7 er vassprøvene som blei tatt i forundersøkingane samla. I tabell 8 er gjennomsnitt, min og maks frå desse brønnane vist. PH var mellom 6,5 og 8,1 i brønnane. Det blei påvist nokre høge verdiar av tungmetall for mellom anna Ni (opp til 130µg/l), Zn (opp til 144 µg/L) og Pb (opp til 35 µg/l).

Tabell 8. Vassprøver frå forundersøkingane. Oversikt over gjennomsnitt, min og maks-konsentrasjonar i vassprøver frå brønner i tilknytning til myrområdet for det framtidige masselageret (totalt 60 prøver). Det blei teken prøve frå kvar brønn to til fem gonger gjennom 2013. * = ufiltrert prøve (fullstendige data i vedlegg 7)

	eining	gjennomsnitt	maks	min	Krav i utsløppsløyve FMO i anleggsfase
Ca (Kalsium)	mg/l	109	201	22,0	
Fe (Jern)	µg/l	66	797	0,0012	
K (Kalium)	mg/l	3,0	9,8	0,72	
Mg (Magnesium)	mg/l	8,7	20	2,9	
Na (Natrium)	mg/l	9,5	32	1,5	
Al (Aluminium)	µg/l	6,7	87	0,053	
As (Arsen)	µg/l	0,8	2,8	0,025	8,5
Ba (Barium)	µg/l	110	310	0,046	
Cd (Kadmium)	µg/l	0,06	1,1	0,001	1,5
Co (Kobolt)	µg/l	0,79	8,0	0,003	
Cr (Krom)	µg/l	0,11	0,50	0,005	3,4
Cu (Kopper)	µg/l	1,8	6,9 (16*)	0,005	7,8
Mn (Mangan)	µg/l	335	1750	1,70	
Mo (Molybden)	µg/l	5,4	29	0,17	
Ni (Nikkel)	µg/l	7,8	62 (130*)	0,0044	34
P (Fosfor)	µg/l	32	289	0,44	5000
Pb (Bly)	µg/l	2,6	35	0,032	14
Si (Silisium)	mg/l	3,7	8,6	1,3	
Sr (Strontium)	µg/l	662	2500	101	
Zn (Sink)	µg/l	10	144	0,44	11
V (Vanadium)	µg/l	0,17	0,68	0,006	
B (Bor)	µg/l	32	93	0,00	
Th (Thorium)	µg/l	1,0	16	0,0020	
U (Uran)	µg/l	5,1	20 (23*)	0,042	
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0,002	<0,01	<0,002	0,07
S-total	mg/l	16	43	0,30	
Sulfat (SO ₄)	mg/l	50	159	0,055	
Nitrat-N (NO ₃ -N)	mg/l	38	750	0,0030	
Ammonium-N (NH ₄ -N)	mg/l	1,3	5,5	0,028	
N-total	mg/l	6,6	51	0,24	
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	0,03	0,23	0,0050	
P-total	mg/l	0,14	0,51	0,0019	5
Klorid (Cl ⁻)	mg/l	13	22	4,1	
TOC	mg/l	7,9	32	1,0	
pH		7,5	8,1	6,5	>6 og <8,5
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m	63	105	32	
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	5,1	8,1	2,5	
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	< 0,15	< 0,15	< 0,15	



Figur 17. Prøvetaking av brønnar på myrområdet i 2013.

3.3.2. EH – PH–MÅLINGAR MED HANDHALDT INSTRUMENT

Det er målt in situ Eh–pH verdier i vatn i observasjonsbrønnane/pumpebrønnane i myra. Det er vidare utført Eh–pH testar direkte på 54 mm sylinder (geoteknisk boring).

Den 10. April 2013 (dagen før pumpetesten starta opp) utførte Bioforsk målingar av oksygenivå, temperatur, Eh–pH, konduktivitet og turbiditet i observasjonsbrønnane på myra med eit handheldt instrument (Bioforsk, 2013). Det blei gjort målingar rett under grunnvasspegelen og ved plasseringa til brønnfilteret. Resultata viste låge oksygenivå i brønnane som i hovudsak fekk inn vatn frå fjell (sjå tabell 9).

Brønn 13 skilte seg ut med veldig låge Eh–verdier. Brønnen har filter som går frå topp til botn, men det vassførande laget er i fjell, det vil seie at brønnen hovudsakleg blir fylt opp med anaerobt fjellvatn. Effekten av dette djupe grunnvatnet vil vere høgst konserverande på svovelkis og dermed hindre forsuring og akselerert tungmetallutlekking.

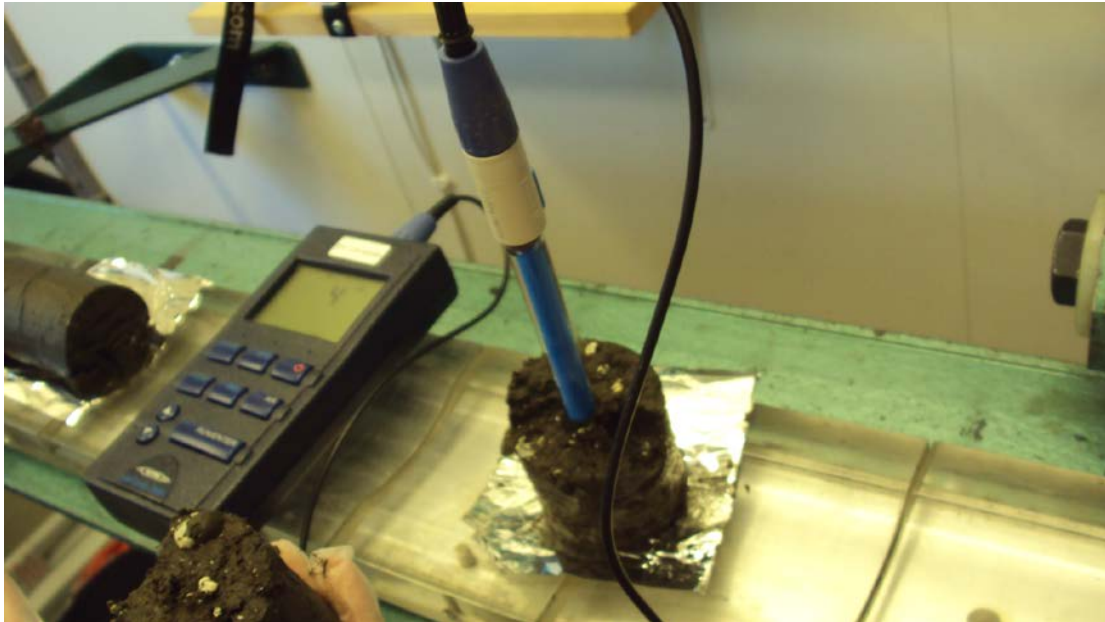
Tabell 9. Målinger av grunnvatn med multiparametersonde (SEBA hydrometrie KLLQ) 10. april 2013. Brønn 10,11 og 12 blei ikkje prøvetatt grunna høgt sedimentinnhald (Bioforsk, 2013) Redoksmålingane (ORP) er korrigererte til standard hydrogenelektrode.

Well	Depth [m] (Aproximatley)	Depth below watertable [m]	Temprature [C]	pH	O2 concentration [mg/l]	O2 saturation [% O2]	ORP (Redox) [mV]	Conductivity [mS]	Turbidity [NTU]
1	6	0.67	5.97	7.66	2.92	24.9	190.4	0.53	0.6
1	15	9.65	5.84	7.52	0.45	3.9	33.2	0.62	220.4
2	7	2.12	6.63	6.75	0.46	4.2	129.9	0.83	256.0
3	6	0.20	6.80	7.54	6.46	58.0	15.9	0.63	136.2
3	15	8.92	6.36	7.51	0.43	4.0	-273.0	0.72	0.9
4	6	1.58	6.30	7.25	4.78	42.4	226.0	0.63	247.0
4	25	20.57	5.99	8.96	1.03	9.1	-152.3	0.82	0.8
4b	6	0.78	6.13	7.00	4.07	36.0	143.5	0.69	44.6
5	6	0.94	5.74	7.30	3.78	32.7	-64.8	0.66	4.8
5	10	4.94	5.46	7.03	1.04	8.5	-172.0	0.73	44.2
6	5	0.18	6.48	7.70	9.95	88.8	256.0	0.54	3.0
6	12	7.18	5.31	7.17	1.38	12.0	261.4	0.73	57.9
7	5	0.68	4.86	6.49	1.23	10.5	98.6	0.55	3.4
7	10	5.67	5.02	6.53	0.41	3.5	50.6	0.62	205.5
8	7	0.17	6.54	6.45	1.07	9.1	87.8	0.62	12.6
8	10	4.16	6.40	6.52	0.34	3.0	50.2	0.70	11.1
9	6	0.56	6.40	7.46	4.29	36.6	147.8	0.62	17.5
9	15	9.57	6.08	7.35	0.42	3.7	-19.5	0.70	113.9
13	6	0.98	5.28	7.24	0.99	0.6	-277.7	0.73	1.3
13	13	8.14	5.46	7.25	0.46	4.0	-313.7	0.74	287.0

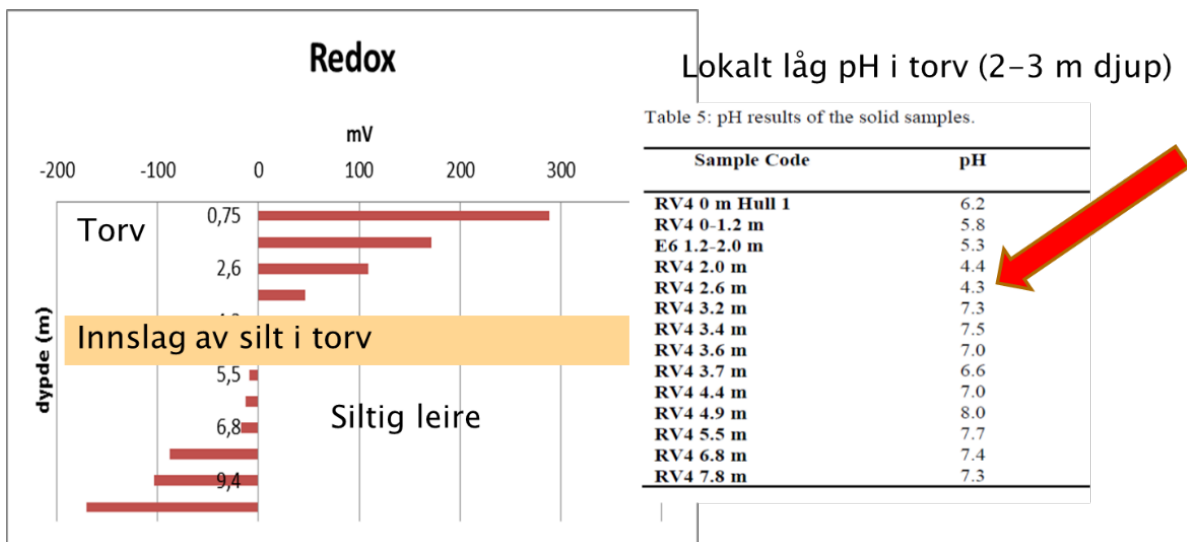
Det var i utgangspunktet rekna med at torvlaget representerte anaerobe forhold med negative Eh-verdiar tilsvarande forholda i geologiske miljø der svartskifer blir danna (Multiconsult 2013). Dette blei testa ut av NMBU innan NORWAT prosjektet i samband med uttak av 54 mm sylindrar for geotekniske analysar i februar 2013. Alle målingane blei utførte suksessivt i geoteknisk feltlaboratorium innan 5 minutt etter kvart som sylindrane blei trekte opp av myra (figur 18). Resultata er gitt i figur 19.

Det viste seg, i motsetnad til det som var venta, at *in situ* målingane i torva faktisk hadde svært positive Eh-verdiar (+ 50 til + 300 mV) med pH-verdiar mellom 6,2 og 4,3. Berre djupare nivå av marin silt og leire viste reduserande forhold (Eh = - 10 til - 175 mV) og pH = 7-8. Her blei pyritt også funne (figur 20). Eh-verdiane i torva er i seg sjølv

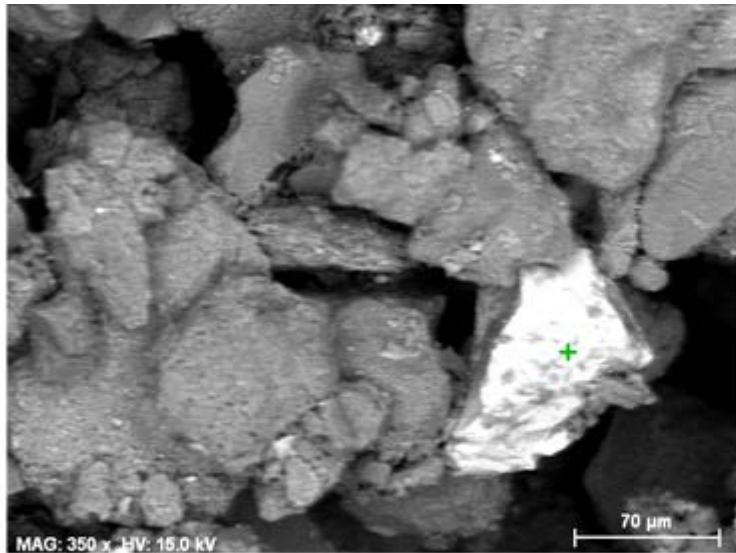
relativt ugunstige med tanke på stabilisering av svovelkis på lenger sikt, noko som krev endå lågare Eh-verdiar (ca Eh = - 300 mV, sjå figur 21), og viste at myra står i kontakt med oksygenførande overflatevatn under naturlege forhold.



Figur 18. In situ måling av Eh og pH på delprøve frå 54 mm sylindar henta opp av myra bare 5 minutt tidlegare, og trekt ut i utskyarbenk ca. 1 minutt før målingane. Effekten av oksidasjon etter uttak blei rekna som fråverande. Foto: Per Hagelia Statens vegvesen .



Figur 19. Eh og pH målingar utført på 54 mm sylindar frå område rett ved monitorbrønn 7, vinteren 2013. Merk låg pH omkring 3 meter i nedre del av torva. Utført av NMBU i NORWAT prosjektet.

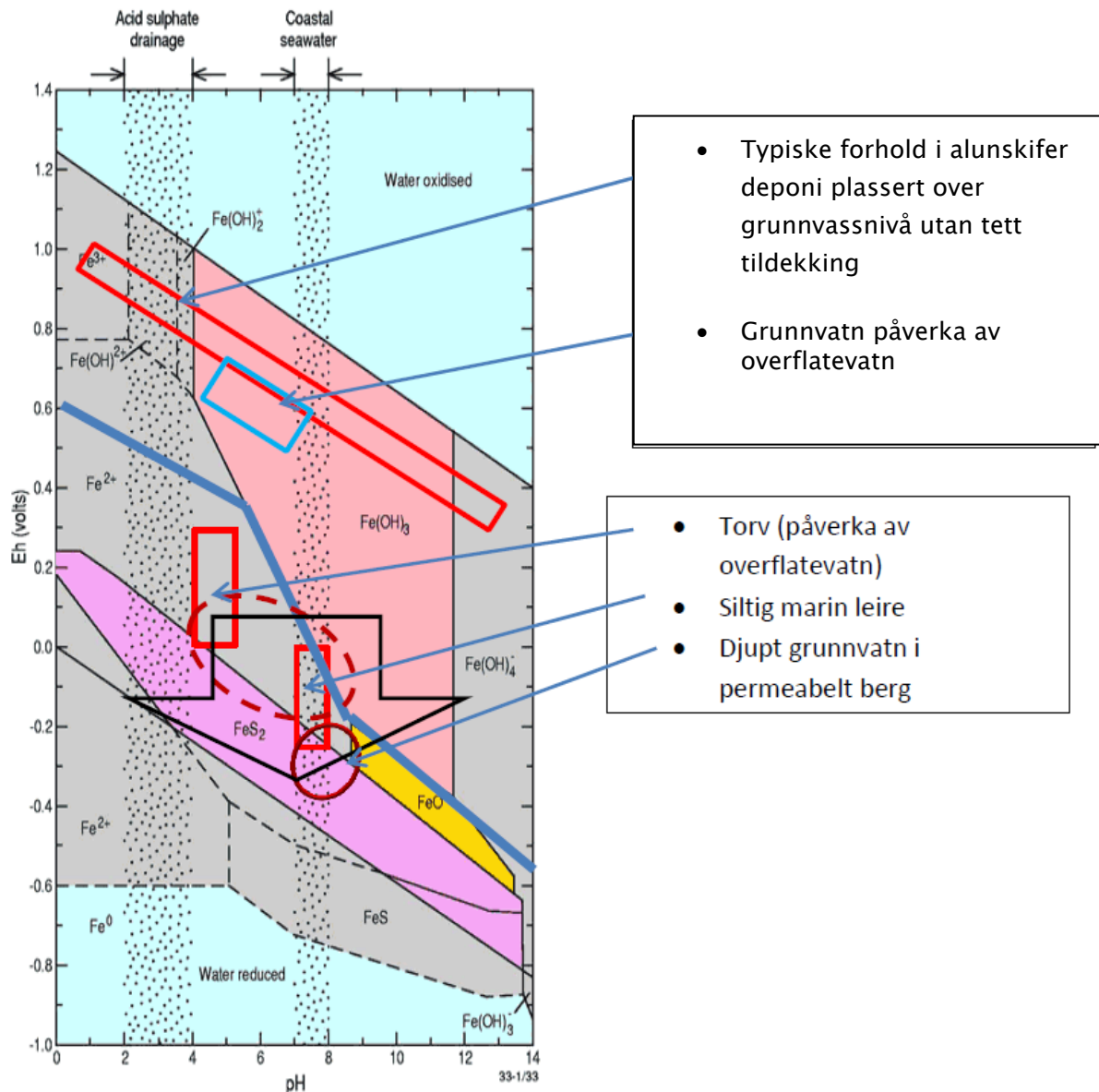


HF1Date:2013-02-13 10:09:50Image size:1200 x 900Mag:350xHV:15.0kV

Figur 20. Pyritt (lyst) i marin siltig leire på 7.8 meters djup frå 54 mm sylinder 15–20 m sør for monitorbrønn 3. Dette viser at sulfid er stabilt djupt nede i marine avsetningar (Foto: Naturhistorisk museum, Hans-Jørgen Berg).

Samla resultatata er framstilt i figur 21 saman med stabilitetsfelt for svovelkis (FeS_2) og stabilitetsområda for to- og treverdig jern. Ved høge positive Eh er treverdig jern stabilt og svovelkis svært ustabil. For å oppnå kjemisk stabilitet av svovelkis i masselageret er det nødvendig å oppnå anaerobe forhold med Eh lågare enn -0.3 V (-300 mV) ved aktuelle pH-verdiar = 7 til 8. Figur 19 viser at alle målingar av Eh i myra før utgraving låg innanfor stabilitetsfeltet til to-verdig jern (reducerande forhold). Typiske verdiar for Eh-pH for meir oksiderte forhold er også vist, der ein kan vente kraftig sulfidoksidasjon med potensial for relativt raskare forsuring.

Vatn frå djupt nivå frå permeabelt berg under myra (særleg i brønn 13 og 3) hadde tilfredsstillande Eh- verdiar med tanke på kjemisk stabilitet av pyritt. Pumpetesten viste at slikt vatn ville ha ein tendens til å strøyme oppover i masselageret (Kitterød 2013). Effektiv skjerming mot infiltrasjon av oksygenrikt overflatevatn ved riktig geoteknisk design, som sørger for ei tett overflate, vil føre til at grunnvatnet i kontakt med svartskifer vil bli reducerande og dermed hindre oksidasjon av svovelkis og utlekking av tungmetall.

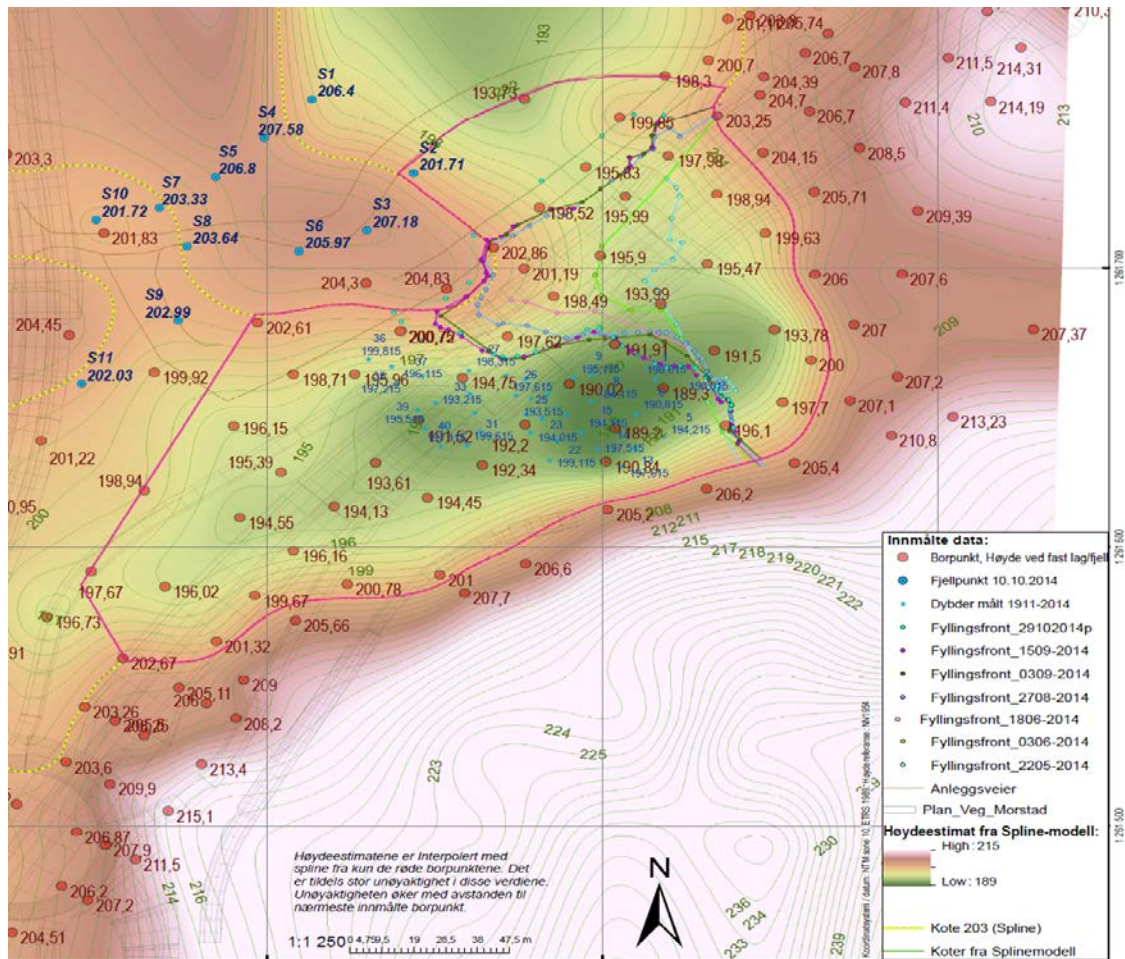


Figur 21. Figuren viser stabilitetsfeltet til svovelkis og to- og treverdig jern i standard Eh - pH diagram. For at svovelkis skal være stabilt i masselageret (og dermed hindre syredanning og akselerert tungmetallutlekking) må Eh-pH forholda være i det rosa feltet. Stipla ellipse viser det dominerande variasjonsområda for myra i torv og siltig leire. Sirkelen viser Eh-pH variasjon i djupt grunnvatn frå permeabelt berg under. Blå linje viser øvre stabilitet for Fe²⁺. Den kombinerte effekten av skjerming for infiltrasjon av oksygenrikt overflatevatn og tilførsel av djupt grunnvatn skal føre til Eh-pH verdier som treffer stabilitetsfeltet for svovelkis (der svart pil peikar).

3.4. Topografi og tilgjengelig volum for masseutskifting

Botntopografien blei estimert ved hjelp programmet ArcGis som benytter ulike interpolasjonsmetodar mellom borepunkt. Kartet i figur 22 er laga på bakgrunn av

sonderinger som indikerer avstand ned til faste massar og berg. For å få glatte kotekurver er interpolasjonsmetoden Spline nytta.



Figur 22. Sonder-boringar i raud skrift. Supplerande boringar i blå skrift og kontrollmålingar av djupn frå båt etter oppgraving av myra under anlegg.

Figur 22 viser botntopografien og boringar. Tilgjengeleg volum for svartskifer er vist innanfor den rosa linja som følgjer delvis kote 203 og anleggsområdet. Kartet viser at området har ein gunstig topografi for eit masselager. Det meste av massane i lageret vil bli liggande inn mot fjell. I toppen av lageret der massane ligg inn mot andre lausmassar er det i dag sett ned brønner for å overvake eventuelle lekkasjar.

For å vere sikker på at ein hadde kome ned til det faste laget under utgraving blei det gjort målingar frå båt. Desse er vist i figur 22 som små blå prikkar. Figuren viser også nokre «utfyllingsfrontar». Etter kvart som svartskiferen blei lagt ut blei utfyllingsfrontane målt inn. På den måten fekk vi kontroll på plassering av dei ulike salvene og kontroll på volum tatt ut av tunnel og lagt ut i masselageret.

DEL 2. KLASSIFISERING OG IDENTIFISERING AV SVART LEIRSKIFER, INKLUDERT ALUNSKIFER, OG GJENNOMFØRING AV MASSEUTSKIFTING AV MYR

4. TIDSLINJE FOR UTFØRT MASSEUTSKIFTING MED SVARTSKIFER

Tabell 10 oppsummerer tidspunkta for når dei viktigaste arbeida vart gjort.

Tabell 10. Tidslinje for arbeida med å masseutskifte myrområdet med svartskifer. Tunnelane blei drive frå sør, og gjekk i første del igjennom etasje 4a - Elnesformasjonen.

År	Sprengningsarbeid			Masseutskifting myr med skifer	
	Dagsone		Tunnel	Utgraving	deponering av skifer
	Horgenmoen	Nordtangen			
2013			Oktober: Start tunnelsprengning		
2014	August-september 2014: sprengning i alunskifer nord for tunnelen v/ Horgenmoen	Feb. – april: Sprengning i skjæring Nordtangen	1.feb: Oppstart kjerneboring 17. – 22 mars: Første påtreff svartskifer Galgeberg 7. – 27 mai Galgeberg i tunnelen 4. juli.–23. aug Galgeberg	24.02.14: Oppstart gravearbeid i myr Mai: Oppsett av renseanlegg for utpumping av vatn 28.juli Ny grab med større gravekapasitet	20. –21. mars deponering av 2 salver Galgeberg (~1300fm ³) 8. mai – 6.juni: deponering av 9 salver Galgeberg (~6500 fm ³) 11. – 12- aug: Deponering av 2 salver Galgeberg (~1100fm ³) Aug/sept: Deponering av alunskifer frå nordre påhogg i masselageret
2015		mars: sprengning nordre Nordtangen jul.15	9. – 20. jan: Galgeberg (sørg. løp) 1. – 7. feb : galgeberg (sørg. Løp) 21. – 26. feb: alunskifer i nedre del av salva (nordg. og sørg. løp) 5. mars: Påtreff alunskifer nordg. løp 13. mars: Påtreff alunskifer sørg. løp Mai: gjennomslag begge tunnellop		16. jan –ei salve galgebergskifer deponert (~600 fm ³) 4. feb. ei salve (~500fm ³) 23–26.feb: 5 salver deponert (~2300fm ³). Hagaberg/galgeberg og innslag av alunskifer 05.13 /13.03.15 Resten av løpa går til deponering i masselager (~40 000fm ³) Juli: Lukking av masselager

5. KLASSIFISERING AV SVART LEIRSKIFER

5.1. Metode for identifisering og klassifisering av svart leirskifer

5.1.1. BAKGRUNN FOR VAL AV METODE

Metode for identifisering og klassifisering av svart leirskifer tok utgangspunkt i bruk av handheldt XRF (X-ray fluorescens), som er eit instrument som analyserer kjemisk innhald i prøva ved hjelp av røntgenstråler. Basert på konsentrasjonar av fleire grunnstoff frå XRF-analysen (svovel, kalsium og totalt innhald av tungmetall) blei kvar prøve klassifisert som deponipliktig eller ikkje deponipliktig. Klassifisering basert på totalkonsentrasjonar i bergartar må generelt bygge på kjennskap til mineralogien til dei enkelte bergartane. Tolking og bruk av totalkjemiske data frå handheldt XRF på Gran bygger på vårt kjennskap til mineralsamansetninga i alunskifer og andre bergartar lokalt. Utlekkingstestar var også ein del av grunnlagsdata. Det er løysingsevna til minerala som styrer utlekkingspotensialet, saman med fragmenteringsegenskapane. Metoden vi brukte for klassifisering er også skildra i Statens vegvesens rapport «Bruk av XRF på bergartar for vurdering av miljørisiko» (Hagelia & Fjermestad 2016).

5.1.2. KLASSIFISERING AV LEIRSKIFER MED XRF

5.1.2.1. *Instrumentet*

Instrumentet som blei nytta i Rv 4 prosjektet var ein handheldt XRF av typen NITON XL3t GOLDD+. Instrumentet kan analysere konsentrasjonar av grunnstoff frå magnesium (Mg) til uran (U). Grunnstoff som er lettare enn Mg, inklusive natrium (Na) og karbon (C), kan ikkje analyserast. Analyseprogrammet «Mining», som følger med instrumentet, blei nytta på alle analyser, sidan dette var best tilpassa bergartsanalysar. Det var likevel behov for å justere nokre av fabrikk-kalibreringane. Innstilt analysetid varierte frå 100 til 120 sekund, alt etter kor god nøyaktigheit som var ønska. Det er nødvendig med opplæring på slike instrument før bruk.

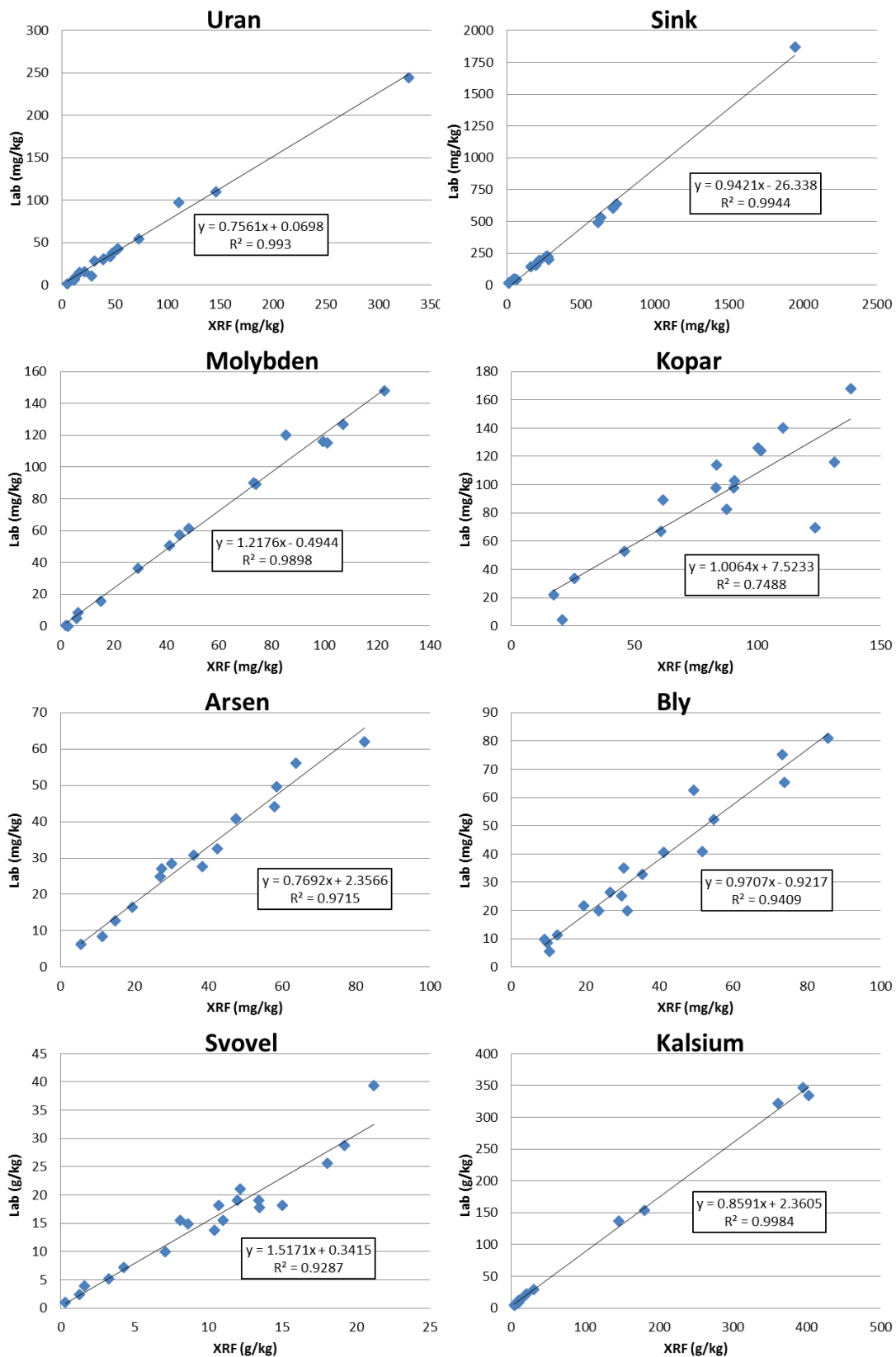
Justering av kalibrering

NGI hadde på førehand utført undersøkingar av borkjerner med vekt på geokjemisk stratigrafi (Endre, 2013a). Bergartsprøver frå desse borkjernene hadde blitt analysert for

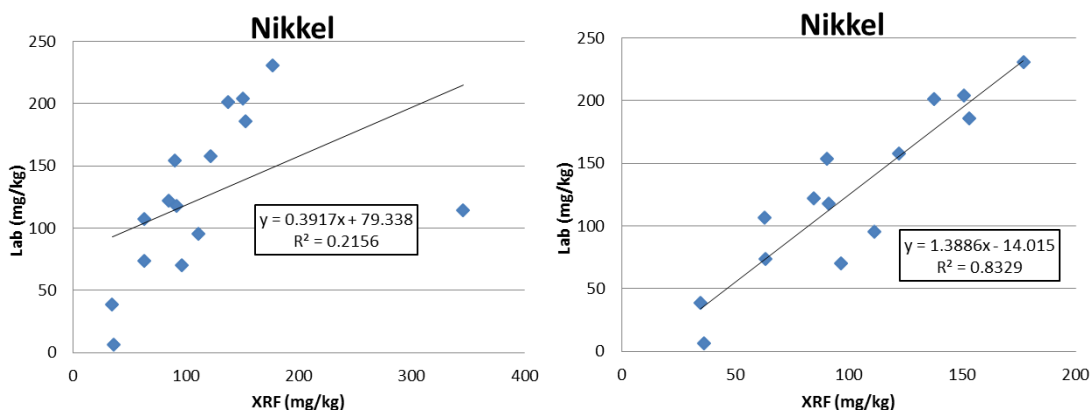
kjemisk innhald med fullt kvantitative metodar ved eit akkreditert laboratorium (ALS Laboratory Group). Erik Endre hadde sikra seg at pulverpreparat av alle prøver var tilgjengeleg, og vi valte ut 20 prøver («fasit») som dekte heile den kjemiske variasjonen i bergartane på Gran. Fem ulike bergartstypar frå tunnelen var representert i utvalet: *Alunskifer* (2–3a), *kalkleirskifer* (3b α), *svartskifer* (3b β = Galgebergledet), *urein kalkstein* (3c) & *leirskifer* (4a). Det finknuste materialet (ca. 5–10 μm) blei preparert i prøvekoppar og analysert med XRF-en plassert i haldar som høyrde til instrumentet. Dette eliminerer usystematiske feil. Det blei laga kalibreringskurver for alle grunnstoffa vi hadde kjente analysedata på. Dei grunnstoffa som hadde tydelege og systematiske avvik frå kjente lab-verdiar fekk ein korreksjonsfaktor lagt inn i instrumentet. Målingar med instrumentet gir dermed resultat som samsvarer med sann verdi innan statistisk usikkerheit.

Korrelasjonsfigurar for grunnstoff brukt til analysing av bergartar på Gran er gitt i figurar nedanfor (Figur 23 og 24). Labverdiar (sann verdi) er gitt på y-aksen, XRF-verdiar på x-aksen. Det blei lagt inn justerte kalibreringar for grunnstoff som hadde ein tydeleg avvikande trend frå kjente verdiar, dette inkluderte uran (U), arsen (As), sink (Zn), molybden (Mo), kalsium (Ca) og svovel (S).

Nokre av grunnstoffa som var planlagt å bruke som grunnlag for XRF-karakteriseringa av svartskifer kunne ikkje nyttast på grunn av dårleg kvalitet på XRF-målingane. Dette gjaldt for nikkel (Ni), som hadde ei høg deteksjonsgrense (omkring 30–40 ppm), og viste ein dårleg korrelasjon med dei kjente prøvene (beste $R^2 = 0,83$, men først etter fjerning av uteliggjar, sjå Figur 24), og for kadmium (Cd), som hadde høgre deteksjonsgrenser (omkring 9 ppm) enn våre behov. Dette hadde ikkje innverknad på vurderingane av deponipliktig materiale, fordi Ni og Cd korrelerte positivt med mange av dei andre tungmetalla som var utslagsgivande ved interne grenseverdiar.



Figur 23. Kalibreringskurver. X-aksen er målinger utført på finknust bergartspulver plassert i små plastkopper og med handheldt XRF plassert i holdar. Y-aksen er «fasit» utført i eksternt laboratorium ved ICP-MS. Alle data i mg/kg = ppm. Lineær regresjon for kvart element viste stort sett gode korrelasjoner, men samsvaret mot sanne verdier varierte. Kalibreringa blei derfor justert for kvart enkelt element, dersom avviket var tydeleg.



Figur 24. Nikkel gav generelt dårlegare korrelasjon mot kjente laboratorieverdjar. Høgre bilde viser betre korrelasjon, men etter fjerning av uteliggjar.

5.1.2.2. Interne grenseverdjar

Det blei satt interne grenseverdjar for å klassifisere om ei prøve var deponipliktig eller ikkje deponipliktig. Dokumentet *Grunnlag for interne grenseverdjar* (Statens vegvesen 2013 vedlegg 8.1) oppgir grunnlaget for korleis grenseverdiane for XRF blei sett. På dette tidspunktet eksisterte det ikkje grenseverdjar for bruk av XRF med tanke på alunskifer. Det var derimot krav om at all svartskifer som kunne ha syredannende potensiale (alunskifer) måtte deponerast. Det var difor sentralt å få etablert føringar som kunne skape nok tryggleik til at ein raskt kunne skilje på deponipliktig og ikkje deponipliktig skifer. Dei interne grenseverdiane blei etablerte etter følgjande hovudprinsipp:

- Alunskifer i alle variantar definerte den kjemiske variasjonen for deponipliktige masse.
- Kalksteinar definerte på same måte kjemisk variasjon for ikkje-deponipliktig masse.
- Bergartar som heilt eller delvis overlappa den kjemiske variasjonen av karakteristiske grunnstoff i alunskifer blei definert som deponipliktige.

Grenseverdiane var sett på førehand på grunnlag av statistisk behandling av alle kjemiske analysar utført under forprosjektet på Gran (Endre, 2013b), og var vidare basert på utlekkingstestar, der kjemisk samansetting i bergartsmateriale blei samanlikna med utlekking til vatn i laboratorieforsøk, og potensiell syreproduksjon (Fjermestad 2013; Helmers 2013). Grenseverdiane er plotta i Figur 25 og 26, og er lista

opp i tabell 11. Den kjemiske variasjonen viser at svartskifer av typen Galgeberg med kjemi tilsvarande alunskifer også burde deponerast. Klassifiseringsmåten baserte seg på; 1) om prøva var potensielt syredannande, 2) om innhald av potensielt forureinande tungmetall var på nivå med alunskifer. Ei grense på totalt 320 mg/kg vart nytta som grenseverdi for totalt innhald av Mo, Pb, As, Zn, U, og Cu. Grensa var 400 mg/kg dersom eitt av metalla U, As og Mo var under grenseverdiane. Både syrepotensial og innhald av tungmetall måtte kome ut som mulig deponipliktig for at prøven skulle bli definert som deponipliktig. Framgangsmåten for klassifiseringa av kvar enkelt prøve er vist i Vedlegg 8.2 *Klassifiseringsmåte XRF* og er gjengitt nedanfor:

1. Syrepotensial

1. sjekk S-innhaldet (korrigert for BaSO₄)
2. Er det under 10.000 mg/kg (1%) → OK!
3. Er det over 12.000 mg/kg → mulig deponipliktig
4. Er det mellom 10.000 og 12.000 mg/kg → usikkert, sjekk forholdet Ca:S

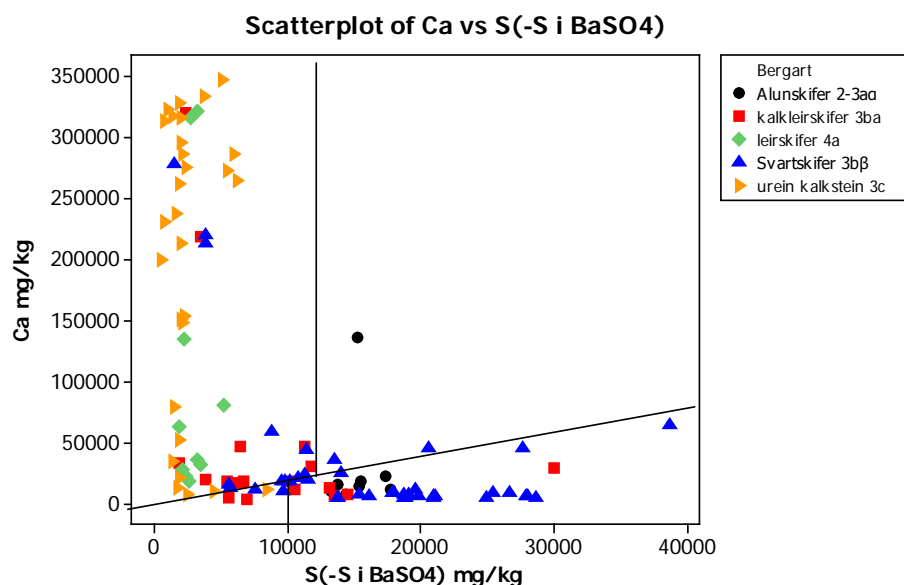
Sjekk Forholdet Ca:S

5. Er Forholdet Ca:S meir enn 2:1 → OK!
6. Er forholdet Ca:S mindre enn 2:1 → mulig deponipliktig
7. Alle skifertypar: test med saltsyre (HCl) om det brusar: ingen, svak eller sterk brusing

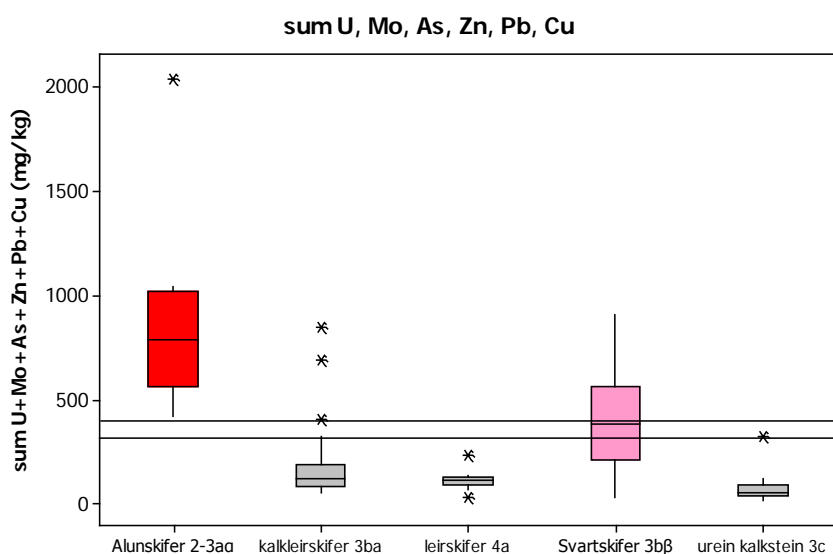
2. Tungmetall

1. Er innhald av Mo, Pb, As, Zn, U, og Cu > 320 mg/kg → gå til 3
2. Er innhald av Mo, Pb, As, Zn, U, og Cu < 320 mg/kg → OK!
3. Finn ut:
 - Er alle 3 tungmetalla U, Mo og As over grenseverdiane sine (sjå tabell) → deponipliktig
 - Er 1 eller 2 av tungmetalla over grenseverdiane, gå til siste punkt
 - Viss ingen av dei 3 tungmetalla er over grenseverdiane. OK!
 - Er samla verdi > 400 mg/kg → deponipliktig. Er samla verdi < 400 mg/kg → OK!

Det blei utarbeida eit Excel-ark (sjå figur 27) som XRF-resultata blei kopiert inn i der det kom tydeleg fram om prøven var definert som deponipliktig etter våre interne grenseverdier. For å skape tryggleik for alle involverte partar og gje liten sjanse for miljøskader blei grenseverdiane forsøkt å sett konservativt.



Figur 25. Kjemiske data frå dei fire første borkjernene (BH1 – BH4) frå tunneltraseen, motatt e-post frå NGI (Endre, 2013b). Dei stratigrafiske nivåa er på førehand definert av NGI. Interne grenseverdier for syrepotensial blei definert med utgangspunkt i typisk alunskifer (svarte symbol). Potensielt syredannande berg har $S > 10000$ mg/kg og $Ca/S < 2$, og er plassert under svart skrånlinje. Dette inkluderte også variantar av svartskiferen 3b β (Galgerbergledet). Kalsium i desse sedimentære bergartane reflekterer hovudsakleg innhald av kalsiumkarbonat, som er uttrykk for pH buffer.



Figur 26. Variasjon i summert tungmetallkonsentrasjon (U, Mo, As, Zn, Pb og Cu) i bergartar i dei fire første borkjernene (BH1 – BH4) frå tunneltraseen frå Gran, basert på kjemiske analysar ved ICP-MS (Endre, 2013b). Prøvetutvalet (n) for statistikken er 8, 19, 10, 42 og 29 for dei respektive bergartane. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data). Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. Den interne grenseverdien for å klassifiere ut skifer med høgt tungmetallinnhald blei plassert mellom alunskifer og kalksteinar. Skifer med sum av tungmetall > 400 mg/kg blei definert som potensielt skadelege mht. utlekking. Ved konsentrasjonar mellom 320 – 400 mg/kg (mellom dei to horisontale linjene) blei det i tillegg sett på konsentrasjon av utvalgte tungmetall, for å vurdere om skiferen var deponipltiktig.

Pelnr	Analyser	Link	Vurdering
8285,5	1	Utrekning	Ikke deponipliktig
8287,5	2	Utrekning	Ikke deponipliktig
8288,7	3	Utrekning	Ikke deponipliktig
8290,5	4	Utrekning	Ikke deponipliktig
8292,5	5	Utrekning	Ikke deponipliktig
8294,4	6	Utrekning	Ikke deponipliktig
8296,7	7	Utrekning	Deponipliktig
8296,7	8	Utrekning	Deponipliktig
8298,4	9	Utrekning	Ikke deponipliktig
8300,3	10	Utrekning	Deponipliktig
8302,6	11	Utrekning	Deponipliktig
8304,1	12	Utrekning	Deponipliktig
8305,8	13	Utrekning	Ikke deponipliktig
8306,6	14	Utrekning	Ikke deponipliktig
8307,6	15	Utrekning	Ikke deponipliktig
8308,5	16	Utrekning	Ikke deponipliktig

Figur 27. XRF-data blei lagt inn i eit spesiell excelark, der det kom klart fram om prøven var deponipliktig etter våre kriteriar. Ein kunne også klikke på kvar prøve for å sjå kva som var utslagsgivande for at prøven blei deponipliktig.

Tabell 11. Oversikt over dei interne grenseverdiane og bakgrunnen for dei valgte konsentrasjonane. Seinare blei nikkel blitt erstatta med molybden (grenseverdi sett til 35 mg/kg), sidan nikkel ikkje hadde like god deteksjon på XRF-instrumentet. Grenseverdi for sum tungmetall vart då 320 mg/kg. Men bergartar med verdiar under 400 mg/kg blei frikjende dersom U, As eller Mo var under den gitte grenseverdien.

Grunnstoff	Registrerte verdiar i alunskifer (8 prøver) på Gran frå analysar av borprøver i forundersøkingane (NGI Endre, 2013b)	Interne grenseverdiane fargekodar etter grenseverdiane i sediment SFT-2007	Kommentar Mobilitet i pH intervall 5-8 ligg til grunn
S	13.700 - 28.200 mg/kg	10.000 mg/kg	Alunskifer med denne mengda er meir problematisk enn Galgeberg 3bβ med same innhald (m.a. ut frå skifrigheit)
Cu	67,2 - 114 mg/kg	60 mg/kg	Låg mobilitet i utlekkingsstest
Ni	70 - 231 mg/kg	70 mg/kg	Moderat mobilt i utlekkingsstest.
As	8,46 - 62 mg/kg	15 mg/kg	Låg mobiltet i utlekkingsstestar
Cd	3,07 - 20,5 mg/kg	1 mg/kg	Høg mobilitet i utlekkingsstestar
Zn	177 - 641 mg/kg	150 mg/kg	Høg mobilitet i utlekkingsstestar
Pb	19,8 - 52,1	20 mg/kg	Moderat mobilt i utlekkingsstest
U	15,6 - 244 mg/kg	25 mg/kg	Moderat til høg mobilitet i utlekkingsstest Sams masse under 1 Bq/g*)
Sum tungmetall (Cu, Ni, As, Cd, Zn, Pb og U)	495 - 2118 mg/kg	400 mg/kg	Sum av grenseverdiane = 341 mg/kg

5.1.2.3. *Vurdering av radioaktivitet basert på urankonsentrasjon*

NGI hadde gjort eit utval av representative prøver for å finne ut om utsprengt masse kunne overskride grenseverdien på 1 Bq/gram. Prøvene blei undersøkt ved IFE og viste at alle innsendte prøver, bortsett frå ei enkelt prøve av ein kalkkonkresjon, låg under grensa (NGI 2012). Vi la derfor til grunn at ingen deler av alunskifermassen kunne reknast som radioaktivt avfall. Ved hjelp av XRF blei det etablert ein korrelasjon mellom uraninnhald i ppm og Bq/gram som viste at grenseverdien låg på nær 100 ppm uran. Denne korrelasjonen gjeld berre for alunskifer som har lite av andre radioaktive element (typisk låge thoriumkonsentrasjonar. Vanlegvis er thorium ca 10–12 mg/kg i alunskifer).

5.1.3. TILLEGGSVURDERINGAR

I tillegg til XRF-analyser blei lagdeling i berget med strøk, fall og volumestimering av skiferen estimert, der dette var mogleg på borkjernene. Det blei i samråd med fagpersonar som bidrog i førebuingane vedteke at tunnelsalver med under 10 % alunskifer ikkje blei rekna som deponipliktig.

Galgebergskiferen har eit antatt mindre forureiningspotensiale enn alunskiferen. Det er fleire oppgitte grunnar til dette (Endre, 2013a) Mellom anna har galgebergen eit anna oppsprekkingsmønster (sukkerbitmønster), som fører til eit mindre overflateareal enn alunskiferen. Galgebergskiferen har også vist seg å ha større sulfidaggregat, som er mindre finfordelte enn alunskiferen, og dei er dermed mindre utsette for forvitring. På bakgrunn av dette blei det i anleggsfasen foreslått å operere med akseptable volumgrenser for svartskifer Galgeberg Tøyen (3bβ) over interne grenseverdier på < 60 % for svartskifer i overgang med Huk kalkstein (3c) og < 50 % for svartskifer i overgang med Galgeberg Hagaberg (3bα). Denne tilnærminga blei brukt i praksis.

5.1.4. KLASSIFISERING AV TUNNELSTEIN

Borkjerner

Prøvetaking for å vurdere om ei salve var deponipliktig blei utført på to måtar:

- Kjerneboring framfor tunnelstuffen med påfølgjande kartlegging av kjerna.
- Prøvetaking på tunnelstuffen

Å ha kontroll på kambrosilurlagrekka i tunnelen var av avgjerande betydning for å lukkast med ei god kartlegging av fjellet. Det blei regelmessig utført kjerneboring 50–100 m framover i tunnellopet, for å få oversikt over forventa geologi dei neste vekene og når skifte i leirskifertype på stuff ville skje. Dette gjorde at vi kunne vite når vi måtte i gang med ei meir omfattande prøvetaking i tunnelen. Kjernene blei logga og analysert med XRF (figur 28). Bergartstypane blei teikna inn i lengdeprofil for begge tunnellop. I områder med svartskifer blei det gjennomført tettare med XRF-analyser (kvar meter kjerne). Resultata frå logginga blei samanlikna med observasjonar på tunnelstuffen og tunnelprofilar (sjå kapittel 5.2) for å komme fram til ei best mogleg tolking av forholda ved neste salve.



Figur 28. Måling med handheldt XRF på borkjerner. Kwart analyseområde blei teikna inn med tusj (sjå sirkel på kjerne til venstre i kassa) og dokumentert.

Alt arbeidet med XRF-analysane og logging av borkjerner blei gjort inne i ein eigen feltcontainer, eller på plassen utanfor. Feltcontaineren var utstyrt med arbeidsbenk og dockingstasjon for pc. Ein manuell agatmorter blei kjøpt inn for å ha moglegheita til å knuse ned, og preparere prøver når det var nødvendig. XRF som analysemetode analyserer ikkje karbonat (TIC; Total Inorganic Carbon). Kalsium blei nytta som «proxy» erstattar for TIC for å indikere bergartens syrenøytraliserande kapasitet fordi dette stort sett reflekterer innhaldet av kalsiumkarbonat (kalsitt). I tillegg til XRF-målingane blei 10 % saltsyre nytta til å teste bergartar og borkjerner for innhald av kalsitt. Saltsyre på ei lita flaske med dråpeteljar er ein tradisjonell feltgeologisk metode som raskt påviser

kalsitt, som gir intens brusing. Dolomitt er også nokså vanleg på Gran, men er mindre løyseleg og brusar svært lite i 10 % kald saltsyre.

Det blei også utført strøk- og fallmålingar på kjernene, for å dokumentere hellinga til skiferlagrekkene, og på den måten tolke bergfoldinga inne i tunnelen. Alle tolkingar blei registrert i kjerneloggar. Desse kjerneloggane med tilhøyrande XRF-analyser vil bli samanstilt i ein eigen datarapport.

Uttak av prøver frå tunnelstuff

Prøvetaking frå tunnelstuffen (endeveggen i tunnelen så langt tunnelen er komen) blei gjort ved å samle inn seks knyttnevestore steinprøver med hammar, i god tid før salva blei fyrt av. Som oftast blei prøvene tatt i samband med tunnelkartlegginga etter sprenging, men dersom fjellet var for dårlig, blei det henta prøver etter at tunnelveggen var sikra med betong. Det blei henta ut tre prøver frå øvre delar av stuffen (ved bruk av korga), og tre frå nedre deler. Steinprøvene blei oppbevart i posar merka med pelnummer og lokalitet på stuff før dei blei tatt med inn i feltkteinaren for analyse (figur 29). Våte steinar låg ei stund til tørking på benken ved romtemperatur før analyse blei gjennomført. Målinga blei utført på ei eigna, mest mogleg jamn og homogen overflate på steinprøven, om mogleg, på tvers av lagdelinga.

Analyseresultata blei lagt inn i eit excelark, der analysene, utifrå dei gitte grenseverdiane, kom ut som deponipliktige eller ikkje deponipliktige. Andelen deponipliktige prøver per stuff avgjorde om salven ble deponipliktig eller ei. I første delen av tunnelen, der svartskifer av typen Galgeberg blei kartlagt, blei salven definert som deponipliktig dersom over halvparten av tunnelsteinane var deponipliktige (4 av 6 prøvar). For alunskifer var grensa 2 av 6 deponipliktige steinar, eller over 10 % alunskifer i salva. Før salven blei sprengt fekk entreprenøren beskjed om salven var deponipliktig eller ikkje.



Figur 29. Framgangsmåte for prøvetaking av steinar frå tunnelstuppen. Grunnstoffa med tilhøyrande konsentrasjonar kom opp på XRF-skjermen etter kvart som dei blei analyserte. Ved å legge inn grenseverdiar for visse grunnstoff, kom konsentrasjonane opp med raud farge på skjermen ved overskriding.

5.1.5. KLASSIFISERING I DAGSONE

XRF-analyser på steinmateriale frå sprenging i dagen blei utført ved XRF-analyser på stein som var synleg i skjeringa, og somme tider ved å analysere borekaks frå området. Borekakset blei knust i agatmortar og preparert i prøvekoppar før analyse. Ved klassifisering i dagsone måtte volumestimering nyttast som verktøy for å vurdere mengda skifer i salva. Salver med < 10 % alunskifer blei i utgangspunktet vurdert som ikkje deponipliktige massar.

5.2. Resultat av svartskiferklassifisering

5.2.1. TUNNEL

Vedlegg 9.1 og 9.2 gir ei oversikt over alle tunnelsalvane som blei vurdert som deponipliktige, og bakgrunnen for vurderinga. Totalt blei 48 000 pfm³ svartskifer ifrå Granstunnelen deponert i masselageret. Av dette var ca 10 500 pfm³ svartskifer frå Galgeberg-leddet. Resten var frå alunskifer-formasjonen. Geologien i tunnelen samsvarte godt med tidlige estimat frå forundersøkingane.

Det blei utført svært mange XRF-analyser av bergartane i tunnelen med fleire tusen analyser totalt. Rundt hundre av desse analysene blei utført på skifer frå alunskiferformasjonen. Statistikken for desse er gitt i tabell 12. Etter påtreff av alunskifer i tunnelen blei frekvensen på prøvetakinga med XRF redusert. Dette var fordi

alle salvene deretter uansett skulle deponerast i masselageret, og det trongst ingen klassifisering for å avgjere det. Ulempa av den reduserte prøvetakinga var at statistikken på kjemisk innhald av skiferen i denne delen av tunnelen ikkje blei like god som statistikken for skiferen tidligare i tunnelen (som blei prøvetatt for kvar salve). Alle XRF-analysane frå tunnelen og dagsona skal samlast i ein eigen datarapport.

På førehand var det planlagt at geologiske vurderingar i form av strøk og fall, strukturgeologi og overgangar mellom bergartsgrenser skulle kartleggast på kontrollingeniørane si tunnelkartlegging. Strøk- og fallmålingar på stoff blei i liten grad utført. Det var vanskeleg å kartlegge orientering på skifrigheitsplan og skilje dette frå sprekkesystem på stoff. Det blei heller ikkje kartlagt i detalj korleis fjellet varierte, dette var grunna at overgangsgrensene mellom ulike bergartshorisontar stort sett var vanskeleg å sjå på tunnelstuffen, med unntak av grensa mellom huk kalkstein og dei tilgrensande skiferhorisontane.

Ved dårleg fjell blei det sprengt halve salver. Dette blei gjort i fleire område av tunnelen der det var svartskifer og spesielt i alunskifer.

Tabell 12. Statistikk av alunskiferprøvar frå tunnelen, basert på 98 XRF-analyser. 7 av prøvene er antatt mænaitt med låge verdiar for S og tungmetall. 72 av prøvene er tekne frå nordre løp frå pelnr 9176 til 9266, medan resterande prøver er frå pelenummer 9178, 9215 og 9219 frå sørgåande løp

	S	Ca	U	As	Zn	Pb	Mo	Cu	Cd	Ni	K	Th
Gjennom- snitt	30 250	26 930	90	58	470	46	167	122	-	297	37 270	12
maks	72 950	419 500	158	10 1	1 586	70	328	282	29	517	52 670	22
min	874	1 970	<8	<5	>15	>7	>3	>15	>8	>30	2 300	<LOD
median	29 880	12 410	96	63	487	48	176	131	-	317	38 360	12

5.2.2. DAGSONE

Vedlegg 9.3 oppsummerer resultatane av XRF-analysane og den påfølgjande vurderinga gjort av salvene sprengt frå dagsona (Horgenmoen og Nordtangen). Lokalitetane er merka av i figur 30.



Figur 30. Området nord for Gran sentrum der alunskifer inngår i berggrunnen. Ny veg er merka oransje, og oransje kryss symboliserer lokalitetar der svartkifermasse blei sprengt ut. Bakgrunnsfoto: www.googlemaps.com.

5.2.2.1. HORGENMOEN

Ved Horgenmoen bestod berggrunnen av alunskifer, med innslag av nokre mænaittgangar. I dette området var det også forvitra skifer i overgangen mellom jord og den faste berggrunnen (sjå figur 31 og 32). Det blei utført regelmessige stikkprøver av berget med XRF for å ha oversikt over kjemisk variasjon i skiferen. Det utsprengte materiale herifrå blei frakta til masselageret for lokal lagring av skifer. Tabell 13 oppsummerer kjemisk innhald i skiferprøvar frå Horgenmoen. I dette området blei dei høgste urankonsentrasjonane på anlegget påvist (maks 228 mg/kg). Innhaldet av svovel var i gjennomsnitt rundt 5 %. Området ved det nordlege tunnelpåhogget var også antatt djupare i lagrekka, enn alunskiferen lengre sør i tunnelen. Fleire analyser var utført på skifer frå Horgenmoen i samband med at skifer herifrå blei tatt ut til eit storskala utlekkingsforsøk i friluft (dei høgste uranverdiane blei funne i dette forsøksmaterialet). Statistikken i tabell 13 er dermed påverka av desse analysene. Resultata frå forsøket kan finnast i rapporten «Utlekkingsforsøk med svartskifer fra Rv. 4, Hadeland» (Fjermestad, Hagelia og Thomassen, 2017).



Figur 31. Folda skifer ved Nordtangen. Her kan ein sjå at alunskiferen visse stader var meir forvitra enn andre. Det var også mange kalkbollar i området.

Tabell 13. Innhald av utvalde grunnstoff i skiferen på Horgenmoen. Statistikken er basert på 78 XRF-analyser frå ulike lokalitetar på Horgenmoen ved det nordlege tunnelpåhogget. Ved utrekning av gjennomsnitt for verdiar under deteksjonsgrensa er halvparten av verdien brukt. For Cd var kun 9 analyser over deteksjonsgrensa. Konsentrasjonar er i mg/kg.

	S	Ca	U	As	Zn	Pb	Mo	Cu	Cd	Ni	K	Th
Gjennomsnitt	52 150	32 817	116	70	177	30	186	123	6,2	212	36 253	11
maks	136 019	354 998	228	113	1 233	72	342	269	38	486	47 602	22
min	3 860	1 885	9,4	18	<10	<10	<3	<20	< 9	<40	2 182	<5



Figur 32. Sprengingsarbeid ved nordre tunnelpåhogg ved Horgenmoen 09.12.2014 (til venstre) og ved påhogget etter gjennomslaget i slutten av mai 2015 (til høgre).

I slutten av sprenginga ved det nordre påhogget kom det fram ein del mænaitt i massane. Mykje av denne steinen blei plukka ut av massane før resten av skiferen blei

køyr til masselageret. Dette var for å minimere mengdene som måtte deponerast, då masselageret begynte å bli fullt. Mænaitten var også godt eigna til bruk i vegfyllingar. Eit problem som oppstod ved det nordre tunnelpåhogget var at fjellet hadde svært dårlig kvalitet. Fjellet var så oppsprukke at entreprenøren ikkje kom ned til fast fjell. Etter ferdig sprenging blei alunskiferen derfor jamna ut opp til nivå for trau (grensa for der vegoppbygginga startar) sjå figur 33. Dette inneber at her ligg veg og tunnelportalar direkte på ein såle av alunskifer. Dette er ei potensiell sårbar løysing med tanke på svelletrykksutvikling over tid.



Figur 33. Tunellpåhogget etter at sprengingsarbeida var over. Alunskifer blei jevna ut opp til trau. Biletet til høgre viser stabben mellom dei to tunnelløpa før denne blei heilt dekkja av sprøytebetong. Mænaitten (ultra finkorna syenittisk bergart) er tydelig som kvite lag i alunskiferen.

5.2.2.2. NORDTANGEN

Som for Horgenmoen blei det utført XRF-analyser etter kvart som det blei blottlagt alunskifer i området ved Nordtangen. I dette området var det, i motsetning til ved Horgenmoen, eit mindre volum skifer samanlikna med harde intrusive bergartar av mænaitt (syenitt) og camptonitt. I skjeringa lengst nord, førekom det nokre breiare belte av alunskifer, med noko høgre innhald av svovel (tabell 15). Her blei det køyrt ut nokre fleire lass til masselageret. Totalt frå området på Nordtangen blei det frakta rundt 1500 pfm³ alunskifer til masselageret, av det var mesteparten frå nordre skjering.

Nordtangen sør

Det blei estimert at dei fleste salvane i den sørlege skjeringa hadde eit alunskiferinnhald på < 10 %. Men lengre nede i skjeringane kan volumet av svartskifer lokalt ha vore opptil 50 %. Dette ser ein på biletet i figur 37. Boringane i planfasen viste også at djupare deler av skjeringa hadde større volum av alunskifer (vedlegg 1.2). Mesteparten av sprengsteinsmassane (bortsett frå eitt lastebillass) frå den sørlege skjeringa på Nordtangen blei brukt i linja som vegoppbygging på grunn av den låge volumandelen av skifer. Mænaitten var godt eigna til vegoppbygging og det var teknisk vanskeleg å sortere ut skiferen frå resten av sprengsteinen. XRF-målingar av skiferen på fleire ulike lokalitetar i skjeringa viste at mykje av skiferen hadde eit lågt innhald av svovel (tabell 14 og 15). Rundt 50 % av prøvane hadde svovelkonsentrasjonar under 0,5 % (<5000 mg/kg).

Alunskiferen i skjeringa har blitt varmpåverka av kontakten med vulkanske intrusivbergartar, og dermed antatt mindre reaktiv. Det var også generelt lågare uranverdiar i steinen samanlikna med fersk/uforvittra alunskifer. Skiferen varierte veldig i form, nokre var veldig kompakte, medan andre var meir forvittra (sjå figur 35). Nokre av prøvene herifrå blei også sendt til radioaktivitetsanalyser ved IFE og våtkjemisk analyse på eit akkreditert laboratorium (ALS Laboratory Group). Sjå kapittel 5.3.2 for desse resultatane.



Figur 34. Området ved Nordtangen skjeringa (sør) ved starten av sprengingsarbeida, 19.02.2014.



Figur 35. Venstre bilete: Eit skiferlag innimellom syenitten i skjeringa. Denne skiferen bar preg av forvitring. Ein del av denne skiferen blei sendt til våtkjemisk analyse, og viste svovelinnhald på 1200 mg/kg, noko som er relativt lite (0,12 % S). Det same pulveret blei også analysert med XRF, sjå «skifer 2» i tabell 14. Høgre bilete: Ein meir kompakt skifer som også var tilstades i skjeringa. XRF-målingar direkte på steinen viste svovelverdiar frå 7000 – 22 000 mg/kg.



Figur 36. Området ved Nordtangen etter sprenging 27.02.2014 – Eit skiferlag kjem til syne til høgre i biletet.



Figur 37. Området ved Nordtangenskjeringa (sør) etter ferdig sprenging. Lenger ned i skjeringa auka tjukkelsen på alunskiferlaga.

Tabell 14 viser den kjemiske variasjonen i skiferen på Nordtangen sør analysert med ICP-MS (als Laboratory Group) og med XRF (verdier i parentes). Skiferen for kvart nummer 1-7 er tekne frå ulike lokalitetar/skiferlag i skjeringa på Nordtangen. Prøvene 6 og 7 er kaksprøver frå forundersøkingane. Svovelinnhaldet varierte mykje i ulike skiferlag. Fire av dei sju skifrane hadde svovel under 0,5 %, medan tre hadde svovel frå 2 - 2,5 %. XRF-analysene viste svovelverdier opp til 6,6 %.

Tabell 14. prøvetaking av skifer ved Nordtangen i den sørlege skjeringa. Prøvene er analysert på akkreditert laboratorie (ALS Laboratory Group As). Verdiane i parentes er gjennomsnittet av fire analyser med XRF på same utgangsmaterial av finknust pulver. Svovelinnhaldet varierte mykje i prøvane som blei analyserte (frå 678 - 25 000 mg/kg). Uran var under 61 mg/kg.

Prøve	S	Ca	U	Zn	As	Cu	Ni	Cd	Mo	Pb	K	Th
skifer 1	19 700 (20 107)	1 400 (3 276)	39 (36)	105 (84)	50 (41)	143 (108)	124 (78)	15 (12)	82 (76)	34 (22)	45 500 (41 824)	17 (18)
skifer 2	1 200 (2 236)	4 700 (5 559)	44 (40)	728 (670)	49 (68)	173 (172)	346 (432)	11 (<LOD)	136 (125)	29 (12)	41 100 (34 742)	15 (< LOD)
skifer 3	3 780 (6 762)	1 900 (3 256)	61 (54)	816 (833)	40 (43)	17,1 (<LOD)	55 (<LOD)	5,6 (<LOD)	119 (107)	213 (142)	45 200 (42 742)	17 (15)
skifer 4	678 (2 058)	9000 (14 345)	28 (26)	24 (16)	3,1 (13)	17,7 (<LOD)	39 (<LOD)	0,15 (<LOD)	56 (69)	3,4 (12)	30 500 (32 186)	7,9 (13)
Skifer 5	1230 (2147)	2 400 (3 814)	55 (46)	83 (72)	16,1 (27)	94 (82)	80 (34)	1,34 (<LOD)	113 (104)	11 (12)	49 100 (42 534)	18 (16)
Skifer 6	25 400 (66 472)	18 900 (20 664)	45 (43)	87 (86)	46 (55)	89 (89)	98 (86)	2,05 (<LOD)	112 (115)	24 (12)	37 300 (35 686)	13 (12)
Skifer 7	22 100 (41 607)	27 800 (13 332)	38 (43)	79 (73)	13 (36)	99 (113)	96 (110)	0,94 (13)	96 (94)	18 (18)	31 700 (36 703)	13 (15)

Tabell 15. Oversikt over 35 skiferprøver frå Nordtangen sør analysert med XRF. Ved utrekning av gjennomsnitt og median er halvparten av deteksjonsgrenser brukt på element >LOD.

	S	Ca	U	As	Zn	Pb	Mo	Cu	Cd	Ni	K	Th
Gjennom- snitt	16 125	11 784	38	45	217	21	99	86	4,8	122	31 990	11
maks	67 440	37 480	59	80	1144	161	191	727	13	852	46 095	19
min	650	2 960	20	12	<10	<10	<4	< 12	<7	<30	2 345	>6
median	4 893	5 860	39	42	70	12	107	81	4	51	33 090	12

Nordtangen nord

I den nordre skjeringa blei det til saman tatt over 30 XRF-analyser av fjellet.

Gjennomsnitt, min og maks av analysene er samanstilte i tabell 17. I nedre del av skjeringa var det meir svartskifer enn i den øvre (figur 39), og det blei også skilt ut noko svartskifer herifrå som blei køyrt til masselageret. XRF-analysane av fjellet viste høgre svovolverdiar samanlikna med analysane frå skjeringa ved Nordtangen sør. Dei fleste analysene viste over 1 % Svovel. Det var også fleire stader teikn til forvitring av prøven (figur 40). Det blei analysert på kaksprøver i samband med boring av ladehol (figur 38), og haugen med det mørkaste pulveret blei utvald for analyse med XRF. Prøven hadde svovel på 1,2 % medan kalsium på 3,4 %. Resultata frå kaksprøven og andre analysar direkte på fjellet er vist i tabell 16.



Figur 38. Ladehol med borkaks i den nordre Nordtangen-skjeringa. Det blei gjort XRF-analyser på borkakset med svartast farge. Dette var ikkje deponipliktig (sjå resultat i tabell 16 nedanfor).



Figur 39. Den ferdige skjeringa ved Nordtangen nord.



Figur 40. Sone med forvittra skifer på Nordtangen nord. På desse flatene var svovelinnhaldet høgt. På uforvittra overflater i same laget var S lågt. Dette kan skuldast at nydanna svovelmineral blir konsentrert på sprekkeoverflater.

Tabell 16. Oversikt over XRF-analysar i skjering direkte på fjellet etter utsprengning. Prøve nummer 4 er ei XRF-analyse av kaksprøve frå ladehol (finkust prøve preparert i prøvekopp). Gult forvittringslag på prøve 1b indikerer sulfatmineral. Det er også gjenspegla i høg As.

Alunskiferprøvar Nordtangen nord	S	Ca	U	As	Zn	Pb	Mo	Cu	Cd	Ni
1 a forvittra skifer	5520	2640	23.7	36.2	<LOD	128	98.6	21.4	<LOD	<LOD
1 b gult forvittringslag	77100	2620	27.0	218	81.9	90.1	181	86.3	<LOD	177.0
2 a skifer nedre lag	18000	2610	17.7	35.8	106	149	38.7	77.7	<LOD	70.3
2 b skifer nedre lag	49100	12900	31.6	38.7	<LOD	27.0	129	91.0	<LOD	242.0
3 skjering	13100	51300	35.8	<LOD	<LOD	8.7	6.2	<LOD	<LOD	46.3
4 kaksprøve	11700	33900	14.0	21.4	98.4	17.1	23.3	78.1	<LOD	83.7

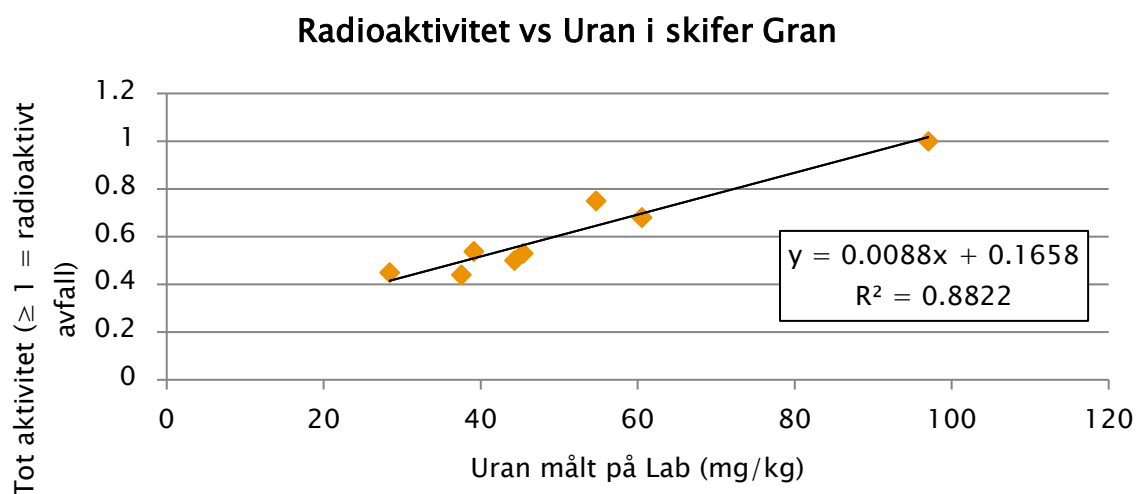
Tabell 17. Oversikt over utvalde grunnstoff i skifer frå den nordre skjeringa på Nordtangen, basert på 31 XRF-analyser tatt direkte på fjellet (og ein kaksprøve). Fleire av analysene (13 av 31stk) er gjort på delvis forvittra skifer, dermed kan gjennomsnittet for nokre grunnstoff vere påverka av enkelte høge målingar *= forvittringslag, ** = kaksprøve

	S	Ca	U	As	Zn	Pb	Mo	Cu	Cd	Ni	K	Th
Gjennom- snitt	26 865	31164	61	95	623	103	131	131	<15	251	24 574	9,8
maks	83 435	218 415	117	364*	3942*	622*	370*	636*	<15	1187*	44 843	19,5
min	4260	1740	14**	<10	<12	8,7	6,2	21	<15	43	3421	<6
median	19 032	7 567	56	63	86	27	30	82	<15	173	24 137	9,6

5.2.3. VURDERING AV RADIOAKTIVITET BASERT PÅ XRF-ANALYSAR AV URAN

Prøver fra forundersøkingane hadde vist at ein kunne etablere ein korrelasjon mellom uraninnhaldet og radioaktivitet i skiferen på Gran og at 100 mg/kg uran tilsvara 1 Bq/g (basert på Endre 2012, vedlegg 5.1). Vi etablerte dermed 100 mg/kg som ei grense for å klassifisere radioaktivt avfall. Analyser av radioaktivitet i alunskifer på Nordtangen (vedlegg 5.2) viste også same trend. Prøver frå Nordtangen og tunnel tilsa at grensa for overskriding av 1 Bq/g var rundt 95 mg/kg (sjå figur 41).

Under rutinemessig systematisk analyse av tunnelstein viste det seg at uran i nokre få tilfelle var høgare enn 100 ppm. Analysene med høgst uran blei gjort på forvitra skifer i den nordre tunnelforskjeringa på Horgenmoen. Nå var det likevel slik at all alunskifer gjekk til masselageret på Gran, og det aller meste hadde < 100 ppm uran (< 1 Bq/gram). Den totale mengden skifer over 100 ppm uran er vanskeleg å vurdere eksakt, men det blei gjort funn over ei ca 100m strekning. Ei ordentleg volumestimering hadde krevd systematiske målingar langs linja i dagsona, noko som ikkje blei gjennomført. Samtidig er det også mogleg at ekstra prøvetaking kunne avdekka områder med lågare innhald av uran. Fleire mænaittgangar i skiferen i dette området vil også ha bidrege til lågare aktivitet av sams masse, då denne bergarten hadde lågare uranverdiar.



Figur 41. Prøver av skifer frå Nordtangen (2014) og ei analyse frå borkjerne frå tunnelen (2012) med analyse av radioaktivitet og uran og forholdet mellom desse parameterane.

5.3. Diskusjon av metode for klassifisering

5.3.1. GRENSEVERDIAR FOR KLASSIFISERING AV POTENSIELT SYREDANNANDE MASSAR

Alunskifer skulle i alle variantar vere «deponipliktig», og grenseverdiane for klassifisering med XRF blei sett på bakgrunn av dette. Den viktigaste parameteren for å stadfeste om berget var alunskifer var innhaldet av uran. Normalt har alunskifer uran over 60 mg/kg, medan galgebergskifer normalt har verdiar under 40 mg/kg (Endre, m. fl., 2015).

I all hovudsak fungerte grenseverdiane veldig bra ved at alunskifer kom ut som deponipliktig ved XRF-målingar. Nokre unntak var det likevel. Til dømes kunne skot på kalkbollar med mindre svovel gjere at svovelinnhaldet kom under 1 % og blei dermed klassifisert «ikkje deponipliktig». I praksis var ikkje dette noko som kunne føre til feilklassifisering, fordi kalkbollane var godt synlege, og det blei alltid gjort fleire analyser per lokalitet. Alunskiferen på Nordtangen avveik også i fleire tilfelle frå Granstunnelen og Horgenmoen ved at tungmetallkonsentrasjonane, og spesielt uraninnhaldet var lågare enn alunskifer frå tunnelen, og at svovel varierte mykje og førekom både over og under grenseverdien for svovel. Fleire av prøvene frå Nordtangen endte dermed opp som «ikkje deponipliktige». Området Nordtangen mot Jaren representerer eit djupare stratigrafisk nivå enn Gran–Horgenmoen (etasje 2) og det er sannsynleg at vi her er nede i etasje 1. Alunskifer i etasje 1c og d er kjent for relativt lågare svovel og tungmetallinnhald enn etasje 2 (Bjørlykke, 1974). Årsaka til dei lågare verdiane kan derfor vere knytta til primær variasjon. Det er også muleg at varme frå mænaitt og camptonitt kan ha endra kjemien til skiferen ved kontaktmetamorfose, medan effektar av tektonikk (folding og overskyving i kaledonsk tid) er omtrentleg lik på heile parsellen.

Svartskifer av galgebergformasjonen var deponipliktig dersom den hadde eit syredannande potensiale (basert på innhald av svovel og kalsium), og samtidig hadde overlappende tungmetall–kjemi med alunskiferformasjonen. For å bli klassifisert som deponipliktig måtte prøven få utslag over grenseverdiar både på summerte tungmetallverdiar (over 320 mg/kg) og det syredannande potensiale. For galgeberg svartskifer kunne dermed prøvar med syredannade potensial over grenseverdien slå ut

som ikkje deponipliktige på grunn av lågt tungmetall-innhald. Kriteriane for klassifisering blei satt slik for å unngå at XRF-skot på tilfeldige sulfid-korn i Elnes-skifer eller Hagabergformasjonen, som i utgangspunktet var definert som ufarlege massar, blei definert som deponipliktige. Ein bakgrunn for at grensene blei satt slik var at galgebergskiferen var definert som mindre reaktiv, på grunn av mindre finfordelte sulfid i skiferen og blir mindre finknust (sukkerbitberg) (Endre, 2013a). Dermed vil det syredannande potensialet og forureiningsrisikoen vere mindre i Galgebergskiferen enn alunskiferen. At sulfida er større og mindre finfordelte i galgebergskiferen enn i alunskiferen blei også observert i prøvar frå Gran undersøkt i masteroppgåvene til Erstad (2017) og Børresen (2017).

Noko av skiferen i Hagabergformasjonen viste seg å likne på skiferen i Galgebergformasjonen i utsjånad, men hadde i gjennomsnitt eit noko lågare tungmetall- og svovelinnhald. Denne blei ikkje klassifisert som deponipliktig ved XRF-målingar. Galgeberg (svart) og Hagaberg (grønlig grå) veksla og blei repertert i centimeterskala i visse områder. Dette indikerer at «redoks fronten» låg nær sedimentoverflata når skiferen blei danna.

Det kan diskuterast om seks XRF-analyser var eit tilstrekkeleg grunnlag for å skilje mellom deponipliktig og ikkje-deponipliktige salver av galgebergskifer (seks analyser per salve tilsvarar omtrent ein analyse per 100 m³ sprengstein ved full salvelengde). Sidan grenseverdiane blei sett konservativt blei det operert med at ein salve med Galgebergskifer måtte ha fire deponipliktige analyser av totalt seks prøver for at sams masse skulle vere deponipliktig. Dermed kunne éin ikkje-representativ prøve gjere at prøven blei frikjend. Samtidig var dette ein metode som var gjennomførbar og enkel å etterprøve i ettertid. I praksis var det berre tre frikjende salver av Galgeberg der tre av seks analyser var over dei interne grenseverdiane. Ved eitt tilfelle blei ei salve med fem av seks analyser over dei interne grenseverdiane (galgebergskifer) køyrt til fylling i linja på grunn av for sein gjennomføring av XRF-analyser.

Fleire salver med Galgebergskifer som blei klassifisert som ikkje-deponipliktig er nytta i fyllmassar til vegoppbygging. I deler av desse massane kunne det også forekomme Galgebergskifer som var over grenseverdiane med XRF (jf praksisen nemnt ovanfor). Det blei ikkje noko regime for å kontrollere kor slike frikjende salver med Galgeberg, eller anna leirskifer frå tunellen blei plassert i linja. Dersom dette hadde vore kontrollert,

kunne ein valt å følgje opp med ytterlegare kartlegging viss det var område med vassgjennomstrøyming. Kalkstein frå Huk-formasjonen blei også brukt i vegfyllingar, og denne vil på andre sida vere nøytralisierende i miljøet.

Som ein sikkerheitsventil for å heilgardere oss imot noko avrenning frå frikjent Galgeberg som blei brukt i linja, kunne grenseverdiane også vore så låge at også all Galgebergskifer var innan kategorien for deponipliktig masse. Dette hadde sannsynlegvis gjort klassifiseringa noko enklare. Ei anna tilnærming kunne ha vore at færre «deponipliktige analyser» måtte til for å klassifisere heile salva som deponipliktig. Samtidig hadde mykje meir skifer måtte blitt deponert ved desse tilnærmingane, også skifer som hadde lågt innhald av svovel og tungmetall og som etter gitte kriteriar ikkje var potensielt forureinande.

Etter våre vurderingar, skal ikkje den frikjente Galgeberg-skiferen som er brukt i linja medføre noko stor total utlekking. Men ein må likevel forvente noko diffus avrenning med vasskjemi som speglar bergartane i fyllinga. Miljøet på Gran er tilpassa eit liv i slike bergartar, og bergartane her er også grunnlag for eit rikt jordsmonn.

Totalt sett meiner vi at dei internt sette grenseverdiane var det beste utgangspunktet vi hadde for ei god nok klassifisering av massane, men det er viktig å arbeide vidare med å finne riktige nivå. Grenseverdiane bygde på den kunnskapen og erfaringane vi hadde om skiferen på førehand og var konservativt beregna. Dei valte grenseverdiane var også tilpassa klassifisering ved bruk av handheldt XRF, og det viste seg å vere ein enkel gjennomføringsmetode som hadde god korrelasjon til laboratorieprøver.

Det er mogleg at ein i framtida kan tenke seg å differensiere også innan alunskifer, men problemet med dette er at kjemien ofte varierer på liten skala. Vi vil derfor hevde at klassifisering i praksis må dreie seg om salve for salve, og at det vil vere svært vanskeleg å tilpasse anleggslogistikken til skilje ut delar av kvar salve.

5.3.2. BESTEMMING AV RADIOAKTIVITET I MASSANE

I Miljødirektoratets rettleiar for karakterisering av syredannande bergarar som kom i 2015 (Endre, m. fl., 2015) blei 90 ppm brukt som grense: «Erfaringsmessig indikerer et uraninnhold på >90 mg/kg at en burde måle radioaktiviteten for å avgjøre om den ikke overstiger 1 Bq/g». På bakgrunn av analyser av skifer frå forundersøkingane brukte vi ei

grense på 100 mg/kg for definering av massar med radioaktivitet over 1 Bq/g. Gammamålingar utført i forundersøkingane på borkjerner frå tunnelen (Endre 2012), sjå figur 42, viste verdiar mellom 260 og 700 Y/sekund (= cps), noko som tilsa at skiferen ikkje var klassifisert som radioaktivt deponeringspliktig avfall. Jamfør radioaktivitetsmålingar på IFE i Endre (2012) korrelerte gammaverdiar på over 700 Y/sekund med ein radioaktivitet over 1 Bq/g.



Figur 42. Gammamålingar på kjernemateriale frå forundersøkingane (Foto: Erik Endre).

I praksis var dei fleste målingane under 100 mg/kg uran, og den totale massen som blei deponert i masselageret vil ha ein sams radioaktivitet godt under 1 Bq/g.

Uranksentrasjonane kunne imidlertid variere på små avstandar i berget, og slik sett var vurdering av sams masse vanskeleg. Eksempelet med høg uran på skifer lokalt på Horgenmoen viser at dersom ein hadde brukt handheldt XRF også i forundersøkingane ville ein kunne ha avdekt variasjonen på eit mykje tidlegare tidspunkt.

Området på Horgenmoen og ved den nordlege forskjeringa til tunnelen med høgare uranverdiar blei oppdaga på grunn av analyser på stikkprøver med XRF, og hadde truleg ikkje blitt avdekka utan dette hjelpemiddelet.

5.3.3. KJERNEBORING FORAN TUNNELSTUFF OG UTTAK AV PRØVER PÅ STUFF

Klassifiseringa av kvar salve kunne nokre gonger vere utfordrande i praksis. I starten vart det forsøkt å rekne ut gjennomsnittlege konsentrasjonar av svovel og tungmetall i

ei salve basert på XRF-analysar av salvene, og ut frå det avgjere om heile salva var deponipliktig. Denne metoden blei fort forkasta, då heterogenitetar i prøvematerialet vanskeleggjorde å gjere ei vurdering ut i frå dette (ein høg prøve kunne gjere at gjennomsnittet blei høgt, og påverke sluttresultatet sjølv om resten av prøvane var under grenseverdier).

I oppstarten blei det foreslått å analysere på borkaks frå salveboringa for å vurdere om salva var deponipliktig. Dette vil i teorien gi meir representative prøver, sidan ein då får tatt ut fjell ikkje berre i stuff-flata men prøven blir ei blandprøve frå fjellet innover i salva. Det var tenkt å tørke materialet, nytte prøvesplittar og deretter og knuse materialet med agatmorter, før preparering i prøvekoppar og analyse med XRF. I praksis fant vi ut at dette arbeidet ville ta altfor lang tid. I tillegg var tidsrommet før salva gjekk kortare. Massane måtte også ha blitt tørka i eget tørkeskap. På bakgrunn av dette blei denne metoden forkasta.

Volumvurderinga av salven kunne også vere utfordrande, når ein ikkje såg tydelege overgangar mellom laga i tunnelen. Etter kvart blei enklare reglar satt for når salva skulle reknast som «deponipliktig», mellom anna ved å utarbeide eit excelark som gav klart svar om prøven var deponipliktig eller ikkje. Det blei også klare reglar for kor mange av analysane som måtte vere overskrida for at heile salven skulle bli klassifisert som deponipliktig (sjå kapittel 5.1.2). Oppsummert finn vi at metoden fungerte godt og var enkel å gjennomføre med god kvalitet sjølv om det var skiftarbeid og fleire involverte. Metoden gav rask oversikt og bidrog til forutsigbart driftsopplegg for entreprenøren.

5.3.4. KLASSIFISERING AV BERG I DAGSONE

Områda med alunskifer i dagsona var kjent på førehand. Sjølve metodikken for å prøveta desse salvene var mindre systematisk enn for tunnelsalvene. I dagsona måtte det takast prøver på bakkenivå ved uttak av borkaks frå borhol eller berg på overflata.

Dette var ei utfordring i blandingssoner på Nordtangen, der alunskifer låg i tynne lag i veksling med mænaitt. Her var det vanskelegare å vite akkurat korleis berget såg ut under overflata, dersom ein ikkje hadde ei utsprengt flate å gå ut i frå, slik som på tunnelstuffen. Data frå forundersøkingane som hadde estimert kor laga gjekk var til god hjelp.

Sidan alunskiferen utgjorde < 20 %, og det var vanskeleg å sortere ut alunskifer frå blandingslag blei det meste av skiferen liggjande igjen i området til fylling under vegen. En betre metode kunne kanskje ha vore å sprengje ut skjeringa meir seksjonsvis, i «trappetrinn». Anlegging av knuseverk kunne kanskje ha vore ein fordel her, for å kunne skilje menaitten til byggstein og sortere ut alunskifer. Dette var imidlertid ikkje nemnt i konkurransegrunnlaget, og dermed ikkje så lett å gjennomføre. Det bør også kunne vurderast om ein kan fire på krava viss skjæringa er tørr, eller om massane blir lagt tørt i fylling med liten sjanse for kontakt med vatn.

På Horgenmoen var det enklare å gjere vurderingar, sidan all massen her var deponipliktig. Sidan det ikkje var behov for å klassifisere kvar enkelt salve blei det mindre bruk av XRFen til kartlegging og meir brukt til stikkprøver på salvene. Dette gjorde igjen at statistikken for dette området blei mindre omfattande, og at vurdering av radioaktive massar over 1 Bq/g blei vanskelegare.

Ei generell utfordring i dagsona var å samle opp fragmentert materiale etter sprenginga. Finstoffet vil vere mest reaktivt og bidrog sannsynlegvis til dei auka konsentrasjonane av nokre metall nedstraums i bekkane på Horgenmoen og Nordtangen etter sprenginga av skjeringane i alunskifer (sjå del 3).

6. MASSEUTSKIFTING MED ALUNSKIFER

6.1. Metode for utgraving av myr

I kontakta med hovedentreprenør var det lagt opp til to metodar for masseutskifting; fortrenking ved hjelp av sprenging, og utgraving. Massefortrenking eignar seg best der det er god tilgang på massar som skal fortrenge (i dette tilfellet svartskifer) og at massane som skal fortrenkast er blaute, her torv, silt og leire. Under driving av tunnelen kom det i starten lite svarskifer som blei klassifisert som «deponipliktig». I tillegg var det vanskeleg å gjennomføre sprenging på grunn av strenge krav til ristingar på nytt nabobygg og nærleik til rv. 4. Entreprenøren valte derfor å grave ut massane. Figur 43 illustrerer ulike steg i utgravingsprosessen.



Figur 43. Utgraving av myr. De øverste to bildene viser ulike gravemaskiner, mens det store bilde nederst viser en beltekran med grabb.

Entreprenøren sin opprinnelege plan var å grave ut ved hjelp av ei tyngre gravemaskin med lang arm. Denne maskina kom aldri. I staden blei det brukt to andre mindre maskiner, sjå små bilete i figur 43. Problemet med desse var at den første hadde for lita rekkevidde og den andre for lita skuffe. Endeleg løysing blei å bruke ei beltekran med grabb for graving under grunnvannsstand. Grabben tok ca. 4 m² og to til tre grabbar var nok til å fylle planet på ein lastebil med blaute massar, sjå nedre bilde i Figur 43. Over grunnvasstand var ikkje krana like effektiv så tørre massar blei stort sett gravd ut med vanlig gravemaskin. Totalt blei det tatt ut ca. 300 000 m³ lausmassar, det meste av dette var massar som blei tatt ut under vatn, dvs. volumet inkluderer ein god del vatn.

6.2. Oppfølging av grunnvasstand under anlegg

Ettersom det meste av deponipliktig svartskifer kom samla i den nordre delen av tunnelen, dvs. i sluttfasen, blei det bestemt å grave ut eit stort nok område slik at ein var i stand til å ta imot tunnelmassar frå to løp utan å forsinke framdrifta av tunneldrivinga.

I starten av utgravinga blei det pumpa vatn ut av byggegropa. Dette, i tillegg til at utgravinga førte til eit større volum for vatn, førte til ei rask senking av grunnvatnet i og rundt byggegropa. Eit viktig omsyn under utgravinga var derfor å følgje opp vasstanden i byggegropa og grunnvasstanden i dei tilgrensande områda. Spesielt rundt eit heilt nytt naudetatsbygg på nabotomta var det viktig å ikkje senke grunnvasstanden under kote 203, som blei sett som nedre grense for naturlege variasjonar. Sjølve bygget står på pelar, medan infrastruktur i bakken som kablar og røyr ligg rett i massane. Ikkje lenge etter at bygget stod ferdig og blei tatt i bruk blei det tidleg synlege setningsskadar i massane rundt sjølve bygget. Statens vegvesen blei kontakta med krav om erstatning. Dette blei avvist på grunnlag av den tette oppfølginga vi hadde med variasjonar i grunnvatnet. Spyling med vatn og luft ved nedboring av foringsrør for stålkernepelar i samband med etablering av bygget og tilleggsbelastning frå masseutskifting rundt bygget blei lagt fram som mest sannsynlege årsaker. I tillegg hadde Gran kommune nyleg gravd djupe VA-grøfter nært opp til området, og det kan ha påverka den opprinnelege grunnvasstanden. Figur 44 viser eksempel på setningsskadar rundt bygget.



Figur 44. Synlege setningsskadar rundt nytt naudetatsbygg.

Oppfølginga av grunnvasstanden blei gjort ved hjelp av «divarar», eit måleinstrument som hang ned i dei ulike brønnane og som målte bl.a. nivå for grunnvasstand 4 gonger i døgnet. Vasstanden i sjølve byggegropa blei målt manulelt ein til to gonger om dagen. Kvar diver var kopla til eit modem og ein sendar for on-line overvaking. Målingar av vasstand frå byggegropa blei lagt manelt inn i same system. Figur 45 viser eit bilete frå ei slik overvaking. Figuren viser grunnvasstand i dei brønnane som på det tidspunktet var operative og vasstanden i sjølve byggegropa (vasstanden i byggegropa er vist som mørk lilla strek). Figuren viser at pumping av vatn ut av byggegropa førte til ei rask senking av grunnvatnet i alle brønner bortsett frå brønn nr. 12. For å unngå eventuelle setningar på nabotomter blei det sett ei grense for lågaste tillatne grunnvasstand. Dette førte til at pumping av vatn ut av byggegropa under utgraving måtte gjerast med stor varsemd. Etter at krana (sjå figur 43) blei sett i produksjon blei det ikkje lenger behov for pumping av vatn. Utgravinga i seg sjølv førte også til ei senking av vasspegelen, men denne var vesentleg mindre og ein erfarte at når aktiviteten i byggegropa stoppa steig vasstanden igjen raskt. I Figur 45 ser ein tydeleg korleis vasstanden i byggegropa steig etter at pumpa var stoppa. Dette stemmer godt med tidligare målingar i samband med pumpetesten og utført vassbalanse som stadfesta at tilførsel av grunnvatn frå underliggjande fjell er god.



Figur 45. Overvakinga av grunnvatn i brønner og vasstand i byggegrop under anlegg. Målingane viser at vasstanden i byggegropa og i brønnane rundt raskt blei reetablert etter at pumpa blei slått av. Hoppet i brønn 13 er skulda nedbør. Plasseringa av brønnane er vist i figur 15.

Den rosa kurva i figur 45 er frå brønn 12 som stod i eit område med tett siltig leire og som ikkje blei grave ut men dette området blir liggjande tett inn mot masselageret. Grunnvatnet her låg vesentleg over grunnvatnet i sjølve byggegropa og er i liten grad påverka av variasjonane i vasstand i sjølve byggegropa. Dette indikerer at dette området har ein svak hydraulisk kontakt med området som blei masseutskifta, slik at fare for strøyming av grunnvatn ut av masselageret her er lite sannsynleg.

Etter kvart som utgravinga gjekk framover blei overvakingsbrønnane i sjølve myra tatt ned. Overvakingsutsyret blei flytta til brønnane som stod i randsona og utanfor sjølve utgravingsområdet. Flytting av måleutstyr frå brønn nr. 6 til brønn nr. 11 er vist i Figur 46.



Figur 46. Her er kontrollingeniøren i ferd med å fjerne måleutstyr i brønn nr. 6. Som det kjem fram av biletet er det øvste torvlaget rundt brønnen allerede fjerna.

Gjennom heile anleggstida blei Eh-pH logga i brønn 13. Målingane viste stabilt låge ORP (oxidation-reduction potential) verdiar rundt - 365 mV (som tilsvarer Eh på - 151 mV) og pH rundt 6,7. Det var ikkje noko som tyda på at desse verdiane var påverka av anleggsarbeidet, i motsetning til grunnvasstanden som følgde vassnivået i byggegropa. Grunnvassnivået i brønn 13 blei brukt som ein kontrollbrønn for å sikre at grunnvasstanden ikkje blei lågare enn kote 203. Figur 45 viser eit hopp i grunnvasstanden i denne brønnen etter ein periode med mykje nedbør.

6.3. Utrekning av omrekningsfaktor mellom faste og lause massar

Statens vegvesen nyttar vanlegvis standard omrekningsfaktorar mellom faste og lause massar. For å få ei forutsigbar anleggsdrift var det viktig å vite om tilgjengeleg volum for deponipliktige massar var tilstrekkelig eller om massane måtte køyrast til godkjent deponi.

For å få ein meir representativ omrekningsfaktor blei det utført nokre enkle forsøk der ein ved måling av vekt og volum fant at omrekningsfaktoren mellom fast og laus alunskifer låg rundt 1,8. Forsøka blei utført i ein konteinar på området (figur 47). Resultata blei seinare verifisert på ein større mengde på Statens vegvesen sitt laboratorium på Lillehammer.



Figur 47. Enkle forsøk på måling av vekt og volum av faste og sprengte massar.

Alunskifermassene som blei lagra kom i dei fleste storleikar. Det aller meste var svært nedknust med mykje finstoff, men det var også større steinar og fleire konkresjonar i form av sirkulære kuler med diameter på opp mot ein meter og mindre, sjå Figur 81. Dei sirkulære konkresjonane indikerer alunskifer av type 3a, medan diskosformer indikerer etasje 2. På Gran observerte vi først og fremst dei sirkulære kulene.

6.4. Oppfølging av masseutskiftning og vasskjemi i open byggegrop

Opprinneleg plan var å få til ei suksessiv utgraving og tilbakelegging av svartskifer for å redusere behov for mellomlagring og unngå ei større byggegrop (utgravid volum for masselager) enn nødvendig. Det viste seg at dette ikkje kunne kombinerast med ei effektiv framdrift. Spesielt ettersom det meste av dei deponipliktige massane frå tunnelen kom samla for begge løp i slutten av drivinga. I tillegg produserte tunneldrifta stein til masselageret vesentleg raskare enn tida det tok å klargjere masselageret. Ein maksimal produksjon i tunnelane tilsvarte 3 salver/døgn, noko som gav ca. 1300 faste m³/døgn. I overslaget er det tatt omsyn til ei marginal siktutviding og ca. 0,5 m oversprenging. Ein maksimal produksjon tilsa at det ikkje blei utført forinjeksjon. Beslutning om forinjisering blei tatt fortløpande for kvar salve. Bergmassekvaliteten verkar også inn på framdrifta. Ved god bergmassekvalitet var salvelengdene 5,5 meter, medan denne blei redusert til ca. 3 m ved dårlig/svak bergmasse, særleg i alunskifer.

Erfaringar har vist at lekkasjar i svarte leirskifrar ikkje kjem umiddelbart, men etter ei tid. Det kan ta timar, dagar og i enkelte tilfelle veker før lekkasjebiletet blir synleg. Beslutninga om forinjeksjon kan derfor vere basert på tørre flater før lekkasjane blei etablert, men målingar av innlekkasjevatn inn i tunnelen etter periodar med mykje nedbør indikerer at det generelt kjem lite vatn inn og vesentleg mindre enn opptatte krav til innlekkasje.

Multiplisert med ein omrekningsfaktor på 1,8 gir 1300 faste m³ alunskifer/døgn eit volum på 2340 lause m³/døgn. Tørre myr-massar over grunnvasstand blei gravd ut med vanleg gravemaskin, medan beltekranen var mest effektiv for blaute massar under vatn. I full produksjon fylte krana mellom 115 – 120 lastebillass per døgn noko som tilsvarar ca. 259 m³ – 270 m³ massar under grunnvasstand. Det tok derfor mellom 8 – 9 døgn med full utgraving under vatn for å klargjere eit volum frå eitt døgn tunneldrift. I tillegg måtte ein fjerne massane over vatn.

Transport av myrmassar ut av området var meir tidkrevjande enn å transportere stein frå tunnelen og ut i myra. Ofte blei det stopp i gravinga fordi ein ikkje hadde tilgjengeleg område for å ta imot myrmassar. Alle desse faktorane tilsa at det var viktig å få gravd ut det meste av myrområdet før tunnelen kom inn i alunskiferen. På den måten kunne vi

redusere behovet for mellomlagring. Transport og omlasting av alunskifer førte til at denne blei endå meir nedknust. Ein meir nedknust alunskifer er meir reaktiv enn ein intakt alunskifer. Det var derfor eit ønske å redusere ytterlegare nedknusing. Det meste av skiferen blei derfor køyrd rett ut i myra. Figur 48 viser utgraving av myrmassar over og under grunnvasstand.



Figur 48 Utgraving av myrmassar under vatn med grabb hengande frå beltekran og vanleg gravemasking over vatn.

I sjølve byggegropa blei det gjennomført kontrollar med djupnemålingar for å sjekke at ein hadde kome ned til rett nivå. Det var spesielt viktig å fjerne blaute massar for å redusere setningar på framtidig veg. I tillegg blei det gjort målingar av temperatur, Eh og pH i vatnet (figur 49). Dei siste målingane viste at dei øvre vassmassane bar preg av god lufting, dvs. det blei målt positive Eh-verdiar, men oksygeninnhaldet avtok mot djupna. Det var også årstidsvariasjonar. Om vinteren var byggegropa dekkja av is, sjå figur 84.



Figur 49. Måling av djupn til venstre og av vasskjemi (ORP, temperatur, pH og oksygenivå ved ulike djup), til høgre. Den handhalde målarer hadde ei rekkevidde på 10 meter.

Utgravinga gav gode moglegheiter for nærmare studiar av korleis myrområdet var bygd opp. I Figur 50 ser vi marine sediment med eit stort innhald av sneglehus som har kilt seg i mellom eit øvre og nedre torvlag. Spesielt i den underliggjande torva var det større godt bevarte stokkar og trerøtter. Nokre stader dukka eit lag av kvite massar opp under torvlaget (figur 51 og 52). Dette laget blei av dei lokale omtalt som «mergel». Laget innehaldt mykje strå og skjelrestar, og hadde konsistens som leire. Lokale geologar meinte at den kvite fargen var skulda av kalk.



Figur 50. Viser et lag av sand og siltig leire som har kilt seg inn i eit torvlag. Det som kan sjåast som kvite partiklar i dei marine strandavsetningane er sneglehus, sjå lite bilde. Den gul-orange fargen i det nederste laget kjem frå tømmerstokkar som ligg i torva.



Figur 51. Viser eit kvitt lag under torva og over leira.



Figur 52. Nærbilete av mergel. Biletet viser tydelege restar av strå, i tillegg til skjell og sneglehus.

I følge NGU's kart over laumassar ligg marin grense i kote 190. Observasjonar under utgraving av myra kan tyde på at denne grensa ligg ein god del høgare i området for masselageret. Avsetningane kan indikere eit tidligare brakkvatnområde.



Figur 53. Utsnitt frå NGUs laumassekart som viser nivå for marin grense. Raud sirkel markerer ca. område for masselageret. At området er skravert indikerer at dette området ligg over marin grense.

Figur 54 viser ei av fleire undersøkingar av massane i myra før utgraving. Prøva er tatt ca. midt i området og startar i ca. kote 208. Vi ser at det er torv ned til ca. 8 m og at

det er marine sediment under dette, dvs. frå ca. kote 200, eller om lag 10 m høgare enn øvre marin grense i NGU's oversiktskart. Figur 50 er tatt langs kanten av myra og viser marine sediment omkring kote 204,5 – 205, så det er sannsynleg at øvre marin grense gjekk heilt opp til kote 205. Målt omrøyrte skjærstyrke viser ei sensitiv siltig leire som stadvis er kvikk.

Oppdr.nr.: E040019													
Prøveserie: L508			Analyseår: 2004				Prøvetaker: 54 mm						
Dybde m	Materiale	Prøve	Vanninnhold %			γ kN/m ³	S _f	Skjærstyrke kN/m ²					Gl. %
			20	40	60			20	40	60	80	100	
1	er ikke med!		436										
2	dyholdig torv	H4	437			600	10.4						84.9
3	Torv H4-5	trereste	438			499	11.6						46.2
4	Torv H4-5	20cm prøve	439			474	11.9						39.5
5	torv	H5	440			499	12.8						34.2
6	svak dyholdig torv	H2	441			498	11.5						42.1
7	torv	H7-8	442			498	12.0						27.6
8	torv	H9	443			488	13.2						6.7
9	siltig leire	kvikk	444				19.2						2.4
10	siltig leire	kvikk	445				18.7						3.2
11	Leire	noe forstyr	446				19.3						3.4
12	Siltig Leire	noe forstyr	447				18.9						
13	siltig sandig leire		448				19.2						3.0
14	siltig leire	noe forstyr	449				18.7						2.7

Figur 54 Analyse av massane frå undersøkingar utført i 2004 (SVV – Sloreby).

6.5. Utlekking av massar frå tunnel og dagsone

Tunneldrivinga kom inn i alunskifer den 5. mars 2015 i det nordre løpet (profilnummer 9176) og den 13. mars 2015 for det søndre (profilnummer 9159). Dette var etter at ca. 88 % av tunnelen var ferdig utsprengt. Før denne tiden var det kun mindre mengder svartsiker, noko (Galgeberg 3bβ) frå tunnelen og noko alunskifer frå Horgenmoen (ved det nordre påhogget til tunnelen) som hadde blitt lagt ut i masselageret. Ettersom begge løpa blei drive fram nokså parallelt nådde begge løpa fjellpartiet med alunskifer omtrent samtidig. Etter dette skulle all sprengstein frå tunnelen leggest i masselageret. Sjølve utlegginga fungerte ved at lastebilane tømte lasset på skråningskanten og ein doser skauv massane utanfor fyllingstippen, sjå figur 55.

Det var viktig å få plassert massane under kote 203. For å få til dette måtte ein i kortare periodar senke grunnvatnet i sjølve byggegropa til under kote 203, ved utpumping av vatn. Dette blei gjort i mindre seksjonar slik ein oppnådde ei kontrollert og kortvarig

grunnvassenking rundt byggegropa. Alunskifermassane blei då planert ned til kote 203 og det blei lagt annan tunnelstein, inkludert mørk og svart skifer opp til ca. kote 205.



Figur 55 tømning av lass med alunskifer og dosing av massane ut frå fyllingstippen.

Utpumping av vatn frå myra etter at alunskifer blei lagt ut førte til eit behov for reinsing av vatnet før utslepp til resipienten Vigga. Effekt av vassreinsing er skildra i avsnitt 9.2. I slutten av perioden, då masselageret begynte å bli fullt blei det gravd lengre ut i sideterrenget i sørenden for å få plass til siste rest av alunskifer frå det nordre tunnelpåhogget. I dette området er det plassert overvaksingsbrønner (sjå kap. 8.2.2.2).

I byggekontrakta var det ein post om djup-komprimering ved bruk av fall-lodd. Hensikta var å pakke massane betre saman for å redusere setningar på framtidig veg, og for å minimere permeabiliteten i dei utlagde massane. Det blei gjennomført ein test med 22 tonns lodd og ei løftehøgde på 20 meter (figur 56). Loddet blei sloppe i eit rutemønster der komprimering av kvart hol blei målt inn. Forsøket gav ei effektiv komprimering på ca. 70 cm på dei utlagde massane. Metoden blei forkasta av følgjande årsaker:

- Setningskravet for vegstrekingen det var aktuelt å bruke metoden på var større enn antatt eigensetning i steinfyllinga.
- Komprimeringa førte til fare for større nedknusing av alunskiferen, noko som ikkje var ønskeleg.
- Metoden kunne ikkje forsvare seg tidsmessig og økonomisk

Ein la derfor meir vekt på komprimering som følge av overlaging i tida frå utlegging til veg-opning. Setningsutviklinga blei halde oppsyn med, sjå avsnitt 6.6. Med ei antatt eigensetning i ei vegfylling på ca. 0,5 cm pr. meter fylling ville det bli opp mot 11 cm setning i dei djupaste oppfyllingane, viss alt av blaute underliggande massar blei fjerna.

Dette stemmer svært bra med det som er målt (avsnitt 6.6). For å ha full kontroll på utgravn volum og kor massane blei lagt ut, blei fyllingsfronten målt inn kvar veke.

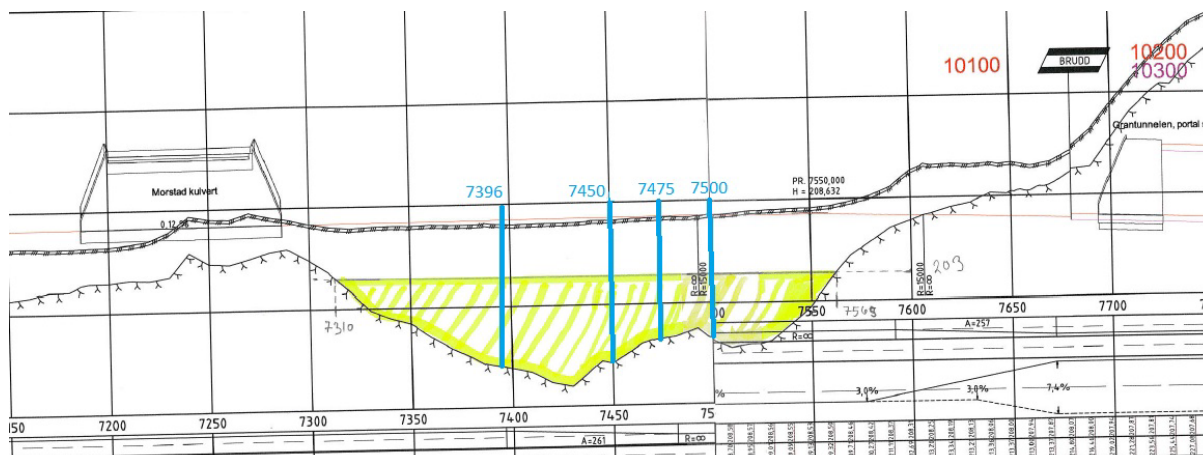


Figur 56. Forsøk med komprimering med fall-lodd.

6.6. Setningsmålingar

I avsnitt 6.4 blei det gått ut ifrå at eigensetningar i vegfyllinga ville bli opp mot ca. 11 cm på det djupaste området viss vi rekna med at fyllinga sette seg ca. 0,5 cm pr. meter fylling og at dei underliggande blaute massane blei fjerna. Det blei vidare antatt at setningane ville kome i løpet av anleggstida slik at setning på ferdig veg ville bli minimal. For å få ei oversikt over utviklinga av setninga ble det gjennomført slangesetningsmålingar. Slike målingar inneber at ein legg ut ein litt brei hageslange/ elastisk røyr der ein ønskjer å måle. Sjølve målinga blir gjort ved hjelp av eit instrument som blir ført inn i slangen og som måler høgda i fleire punkt langs hele slangen. Her blei det lagt ut 40 m lange slanger i 4 profil på tvers av vegen og litt ut på sideterrenget. Slangane ligg frostfritt, ca. i kote 206 omkring 0,5 meter over grunnvatnet. I område mellom ca. kote 206 og kote 203 ligg det ikkje-deponipliktige tunnelmassar med eit

dominerande innslag av galgeberg- og hagabergmasse. Plassering av slangane i forhold til profilnummer er vist i figur 57.



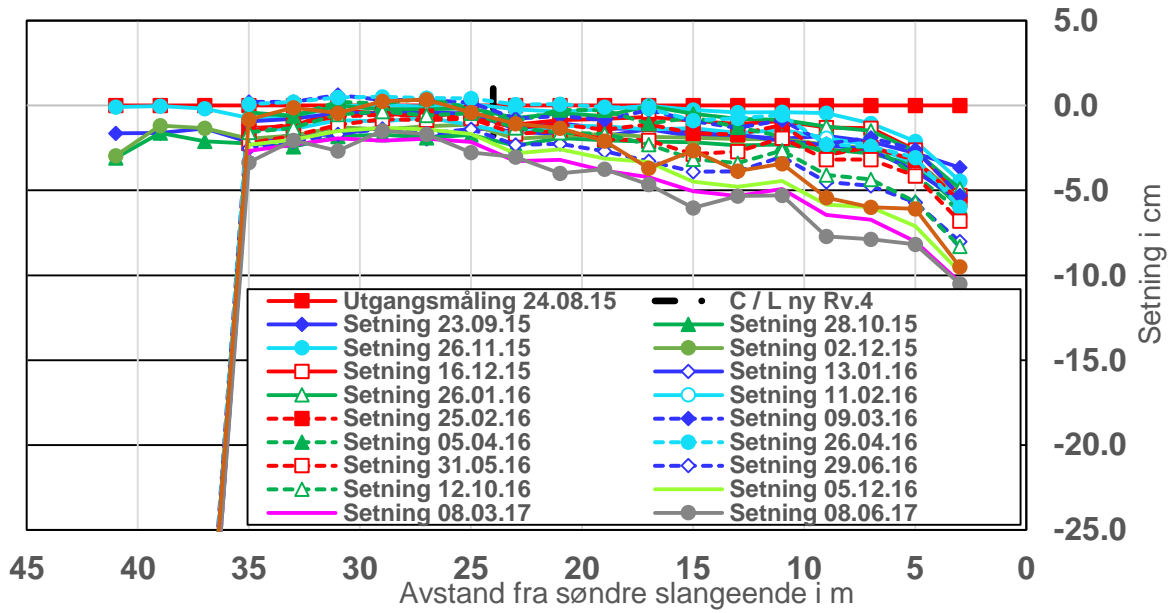
Figur 57. Figuren viser eit lengdesnitt av det utgravede området. Snittet er tatt ca. midt mellom dei to vegbanene. Det gule området går opp til kote 203 og viser kor det er lagt ut svartskifer. Dei blå strekane illustrerer høgde under senterlinje i det profilet der slangane kryssar vegtraséen.

Første måling blei tatt den 24.08.2016. På denne tida var utfyllinga tildekt og ein var i gang med å legge drenering. Det har blitt gjennomført målingar fram til 12.12.2017. I den siste målinga blei det berre målt i to slangar (profil nr. 7396 og 7475). Ein slange blei fjerna under anlegg og ein var full av snø under siste måling. Det blei utført nøyaktig nivellering i samband med kvar enkelt måling for å sikre at alle målingar var riktige i forhold til nullmålinga.

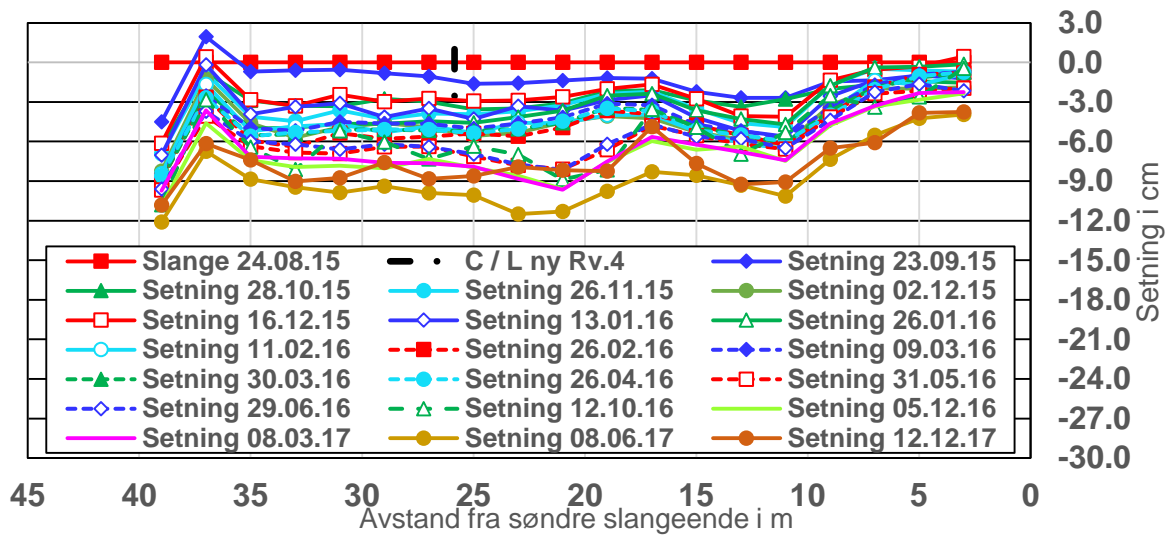
Målingane viste at rørslene i fyllinga generelt er små, det er berre snakk om 1–3 cm mellom kvar måling. Resultat av målingar frå to av slangane er vist i figurane under (figur 58 og 59).

Alle slangane har sett seg etter at dei blei lagt ut og det er ein del variasjonar langs slangane. Dei totale setningane ligg mellom ca. 4 og 12 cm. Dette kan kome av variasjonar i fyllingshøgde under slangane og stor variasjon i storleiken på steinane i massane som blei lagt ut. Målingane viser ikkje ei jamn setning, derimot viser målingane i fleire omgangar ei heving. For eksempel ser vi at slangane i ca. profil 7396 (figur 58) låg høgare den 12.12.17 enn målinga gjennomført den 08.03.17. Figur 59 viser tidsutviklinga for slangane i ca. profil 7475 i 6 punkt som er plassert 1 m, 3 m og 5 m på begge sider av senterlinja mellom dei to vegbanene. Figuren viser at alle punkta følgjer liknande utvikling. For denne slangane er det fleire gangar målt ei heving, slik at netto setning i nokre område er omtrent null.

Ny Rv. 4 , Slangesetningsmålinger i fylling av alunskifer , Ca. profil 7475

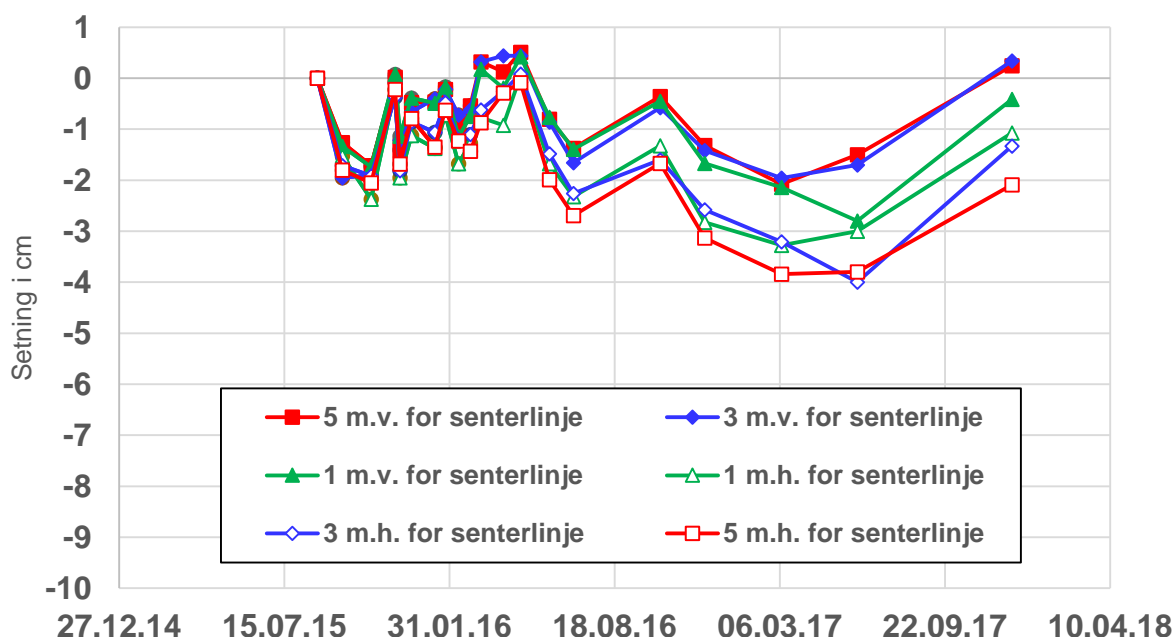


Ny Rv. 4 , Slangesetningsmålinger i fylling av alunskifer , Ca. profil 7396



Figur 58. Resultat av setningsmålinger.

Ny Rv. 4 , Slangesetningsmålinger i fylling av alunskifer , Ca. profil 7475 ,
Setningsutvikling i pkt. nær senterlinje.



Figur 59. Setningsutvikling over tid for nokre punkt nærme senterlinja mellom dei to vegbanane. Målingar til venstre er vest for senterlinja og målingar til høgre ligg aust for senterlinja.

Kvifor vi i periodar måler ei heving er enno usikkert, og blir diskutert vidare i kapittel kap 8.2.1.4 i lys av blant anna vasskemiske data frå monitorbrønnane i nærområdet. Generelt kan hevinga skuldast:

- Horisontale forskyvingar inne i fyllinga som gjer at nokre område blir pressa opp, men dette verkar ikkje veldig sannsynleg all den stund området er svært flatt.
- Effektar av frost, kan kanskje tenkast fordi noko av hevinga har føregått på vinterstid. Det er likevel argument mot dette fordi tidleg heving på omkring 4 cm førekom i september berre ein måned etter nullmåling (sjå blant anna Profil 7396, figur 58). Slangane var også i utgangspunktet lagt i frostfri sone.
- En mulig svelling i alunskifer under grunnvassnivå.
- En mulig svelling i ikkje-deponipltig galgebergmassar over grunnvassnivået.

Figur 59 viser variabel setning og heving frå nullmålinga i august 2015 med omtrent likt forløp på begge sider av senterlinja fram til våren 2016 (maksimal heving). Deretter er det merkbart at målingar på venstre og høgre side av senterlinja fortsatt har same forløp, men med større effekt av setningar på venstre side. Alle målingar viser tydeleg heving på omkring 2 cm frå sommar 2017 til vinter 2017. Svelling i alunskifer er eit velkjent problem, men svellemekanismane er ennå ikkje fullt ut forstått (sjå diskusjon i kap 8.2.1.4 i del 3).

6.7. Oversikt over volum svartskifer sprengt ut frå tunnel og frå dagsoner

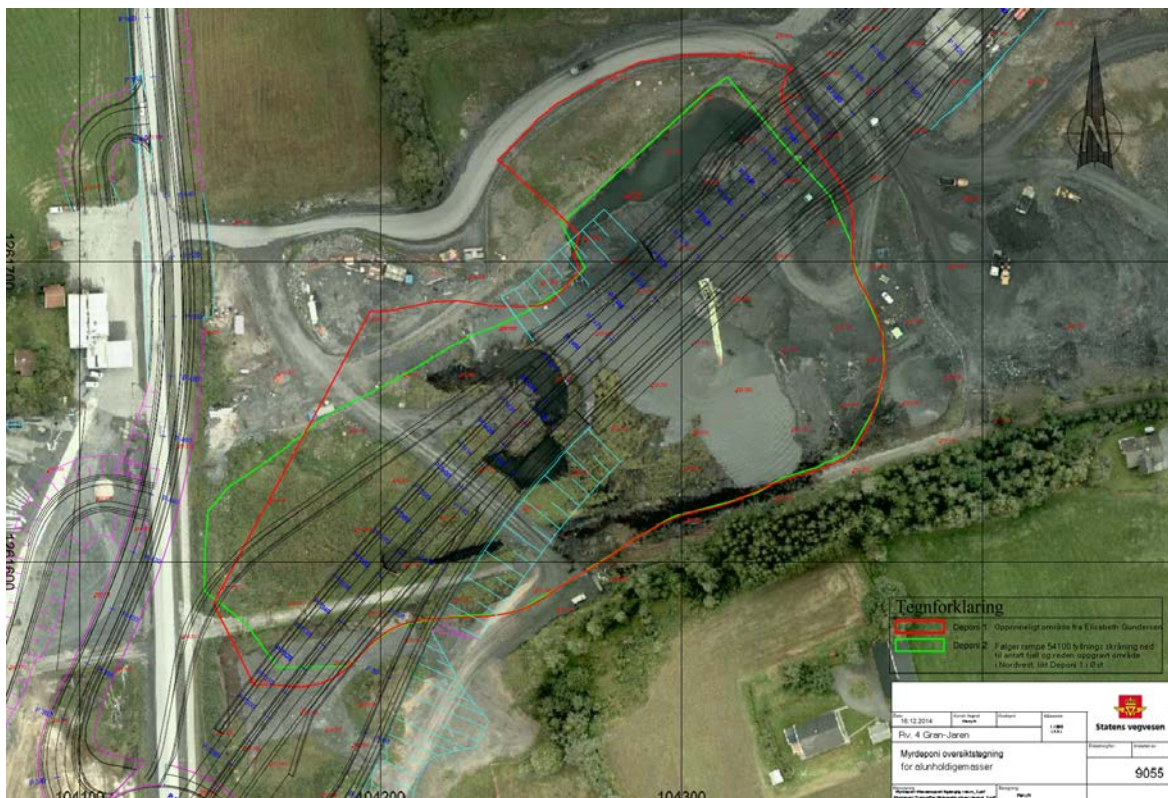
Oppsummert blei det total sprengt ut 360.000 pfm³ stein ifrå Granstunnelen. 48 000 av dette var svartskifer klassifisert som potensielt syredannande stein i samsvar med interne grenseverdier. Desse massane blei frakta til lokalt masselager for lagring under grunnvassnivå. Skifer som ikkje blei klassifisert som potensielt syredannande blei brukt i ulike fyllingar for veglinja . Tabell 18 viser oversikt over svartskifer som blei klassifisert som potensielt syredannade, og lagra i det lokale masselageret.

Tabell 18. Volum av faste massar svartskifer klassifisert som potensielt syredannade massar som blei lagt i masselageret på Gran

Total mengde svartskifer til masselager og eksternt deponi	Sprengstein (pfm ³)
Tunnel (alunskifer, galgebergskifer)	48 000
Forskjering og dagsone ved Horgenmoen (alunskifer)	16 500
Vegskjering, Nordtangen (alunskifer)	1 500
Total mengde svartskifer (galgeberg og alunskifer) til masseutskifting av myr.	67 000
Overskotsmassar til godkjent deponi (Borge)	18

6.8. Utstrekning av masselager

Figur 64 viser korleis området for masseutskifting blei endra under anleggsdrifta. Den raude grensa er opprinneleg område avgrensa av kote 203, medan den grønne grensa illustrerer det reelle område som blei gravd ut. Nokre område viste seg vanskeleg å grave, for eksempel inn mot anleggsvegen. For å sikre tilstrekkeleg stabilitet for vegen blei det sett ei grense for kor langt ein kunne grave. I områda under ramper og inn til tidlegare Rv. 4 blei det gravd ut meir enn planlagd. Dette for å få plass til dei siste massane rundt tunnelpåhogget i nord. Figur 60 viser at dei totale endringane av området var små i forhold til opprinneleg plan.



Figur 60. Figuren viser korleis planlagt område endra fasong under anlegg. Det var kun mindre endringar.

6.9. Statistikk over kjemisk samansetjing til utlagd skifer

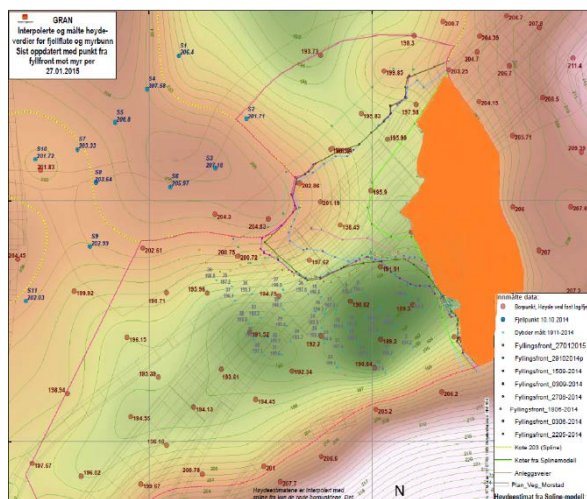
6.9.1. OPPFØLGING AV FYLLINGSFRONTAR I MASSELAGERET

I enkelte vilkår i løyvet frå Miljødirektoratet og Statens strålevern er det satt krav til kva som skal dokumenterast, mellom anna kor alunskiferen ligg.

Det blei regelmessig målt inn fyllingsfrontar etter kor langt ut svartskifer som overskrida våre interne grenseverdier hadde blitt lagt i masselageret. Ut i frå XRF-analyser på utsprengt masse mellom kvar innmålte fyllingsfront blei det laga statistikk på kjemisk innhald i skifermassane på dei ulike lokalitetane i myra. Oversikta over kvar fyllingsfront er vist i kapitela under. Fullstendig oversikt over alle analyser vil bli tilgjengelege i ein eigen datarapport.

6.9.2. FYLLINGSFRONT 22.05.14

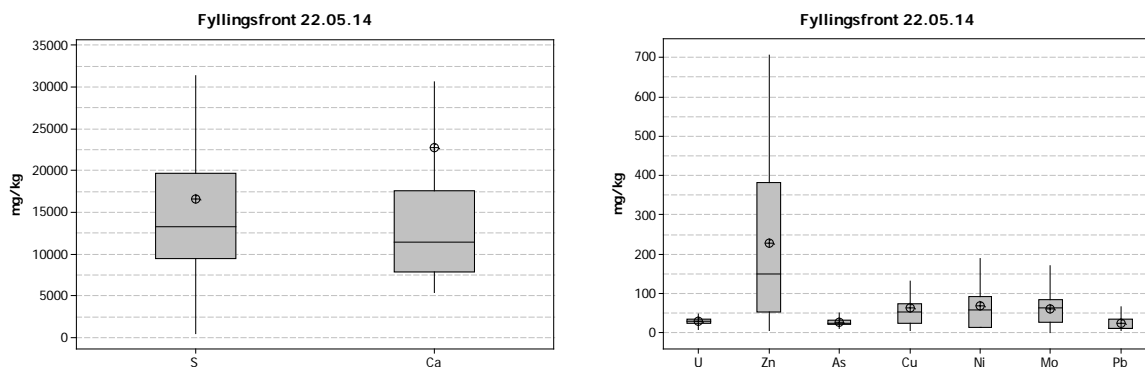
Svartskifer av type Galgeberg (etasje 3b β) blei sprengt ut i perioden 20. mars – 22. mai 2014. Elleve av dei utsprengte salvene vart klassifisert som deponipliktige, og utgjorde rundt 8000 pfm³ totalt. 84 XRF-analyser blei gjort på stikkprøver av dette materialet før det blei lagt i masselageret. Figur 61 og 62 og tabell 19 viser lokalitet i fylling og statistikk av kjemisk innhald i massane.



Figur 61. Fyllingsfront for massar lagt i masselageret mellom 20.03 og 22. mai 2014.

Tabell 19. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager fram til 22. mai 2014. Alle verdier er i mg/kg.

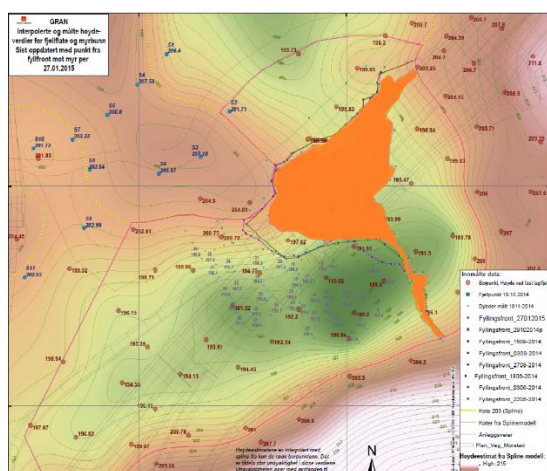
	S	Ca	U	Ni	As	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	13340	11440	30	59	25	150	63	12	54
gjennomsnitt	16650	22770	29	69	28	227	60	23	63



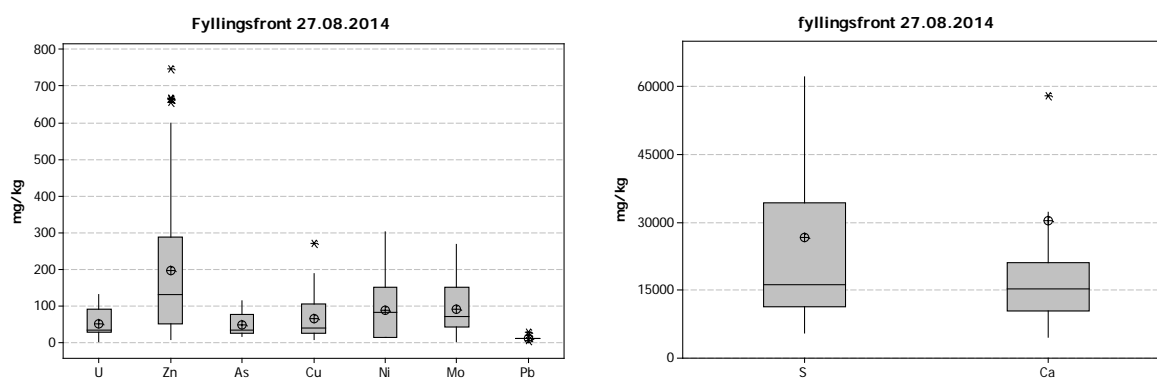
Figur 62. Innhald av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager fram til 22. mai 2014. Figuren er basert på 84 XRF-analyser på 11 tunnelsalver. Uteliggjarar (ein verdi som aviker frå resten av data) i datasettet er tatt ut. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet.

6.9.3. FYLLINGSFRONT 27.08.14

Massane lokalisert på det skraverte området i figur 63 blei transportert til masselageret mellom 22. mai til 27. august 2014. Det var både galgebergskifer fra tunnelen (to salver) og alunskifer fra nordre forskjæring av tunnelen. 41 XRF-analysar blei gjort av massen, der halvparten er galgeberg og halvparten alunskifer. Utvalde grunnstoff er vist i figur 64 og tabell 20. I realiteten er også noko av galgebergskiferen i statistikken frå fyllingsfronten 22.05 også plassert innanfor markert område for denne fyllingsfronten. Det er grunna at noko av svartskiferen som blei sprengt ut frå tunnelen i starten av mai måtte vente i «kø», og blei mellomagra ein periode før det blei lagt i masselageret.



Figur 63. Utfylt område i masselageret for masser utlagd mellom 22. mai og 27. august 2014.



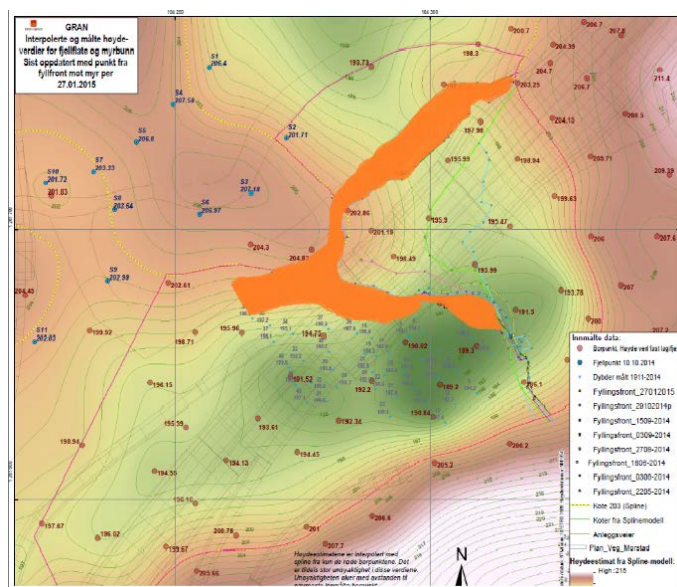
Figur 64. Innhold av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 22. mai – 27.august 2014. Figuren er basert på 41 XRF-analysar på 2 tunnalsalver og massar sprengt ut frå dagsone. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggar (ein verdi som aviker frå resten av data).

Tabell 20. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 22. mai – 27. august 2014. Alle verdiar er i mg/kg. Medianen er lågare enn gjennomsnittet fordi meir enn halvparten av prøvane var tekne frå Galgebergskifer, som hadde lågare innhald av parametera under. Dei resterande analysane frå alunskifer bidrar til å auke gjennomsnittet.

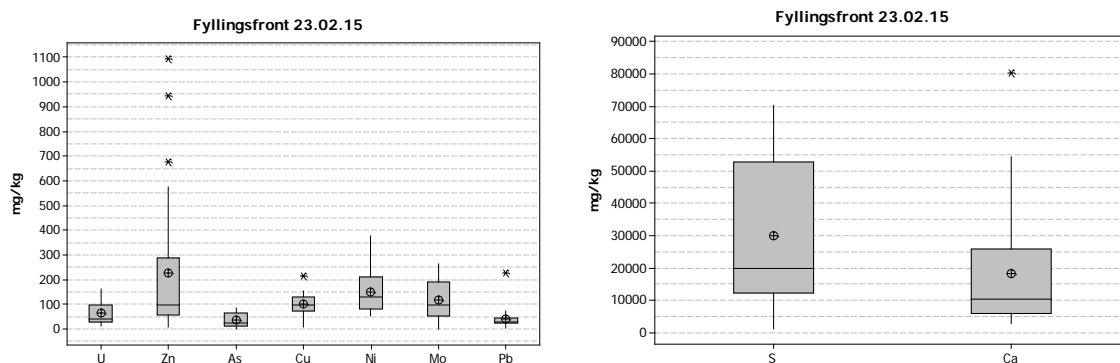
	S	Ca	U	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	16100	15300	34	82	130	71	12	41
Gjennomsnitt	26600	30300	51	88	196	92	12	65

6.9.4. FYLLINGSFRONT 23.02.15

Massane i det merka området i figur 65 består av utsprengt fjell lagt i masselageret frå august 2014 til februar 2015. Dette er både galgeberg svartskifer frå tunnelen og alunskifer frå nordre tunnelpåhogg. På hausten i denne perioden blei lite av berget frå tunnelen klassifisert som deponipliktig. Utpå hausten blei ein del alunskifer frå den nordre forskjeringa på Horgenmoen sprengt ut og lagt i masselageret. Totalt blei 30 analyser utført på desse massane, der 18 blei gjort på tunnelstein (pelnr 8925 og 8980 sør og 9111 nord) og 12 blei analysert på massar frå nordre forskjering rundt pel nr 9500. Kjemisk statistikk for massane er vist i figur 66 og tabell 21.



Figur 65. Utfylt område for massar som blei lagt ut i masselageret mellom 27.08.14 og 23.02.15



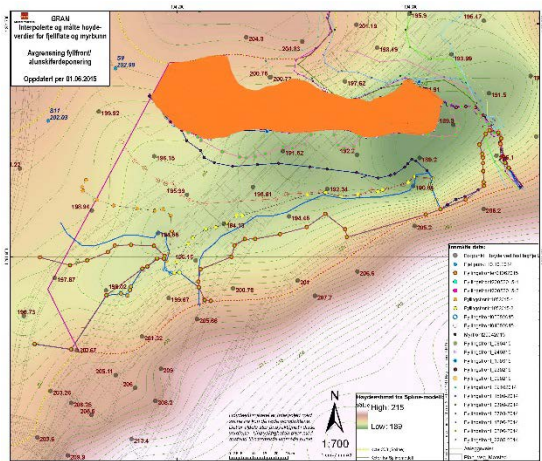
Figur 66. Innhold av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 27.08.14 og 23.02.15. Figuren er basert på 30 analyser av skifer i dagsone og i tunnel. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data).

Tabell 21. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselageret frå august 2014 til februar 2015. Alle verdiar er i mg/kg.

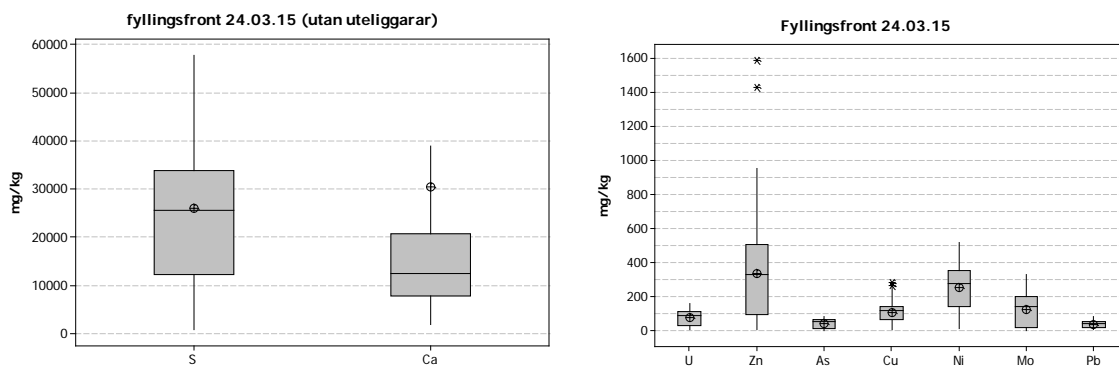
	S	Ca	U	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	20000	10500	40	130	97	96	30	98
Gjennomsnitt	30000	18300	65	150	230	117	40	100

6.9.5. FYLLINGSFRONT 24.03.15

Massane lokalisert i merka området i figur 67 blei transportert til masselageret mellom 23. februar til 24. mars 2015. Det blei gjort totalt 85 XRF-analyser på dette materialet, og alle var frå tunnelen. Figur 68 og tabell 22 viser statistikk av kjemisk innhald til massane i området. I denne perioden kom tunnelen inn i alunskifersona, og salvene gjekk kontinuerleg til masselageret frå 5.mars i nordgåande løp og frå 13. mars i sørgåande løp. 34 av analysene var utført på borkjerner frå pel 9186 og 9231 i det nordlege løpet, og var alunskifer. Resten blei analysert på stoffprøver frå åtte ulike pelenummer der rundt 20 av prøvane var skifer frå Galgeberg/Hagaberg og resten alunskifer.



Figur 67. Utfylt område i masselageret som blei fylt opp mellom 23. februar og 24. mars 2015



Figur 68. Innhold av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 23. februar til 24.mars 2015. Figuren er basert på 85 analyser av skifer i tunnel. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data) Uteliggjarar for S og Ca er tatt ut (5 av 85 analyser hadde Ca > 10 %). Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet.

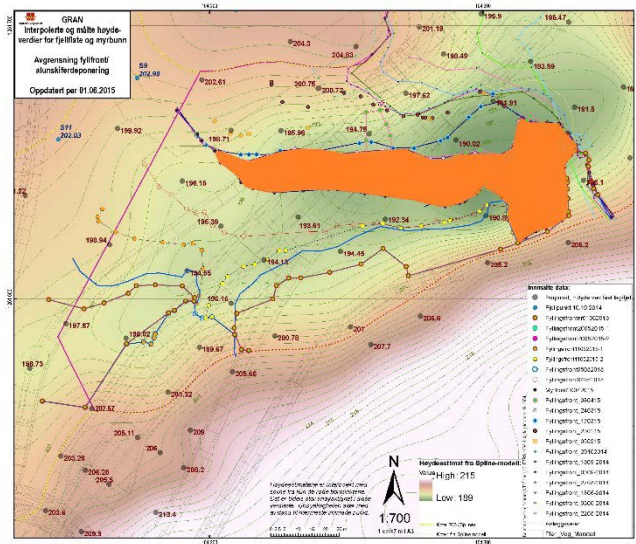
Tabell 22. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselageret frå 23. februar til 24.mars 2015. Alle verdier er i mg/kg.

	S	Ca	U	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	25600	12500	87	276	331	142	45	117
Gjennomsnitt	26100	30500*	74	253	338	127	38	107

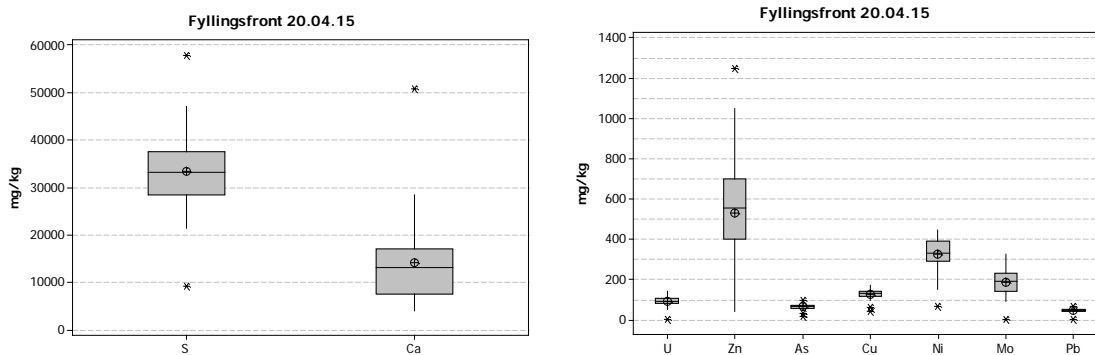
*5 av 85 analyser hadde Ca > 10 % (11 – 42 %)

6.9.6. FYLLINGSFRONT 20.04.15

Massane lokalisert i merka området i figur 69 blei transportert til masselageret mellom 24. mars og 20. april 2015. Alle massar i dette området er frå alunskiferpersona i tunnelen. Det blei gjort tilsaman 34 XRF-analyser på massane (figur 74 og tabell 23). To salver blei analysert, resten av analysene blei gjort på borkjerner frå pelenummer 9233 til 9266.



Figur 69. Området i masselageret som blei fylt opp mellom 24. mars til 20. april



Figur 70. Innhold av utvalgte grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 24. mars og 20. april 2015. Figuren er basert på 34 analyser av skifer i tunnel. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data).

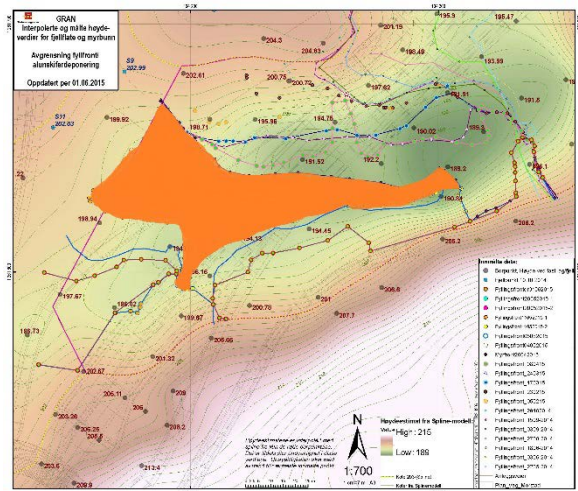
Tabell 23. Median og gjennomsnittet av utvalgte grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselageret frå 24. mars og 20. april. Figuren er basert på 34 analyser av skifer i tunnel. Alle verdiar er i mg/kg.

	S	Ca	U	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	33100	13200	94	334	557	194	49	133
Gjennomsnitt	33400	14200	94	328	532	187	49	128

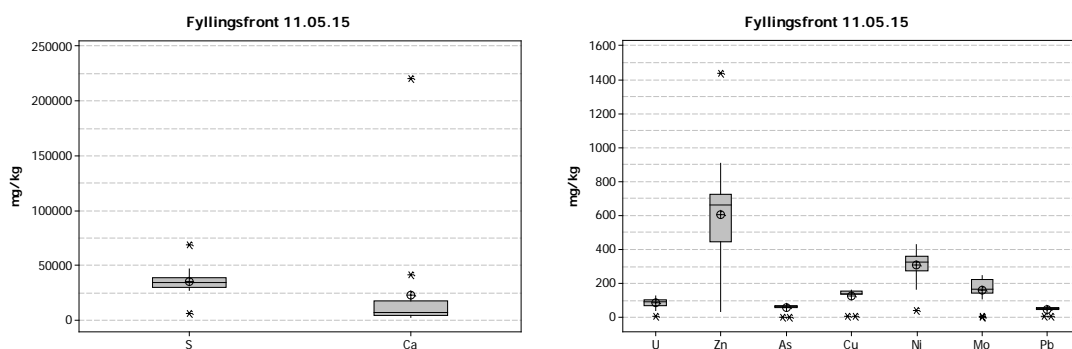
6.9.7. FYLLINGSFRONT 11.05.15

Mellom 20.april og 11. mai blei det lagt ut alunskifer frå tunnelen i merka område i figur 71. Det blei gjort XRF-analyser på alunskifer frå tunnelen frå pelenummer 9327 (Nordg.)

og 9266 (sørg.). Det blei gjort totalt 17 analyser og to av dei var på mænaitt. Statistikken basert på prøvene frå dei to stoffane er gitt i figur 72 og tabell 24.



Figur 71. Området i masselageret som blei fylt opp mellom 20. april og 11. mai 2015.



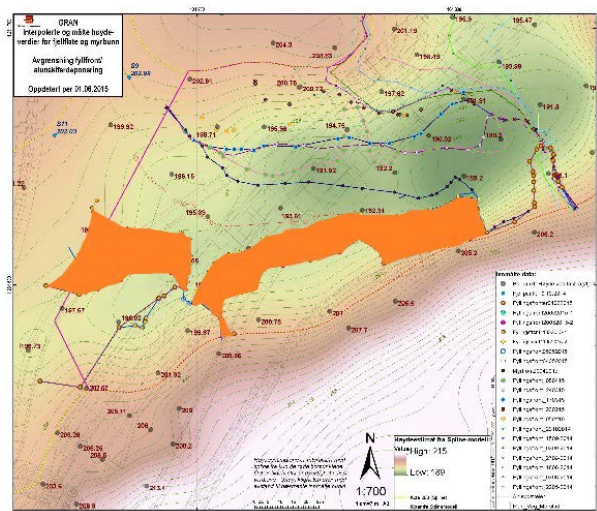
Figur 72. Innhold av utvalde grunnstoff i massar lagt i masselager frå 20. april til 11. mai 2015. Figuren er basert på 17 analyser av alunskifer frå to stuffar i tunnelen. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data).

Tabell 24. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselageret frå 20. april til 11. mai. Figuren er basert på 17 analyser av skifer frå tunnelen. Alle verdiar er i mg/kg.

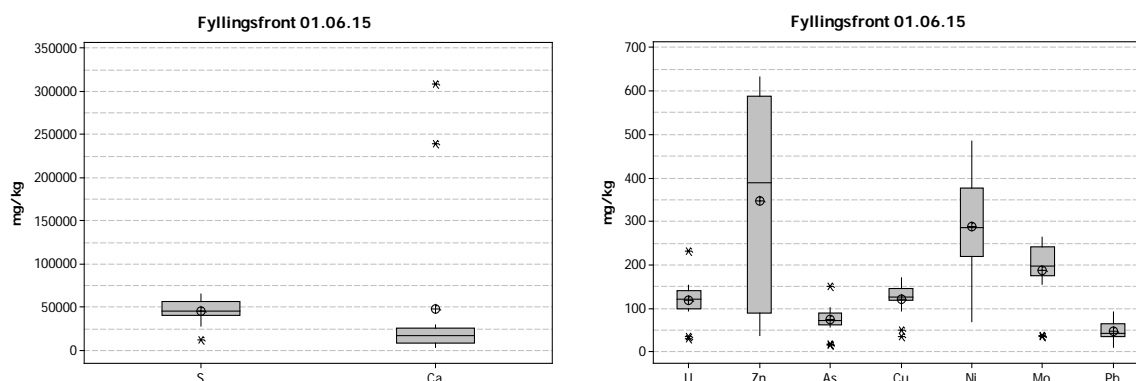
	S	Ca	U	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	34380	7280	95	325	662	167	54	141
Gjennomsnitt	35500	23200	87	310	607	162	53	146

6.9.8. FYLLINGSFRONT 01.06.15

Massane lokalisert på merka området i figur 73 blei transportert til masselageret mellom 11. mai og 1. juni 2015. Det blei tatt ut rundt 1 fm³ i frå det nordgåande tunneløp frå pelenummer 9364 – 9367 (rundt 20 m frå det nordlege påhogget) til bruk i eit utlekkingsforsøk ved tunnelriggen (Statens vegvesen rapport nr. 665, Fjermestad, Hagelia & Thommassen, 2017). På dette materialet blei det utført 16 XRF-analyser, som utgjør statistikken for massane som gjekk til masselageret mellom 11. mai til 1. juni. Sidan analysene er utført på ein liten del av massane som gjekk til masselageret i denne perioden, er dei ikkje nødvendigvis representative for den totale massen. Innhaldet av svovel var generelt høgt i skiferen med gjennomsnitt 4,5 %. Uraninnhaldet var også høgare enn resten av tunnelen, og var gjennomsnittleg 120 mg/kg (tabell 25).



Figur 73. Området i masselageret som blei fylt opp mellom 11. mai og 1. juni 2015.



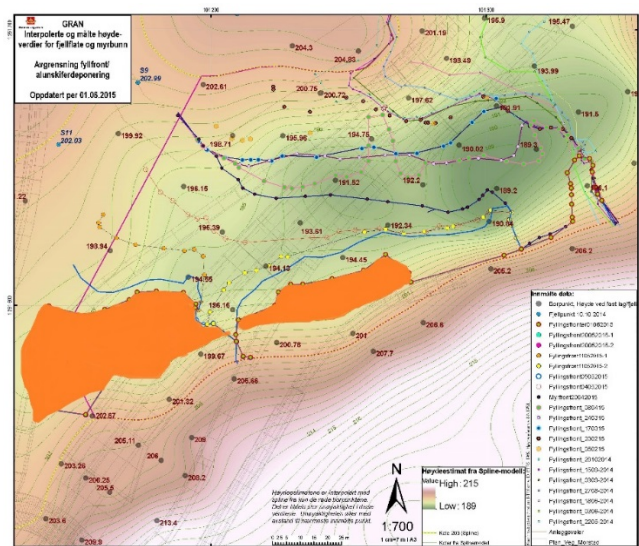
Figur 74. Innhald av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselager frå 11. mai til 1. juni 2015. Figuren er basert på 16 analyser av alusulfid frå ein stoff i tunnelen. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggjar (ein verdi som aviker frå resten av data).

Tabell 25. Median og gjennomsnittet av utvalde grunnstoff i svartskifermassar lagt i masselageret frå 11. mai til 1. juni. Figuren er basert på 16 analyser av skifer frå tunnelen. Alle verdier er i mg/kg.

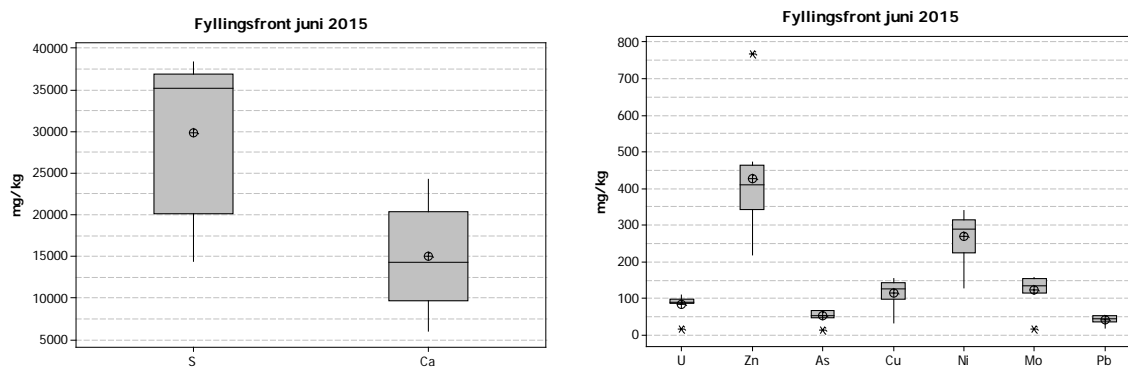
	S	Ca	U	Ni	As	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	45833	17846	121	287	72	391	198	42	127
Gjennomsnitt	45335	48583	120	290	75	348	187	48	122

6.9.9. FYLLINGSFRONT AVSLUTNING JULI 2015

Myra blei ferdig masseutskifta sommaren 2015. Dei tilførte massane i denne perioden blei plassert i merka område i figur 75, og bestod av alunskifer frå nordre påhogg og sålerensk-massar frå tunnelsålen i områder med alunskifer (200 meter per tunnellopp). Langs ei strekning på 100 meter i det nordre tunnelloppet blei det utført åtte XRF-analyser på sålerenskmassar som blei gravd ut og lagt i masselageret. Sålerensk er massar som har lagt i sålen av tunnelen gjennom drivinga av tunnelen. Desse var også innblanda kult som blei tilført sålen i drivefasen. Sålerenskmassane kan vere forureina av oje og anna lekkasje frå anleggsmaskiner, men blei ikkje prøvetatt for dette. Tabell 26 og figur 76 oppsummerer kjemisk variasjon i sålerensken.



Figur 75. Området i masselageret som blei fylt opp frå 1. juni og fram til endeleg avslutting.



Figur 76. Statistikk for XRF-analyser av 8 prøver av sålerensk i nordre tunneløp, pel.nr. 9190 – 9285 som blei lagt i masselageret frå 1. juni fram til juli 2015. Boksen representerer området der 50% av data ligg, medan den horisontale streken i midten er medianen til datasettet. * = uteliggjarar (ein verdi som aviker frå resten av data).

Tabell 26. Median og gjennomsnitt av kjemisk innhald i ein del av massene som blei lagt i masselageret i perioden frå 1. juni fram til juli 2015. Alle verdiar er i mg/kg.

	S	Ca	U	Ni	As	Zn	Mo	Pb	Cu
Median	35207	14319	91	291	54	410	135	45	126
gjennomsnitt	29860	15060	85	270	52	427	123	43	115

6.10. Mellomlagring

I nokre periodar med stor transport av deponipltig skifer ut av tunnelen blei ikkje massane kjørt rett ut i lageret men blei mellomlagra i ein haug som blei lagt ned på ferdig utfylt område. Etter at tunnelen kom inn i alunskifer og det meste av myra blei gravd ut blei mellomlagring berre nytta i kortare periodar på eit par dagar. På den tida var anleggsdrifta godt innkøyrd. I starten av prosjektet, i mai 2014 kom ni salver av galgeberskifer i løpet av ein periode på tolv dagar. Dette utgjorde rundt 8000 fm³ eller eit volum på ca. 14400 m³ lause massar. Anleggsmaskina som då blei brukt til utfylling hadde ikkje kapasitet til å handtere denne mengda. Dette førte til den lengste perioden med mellomlagring av massar før utlegging. Dei mellomlagra massane blei strødd med kalk og tildekkka av plastdukar (jf. beredskapsplanen), men fullgod gjennomføring var utfordrande før ein fekk etablert gode rutinar for varsling og kommunikasjon, slik at ein lettare kunne tilpasse tilgjengeleg maskinpark. Mellomlageret låg oppstrøms massedeponiet slik at eventuell avrenning gjekk ned i masselageret. Det blei vurdert at galgebergskifer (med generelt lågare forvitringsegenskapar og forureiningspotensial)

ikkje medførte noko stor risiko for auka forvitring. Det blei også tatt prøver av drensvatnet, i den grad det fanst drensvatn å ta prøver frå. Analyseresultata ligg vedlagt (vedlegg 12.2) i resultat frå vassovervakinga. Resultata viste ingen indikasjon på avrenning av syre eller tungmetall. I denne perioden blei nokre salver lagra lenger enn 14 dagar, men ikkje lenger enn ein måned.

I praksis blei ikkje tildekking gjennomført for alle mellomlagra masser ved kortvarig lagring. Dette synes også i figur 77 og 78. Likevel antar vi at konsekvensen av dette ikkje var veldig stor, sidan lagringstida var kortvarig, og eventuell avrenning ville renne til masselageret. Ved lengre tids lagring skulle massar tildekkast. Figur 79 viser eksempel på tildekkta massar på mellomlagring ved masselageret.



Figur 77. Massane på biletet er skifer frå galgeberg-leddet. 21.mai 2014. I denne perioden måtte massar mellomlagrast på grunn av at fleire salver med Galgebergskifer kom etter kvarandre på kort tid. Gravemaskina brukt til utfylling hadde begrensa kapasitet.



Figur 78. Skifermassar frå alunskiferformasjonen som står på vent før dei skal masseutskiftast i masselageret. 20. mars 2015.



Figur 79. Mellomlagra massar av alunskifer før dei blei lagt i masselageret.16.06.15. Ein vassnett duk blei lagt over massane i ventetida før dei blei deponert. I framre deler av biletet er dekkmassar fylt over alunskiferen.

Nokre massar blei igjen etter at masselageret hadde blitt fylt att (rundt 30 tonn). Desse blei liggjande på entreprenørens lagerplass, med duk over seg (sjå figur 80). Massane i denne haugen blei liggjande nokre månader før dei blei sendt til Borge deponi i Fredrikstad. Deklarasjonsskjema er vedlagt i vedlegg 10.



Figur 80. Mellomlagra alunskifermasser etter at masselageret var fylt opp. Desse massane blei sendt til godkjent mottak i Fredrikstad (Borge deponi) og utgjorde 30450 kg.

6.11. Ferdigstilling og drenering av masseutskifta område

6.11.1. TILDEKKING AV MASSELAGERET

Opprinneleg plan var å legge ein tett syntetisk membran over dei utlagde massane, men ettersom kostnader til membran ikkje var ein del av kontrakta ønska prosjektleinga ei alternativ løysing. I dette området ville det ha blitt utfordrande å legge membranen slik at den fikk riktig fall, ein syntetisk sveisa membran er også sårbar for punkteringar, bl.a. frå fundament til vegskilt og belysning. Det blei derfor avgjort å gå bort frå membranen og erstatte denne med andre stadlege massar og ei ekstra drenering for å avskjere overflatevatn frå høgareliggande terreng.

Direkte over alunskifermassane blei det lagt 2–3 m med anna skifer frå tunnelen. Anleggsaktiviteten, med mange lastebilar som transporterte massar inn og ut, førte til ein markant nedknusning av massane i toppen. Fleire stader blei topplaget meir eller mindre pulverisert med mykje finstoff som bidrar til ei god tetting, sjå bilete i figur 81. Ulempa med den valde metoden var at ein ikkje fekk same massar over heile området. Byggherre var ute og kontrollerte det meste av dei lassa som blei lagt over, men rakk ikkje over alt.



Figur 81. Bilde til venstre viser ein doser som skyv utlagd alunskifer ut i masselageret. Bilde til høgre viser ein lastebil som tippar eit lass av alunskifer ved fyllingsfronten. Pila i biletet til høgre viser ein konkresjon («bolle») med ein diameter på rundt ein meter. I masselageret blei det lagt ut fleire slike i ulike storleikar.

Vegbana og sidefelta skulle tilbakeførast til opprinneleg terrengnivå som låg mellom ca. kote 208 – 210. På sideterrenget på søndre side blei det lagt tilbake opprinnelege silt- og torvmassar. Dette området er i dag tilbakeført til landbruk, sjå bilde til venstre i figur 82. På nordre side skal området tilbakeførast til næring. For å hindre utbygging som kan påverke masselageret er det i dag laga hensynssoner rundt området med eigne restriksjonar, sjå kapittel 12.2. Biletet til høgre i figur 82 viser området på nordre side av ny rv. 4. Dette området er i dag ikkje utbygd, men det kan komme framtidig næringsutbygging. Området har i dag ikkje ein direkte adkomst frå ny rv. 4.



Figur 82. Sideterrenget slik det såg ut etter avslutta tildekking.

6.11.2. DRENERING

Langs ytterkanten av begge vegbanene blei det lagt drenering (sjå bilete i figur 83). Det blei nytta topp-slissa drensøyr som vil halde grunnvatnet under ei kote gitt av nivå for slissene. Når grunnvatnet når opp til slissene går vatnet inn i røyra, og pumpes vidare til et neddykket utløp i Vøyenbekken. Dreneringen vil sørge for at grunnvasstand holder seg under et øvre nivå som ligger rundt ca. kote 206,2. Målinger av grunnvasstand i masselageret viser at det er relativt små endringer og at disse følger årstidene. Dette fører til at vasstanden avtar gjennom vinteren med en påfølgende rask stigning i forbindelse med snøsmeltingen. Den største vannmengden ut av masselageret kommer derfor i perioder med snøsmeling og/eller mye nedbør.

Figur 83 viser en dreneringskum og drensøret som kommer inn. Selve drensøylene er omsluttet av pukk som holdes på plass av en filterduk som forhindrer at finstoff kjem inn

i drensøyra. Selve drensgrøften er fylt med grov steing med høy permeabilitet for å lede overflatevann inn mot dreneringen.



Figur 83. Utlegging av drenering langs veggana.

I tillegg til drenering rundt vegen er det også lagt en egen drenering rundt tunnelportalene og langs ytterkarn av masselageret.

6.11.3. VIKTIG Å HA EI TETT OPPFØLGING UNDER ANLEGGSPERIODEN

Utbygging av ny Rv. 4 mellom Gran grense og Jaren var eit stort prosjekt som totalt omfatta 9,3 km 4-felts veg, tunnel, lokalvegar og fleire konstruksjonar. Masseutskifting av myr var ein av mange parallelle prosessar som gjekk føre seg samtidig. I slike store prosjekt er svært mange underentreprenørar i sving. Veldig mange av desse gjer «sin» jobb utan nokon større kunnskap om heilskapen i prosjektet eller om problematikken rundt alunskifer. For å få til ei smidig og effektiv anleggsdrift blei det i tillegg til vanlege byggemøte arrangert egne møter mellom byggherre og entreprenør der forhold som bl.a. gjaldt masseutskifting blei diskutert. Generell kunnskap om alunskifer og vilkår i løyvet som sette premiss for anleggsdrifta blei også tatt opp.

Figur 84 under viser eit tilfelle der eit lass med diverse massar blei tippa i masselageret. Det blei oppdaga eit par slike episodar der lass blei lagt feil. Desse massane blei seinare gravd opp igjen. Biletet til høgre viser korleis kontrollingeniøren legg til rette for vassprøver og in-situ målingar på vinteren. Byggherren sitt nærvær på anlegget var derfor heilt avgjerande for eit vellukka prosjekt. Både for å kontrollere arbeidet, bidra med informasjon og forhindre feil undervegs.



Figur 84. Tipping av feil massar i lageret til venstre og klargjering for måling av vasskjemi til høgre.

DEL 3. RESULTAT FRÅ MILJØOVERVAKING OG OPPFØLGING UNDER ANLEGGSFASE

7. MILJØOVERVAKINGSPROGRAM

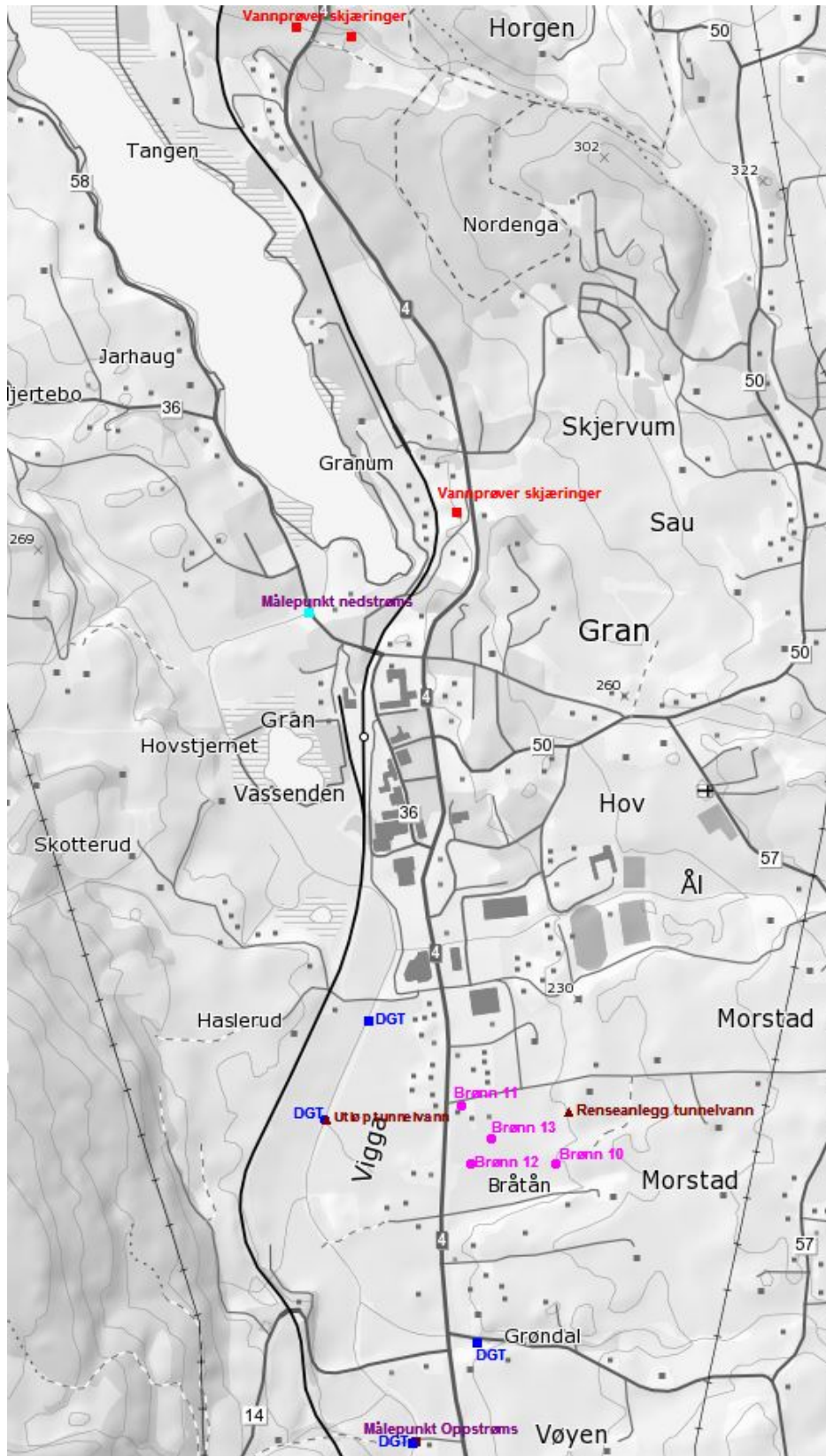
7.1. Overvåkingsregime

Miljøovervåkingsprogrammet frå Gran har vore spesielt omfattande samanlikna med andre vegprosjekt. Overvaking av vasskvalitet har inkludert vassprøver, kontinuerleg overvaking av parameter som turbiditet og pH i Vigga og passive prøvetakarar.

Overvåkingsprogrammet for anleggsfasen er gitt i vedlegg 11.

I forundersøkingane blei det tatt prøver av bekkar i 2011 og 2012 (Vedlegg 6.1 og 6.2), og i løpet av 2013 blei grunnvassprøver frå myra for det framtidige masselageret tatt ut (vedlegg 7). Til saman fungerer desse prøvane som referanseverdier for grunnvatnet og bekkane i området. Oversikt over vassprøvene tatt før- og i anleggsfasen er gitt i tabell 2 del 1).

I figur 85 er lokalitetane for vassprøvene gjennom anleggsperioden merka av. Som følge av endra arbeid på anlegget i 2015 (avslutting av tunneldrift, oppstart vegarbeid sør i linja og ferdigstilling av masselager for svartskifer), blei nokre prøvetakingslokalitetar flytta i starten av 2016. Meir om lokalitetar for prøvetaking og dei tilhøyrande resultatane er gjennomgått i kapittel 10 *Vassresipientar*. Vassprøvene som blei tatt gjennom anleggsperioden blei analysert via ALS Laboratory Group AS. Metallanalysane blei som ein hovudregel filtrert gjennom 45µm før analyse.



Figur 85. Overvåkingspunkt for vassprøver gjennom anleggsperioden fram til 2015, då reinseanlegg for tunnel blei avvikla etter ferdig driving av tunnel. Brønn 10 og 12 i masselageret blei øydelagt under masseutskiftinga og erstatta av tre nye overvåkingsbrønner etter ferdigstilling. Seinare er det etablert seks nye overvåkingsbrønner nedstrøms og oppstrøms masselageret. Det er også gjort endringar i plassering av prøvetakingspunkt i Viggå etter kvart som anleggsarbeida har endra lokalitet.

7.2. Tolking av vassprøver

Ved tolking av vassprøver frå resipientar er Miljødirektoratets tilstandsklassar for vurdering av miljøkvalitet i ferskvatn, M-680 (Miljødirektoratet, 2016) brukt (tabell 27) som eit tolkningsgrunnlag. Tilstandsklassane er ikkje meint å brukast for å vurdere grunnvatn, då grunnvatn ofte naturleg overskridar klasse I (bakgrunn) og klasse 2 (god), spesielt i berggrunnen på Gran. Likevel er tilstandsklassane somme stader nytta som eit vurderingsgrunnlag for tolking og samanlikning av prøver opp mot påverknad på nærliggjande resipient. Vassprøvar i utsleppsvatn frå anleggsfasen er vurdert ut ifrå utsleppsgrenser i frå utsleppsløvet (Fylkesmannen i Oppland, 2013) og eventuell effekt på resipient.

Tabell 27. Tilstandsklassar for ferskvatn, M-608 (Miljødirektoratet, 2016).

Navn på substans	Klasse I (µg/L)	Klasse II (µg/L)	Klasse III (µg/L)	Klasse IV (µg/L)	Kasse V (µg/L)
Kadmium (Cd)	0,003	<i>Fotnote 1</i>	<i>Fotnote 2</i>	<i>Fotnote 3</i>	<i>Fotnote 3</i>
Bly (Pb)	0,02	1,2	14	57	>57
Nikkel (Ni)	0,5	4	34	67	>67
Kvikksølv (Hg)	0,001	0,047	0,07	0,14	>0,14
Kobber (Cu)	0,3	7,8	7,8	15,6	>15,6
Sink (zn)	1,5	11	11	60	>60
Arsen (As)	0,15	0,5	8,5	85	>85
Krom (Cr)	0,1	3,4	3,4	3,4	>3,4

1) Klasse II Cd verdier avhengig av vannets hardhet: ≤ 0.08 (< 40 mg CaCO₃/L); 0.08 (40 - <50 mg CaCO₃/L); 0.09 (50 - <100 mg CaCO₃/L); 0.15 (100 - <200 mg CaCO₃/L); 0.25 (≥ 200 mg CaCO₃/L)

2) Klasse III Cd verdier avhengig av vannets hardhet: ≤ 0.45 (< 40 mg CaCO₃/L); 0.45 (40 - <50 mg CaCO₃/L); 0.60 (50 - <100 mg CaCO₃/L); 0.9 (100 - <200 mg CaCO₃/L); 1.5 (≥ 200 mg CaCO₃/L)

3) Klasse IV Cd verdier avhengig av vannets hardhet: ≤ 4.5 (< 40 mg CaCO₃/L); 4.5 (40 - <50 mg CaCO₃/L); 6.0 (50 - <100 mg CaCO₃/L); 9.0 (100 - <200 mg CaCO₃/L); 15 (≥ 200 mg CaCO₃/L). Verdier over høyrer til klasse V.

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense: bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNEC _{akutt}	Øvre grense: PNEC _{akutt} * AF ¹⁾	

Figur: Klassifiseringssystem for vann og sediment. 1) AF: sikkerhetsfaktor

8. RESULTAT FRÅ OMRÅDE FOR MASSEUTSKIFTING

8.1. Under masseutskifting

8.1.1. VASSPRØVAR I OPEN BYGGEGROP I MASSELAGER

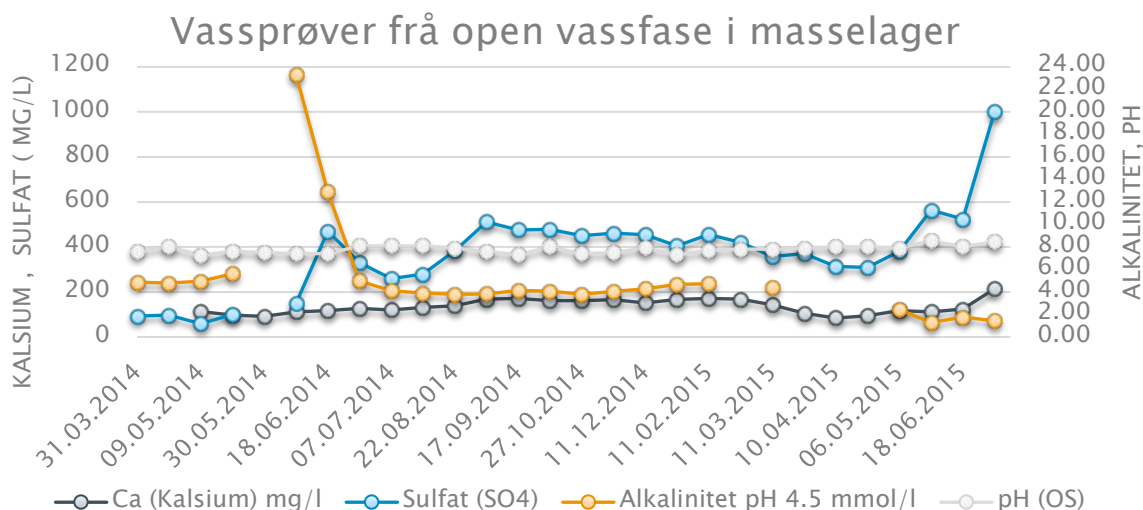
Statens vegvesen henta inn vassprøver regelmessig frå open byggegrop medan masseutskiftinga pågjekk. Desse prøvene er samanstilt i vedlegg 12.1 I figurane 86–88 er utvalde parameter samanstilt i grafar som illustrerer utviklinga i vasskvaliteten over tid.

pH og bufferevne

Figur 86 viser korleis pH, alkalinitet, sulfat og kalsium varierte i den opne vassfasen i masselageret gjennom anleggsperioden. Desse parametera er indikatorar på i kva grad syredannande (og nøytralisierende) prosessar føregår. pH i vatnet blei (på lab) målt til å ligge mellom 7,3 – 8,5 gjennom heile masseutskiftinga. Det blei ikkje, verken på lab eller med handhaldt instrument, målt låge pH-verdiar i vatnet i perioden med deponering av svartskifer. Alkalinitet (pH 4,5) låg hovudsakelag i området 4 – 5 mmol/l, som er relativt høgt. Det var derimot store ytterpunkt (frå 1,3 til 23 mmol/l). Dei høgaste alkalinitetsverdiane blei målt i juni 2014, og er antatt å vere ein konsekvens av deponering av fleire salver med Galgebergskifer i perioden mai/juni, som kan ha hatt restar av injeksjonsmassar og sprøytebetong frå arbeid i tunnelen. Alkaliniteten i vatnet gjekk gradvis ned etter kvart som lageret fylte seg opp, og var på det lågaste i juli 2015 med ein verdi på 1,43 mmol/l. Reduksjonen i alkalinitet kan sannsynlegvis relaterast til forbruk av karbonat ved nøytralisering av syredannande prosessar, slik at pH haldt fram med å vere stabil i vatnet. Samtidig med at alkaliniteten sank, auka sulfatkonsentrasjonane i vatnet, som er en indikator på oksidasjon av sulfid. Alkalinitetsmålingar frå brønnar før masseutskiftinga var i intervallar frå 2,5 – 8,1 mol/l (vedlegg 7).

Ca-innhaldet i myrvatnet var høgt, målt frå 84 til 214 mg/l, men heldt seg relativt stabilt. Vi veit frå tidligare undersøkingar at berggrunnen i Gran (inkludert alunskiferen) har høgt innhald av karbonatar. Sulfat auka noko i perioden etter deponering av galgeberg (frå tunnel) og alunskifer (frå dagsone) i 2014. Deretter søkk

sulfatkonsentrasjonane til rundt 400 mg/l, før ei markant auke kom på slutten av deponeringa våren 2015. Totalt sett auka sulfatinnhaldet i vassprøvene frå 92 mg/l i starten av deponeringa, til 1000 mg/l ved slutten av deponeringa. Sulfat er eit forvittringsprodukt etter at sulfid i skiferen har blitt oksidert, og er dermed teikn på at det har skjedd syredannande prosessar i massane. Alkaliniteten var derimot høg, og bidrog til å motverke syredanning i vatnet.



Figur 86. Vassprøvar av kalsium, sulfat, alkalinitet og pH tatt i opne vassmassar i masselageret gjennom masseutskiftinga.

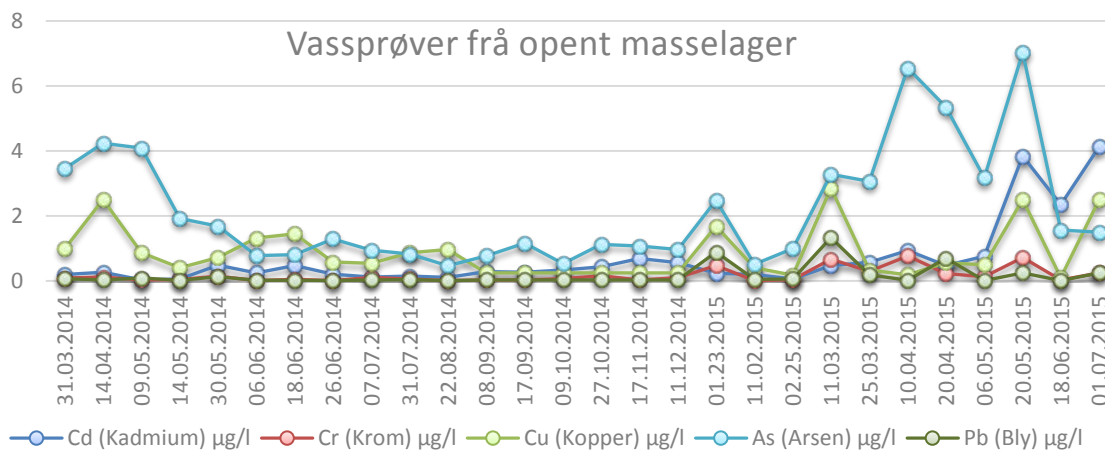
Metallmobilisering

Etter kvart som meir skifer blei deponert i masselageret auka konsentrasjonen av fleire metall i vatnet i byggegropa. Dette samsvarer med aktiviteten som føregjekk der. Når graving pågjekk og vatnet blei rørt auka også konsentrasjonen av fleire metall.

Bly, krom og kopar viste generelt låge konsentrasjonar, alle under 3µg/l (figur 87).

Verdiane tilsvarte tilstandsklasse 1–2 for ferskvatn bortsett frå ein prøve i klasse 3 for Pb (1,33 µg/l). Desse metallar er lite løyselege ved nøytral pH.

Cd var mellom 0,03 – 4,13 µg/l i prøvane (tilstandsklasse 2 – 4). As mellom 0,47 – 7 µg/l (tilstandsklasse 2 –3). As auka etter at alunskifer blei deponert våren 2015. Mot slutten av deponeringa av alunskifer, når eit større volum svartskifer hadde blitt deponert var det ein tydeleg auke for Cd.



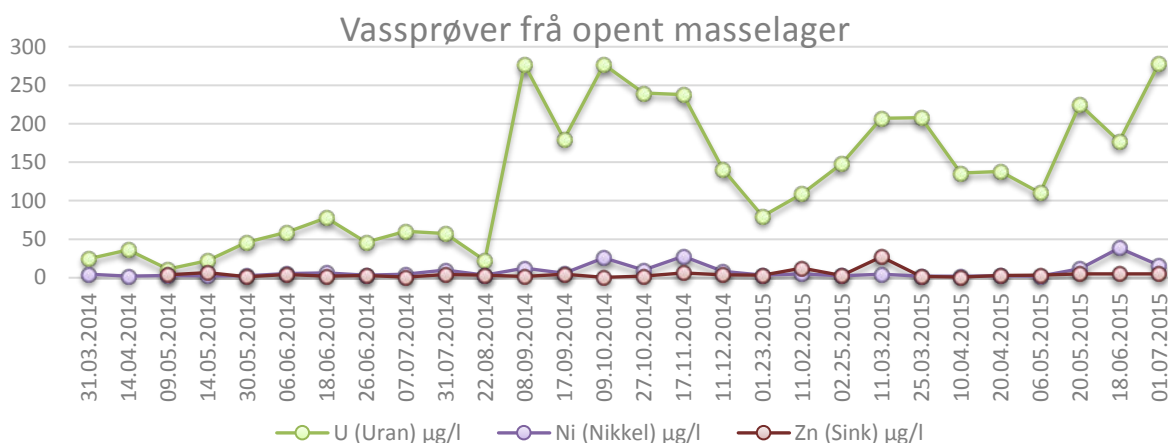
Figur 87. Vassprøvar av Cd, Cr, Cu, As og Pb tatt i opne vassmassar i masselageret gjennom masseutskiftinga.

Figur 88 viser konsentrasjonar av U, Ni og Zn i dei opne vassmassane. U viste ein generell stigning gjennom masseutskiftinga, og hadde målte konsentrasjonar frå 11 – 270 µg/l. U viste samanfallande trendar med sulfat. Nikkelkonsentrasjonane varierte frå 2 – 39 µg/l, mens Zn blei målt med variasjonar mellom 0,8 – 27 µg/l. Ni og Zn låg i tilstandsklassar på respektive 2–4 og 1–4.

Det var samanhengande masseutskifting av blaute massar med svartskifer (galgeberg) i juni 2014, og dette kan forklare aukinga av uran i den perioden. Urankonsentrasjonane gjekk deretter ned i sommarperioden, då det var mindre aktivitet i masselageret. Etter at entreprenøren skifta ut gravemaskin med kran (sjå figur 43 i del 2) i slutten av juli, auka kapasiteten på masseutskiftinga betrakteleg. Uran førekom i dei høgste konsentrasjonane i alunskifer, og etter deponeringa av dei første lassa med alunskifer frå dagsona (Horgenmoen) i august 2014 steig urankonsentrasjonane markant i vatnet i byggegropa; frå 22µg/l i august til 277 µg/l i september. I januar 2015 var uranverdiane redusert til 80µg/l. Auka verdiar for uran frå februar 2015 heng sannsynlegvis saman med auka aktivitet og omrøring, men også at vatnet blei utskifta ved utpumping av vatn.

Frå 5. mars blei alunskifer frå dei 200 siste metrane av tunnelen kontinuerleg frakta ut til masselageret. Dermed blei byggegropa stadig meir utfylt utover vårparten. På dette tidspunktet blei det gravd ut i ein ende av masselageret og fylt igjen i den andre. Det var høgare konsentrasjonar av svovel og tungmetall i alunskiferen frå dei nordre delane av tunnelen, som blei deponert på slutten. I vassprøvene frå byggegropa auka sulfat og metall mot slutten av deponeringa. Dersom ein legg tilstandsklassar for ferskvatn til

grunn her, så var dette vatnet det mest forureina med tilstandsklassar opp til klasse 3 «moderat» for Ni og As og opp til klasse 4 «dårlig» for Cd. Høgste konsentrasjon av uran var 278 µg/l ved slutten av deponeringa 1. juli 2015. Aukande temperaturar frå vår til sommar kan også ha påverka reaksjonsfarten for forvitningsprosessar (inkludert oksidasjon av pyritt), då forvitring og fleire prosessar går fortare ved aukande temperaturar.



Figur 88. Vassprøvar av uran, nikkel og sink tatt i opne vannmassar i masselageret gjennom masseutskiftinga.

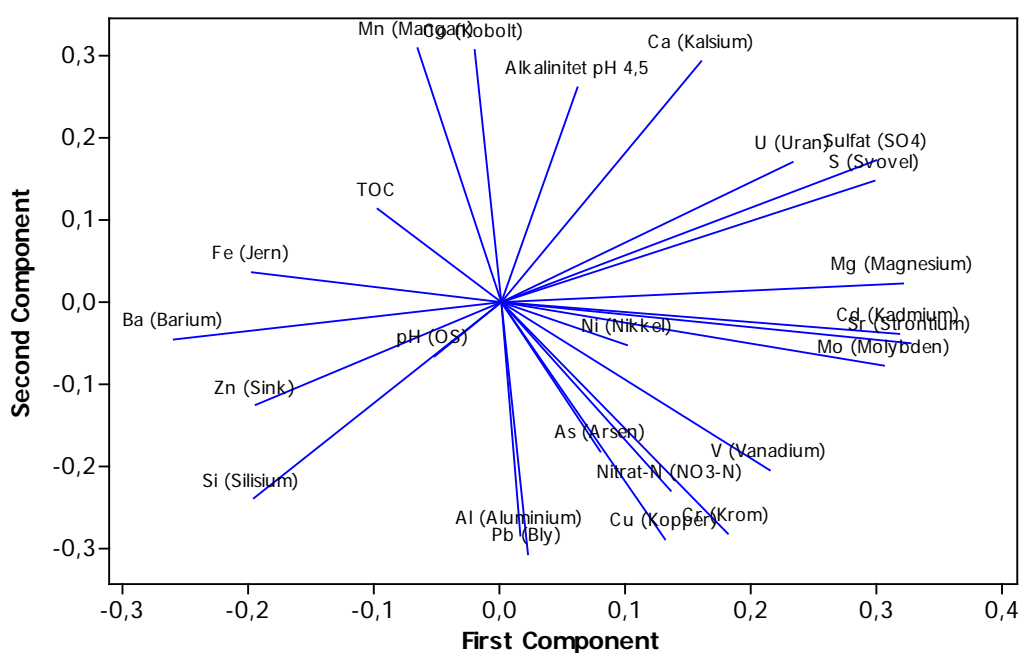
Statistisk vurdering av vassprøvane

Det blei gjort ei PCA-analyse (principal component analysis) på analyseresultata frå vassprøvane frå den opne vassfasen i masselageret. Analysen er ein statistisk analyse for å avdekke trendar i større datasett, som viser seg i form av to aksar i eit koordinatsystem, der x-aksen representerer ein variasjonsfaktor, medan y-aksen representerer ein anna. Det blei inkludert metall/grunnstoff, sulfat, alkalinitet, nitrat, pH og TOC for å få fram trendar og korrelasjonar i datasettet (sjå figur 89). Figur 90 viser korleis kvar enkelt vassprøve plasserte seg i koordinatsystemet og korleis dei varierte frå kvarandre. Meir om slike diagram kan lesast om her:

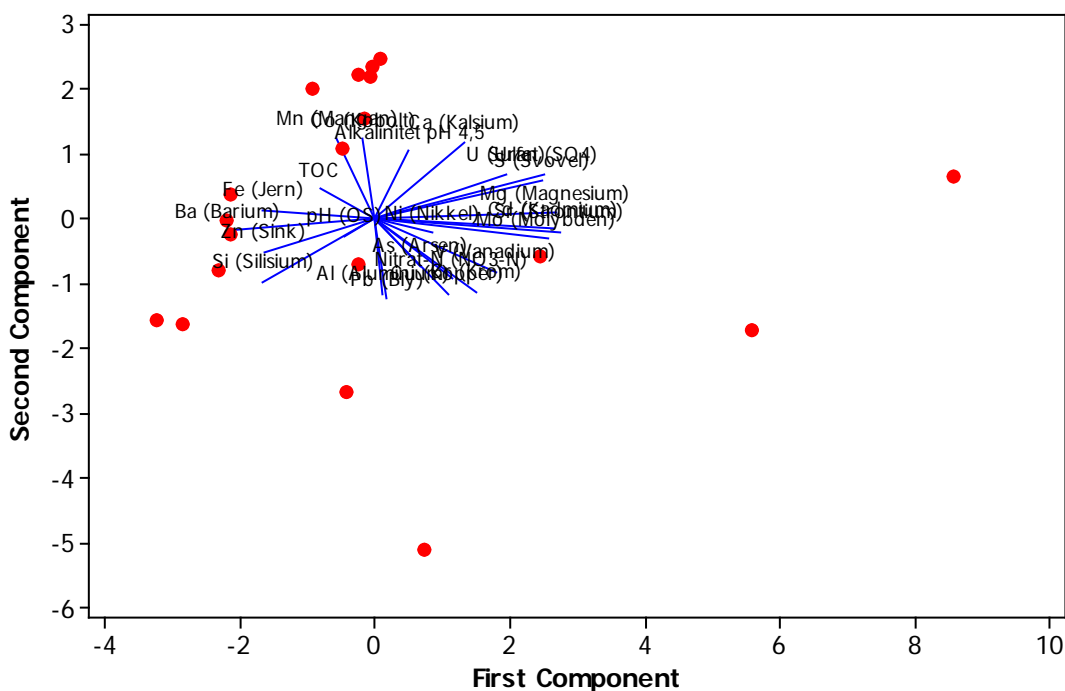
https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis

Første komponent (x-aksen) forklarte 33 % av variasjonen i datasettet, medan andre komponent (y-aksen) forklarte 16% av variasjonen i datasettet. Desse to forklarte til saman 50% av variasjonen.

Kalsium og uran korrelerte positivt med sulfatinnhaldet i vassprøvene frå den opne byggegropa og dei var samtidig negativt retta mot pH. Også konsentrasjonar av Cd, Mo og Ni såg ut til å ha ein samanheng med sulfatkonsentrasjonen. Metallmobilisering kan sjåast i samanheng med sulfat, ved at metall som er bunde i sulfid blir frigjort ved sulfidoksidasjon. Konsentrasjonar av sink var låge og såg ut til å korrelere negativt med sulfat og uran, men positivt med pH. Sink-konsentrasjonane var innanfor variasjonsområdet frå forundersøkingane (tabell 8). Pb, Al, As, Cu og Cr danna eit «kluster» i grafen, noko som tyder på at desse korrelerte med kvarandre. Sjå vedlegg 12.1 for fullstendige data frå vassprøvene tatt i det opne masselageret.



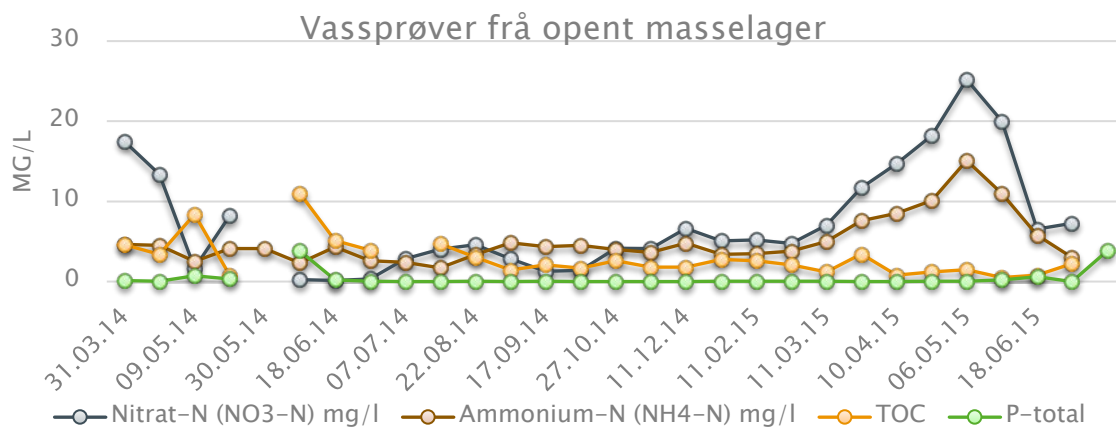
Figur 89. 1. og 2. komponent (X og y-aksen) forklarar 50 % av variasjonen mellom prøvane. Jo lengre «pilar» jo meir av variasjonen forklarar dei. Parameter i samme område korrelerer positivt med kvarandre, medan parameter på motsatt side for kvarandre korrelerer negativt med kvarandre.



Figur 90. Figuren viser korleis vassprøvene (markert med raude prikkar) varierer i forhold til kvarande, ut i frå konsentrasjonar av ulike parameter i prøvene. Jo lengre avstand mellom dei prøvene, jo større variasjon er det mellom dei.

Næringsstoff

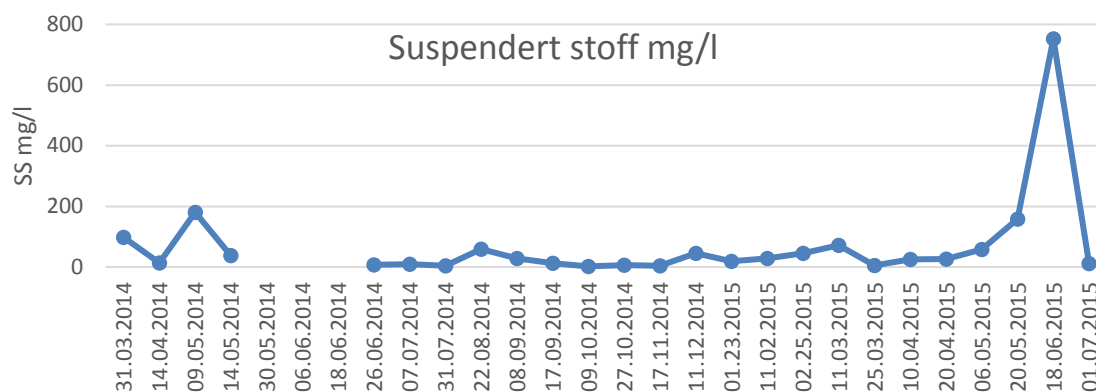
Figur 91 viser variasjonen av næringsstoff i vassprøver tatt frå det opne masselageret. Konsentrasjonar av nitrat og ammonium auka jo meir skifer som blei lagt i masselageret mot slutten av masseutskiftinga. Sannsynlegvis bidrar sprengstoffrestar i sprengsteinen frå tunnelen til ei aukeing av nitrogensambindingar i vatnet. I følge Norsk forening for Fjellsprengningsteknikk (Weideborg m. fl., 2009) kan ein rekne med at mellom 7–15 % av nitrogenet forblir uomsett etter sprenginga, og kan finnast igjen i drensvatnet og tunnelmassane. Total organisk karbon (TOC) blei målt frå 0,5 til 11 mg/l, noko som kan tyde på stor variasjon som følge av at myrmassar blei fjerna, og at det skjedde ei omrøring av massane. Mot slutten av utgravinga var det mindre TOC i vatnet.



Figur 91. Næringsstoff (nitrat, ammonium, fosfor og organisk karbon (TOC) i open vassfase gjennom masseutskiftingsperioden.

Suspendert stoff

Suspendert stoff i «myrvatnet» varierte ut frå aktivitetane som pågjekk. Deponering av massar førte til mykje suspendert stoff i vatnet. SVVs vassprøver blei tatt i overflatevatnet i det opne masselageret, og hadde stort sett verdiar under 100 mg/l (figur 92). Éin prøve tatt i juni 2015 skil seg ut med SS på 750 mg/l. Det kan forklarast ved at den blei tatt samtidig med at det føregjekk deponering av alunskifermassar like ved (figur 128).



Figur 92. Suspendert stoff i vassprøvar frå myra. Den høge verdien frå juni 2015 kom av at vassprøven blei tatt rett etter deponering av alunskifer.

8.1.2. MÅLINGAR AV EH/PH OG OKSYGEN MED HANDHELDT UTSTYR

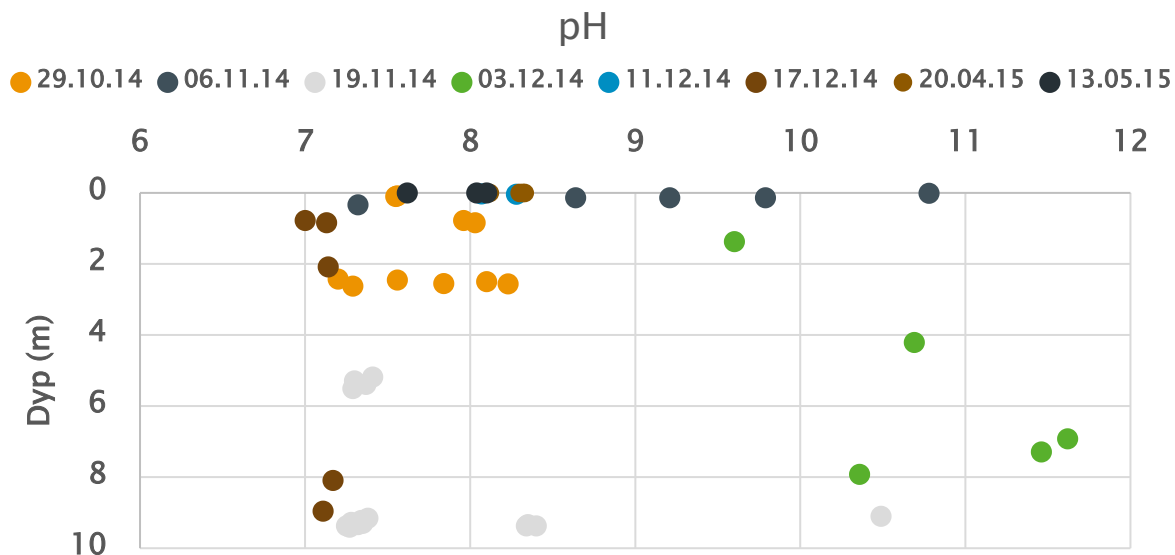
Eh-pH

Det blei regelmessig utført ORP/Eh- (Oksidasjons-reduksjonspotensial) og pH-målingar med handhaldt instrument i det opne masselageret mens deponeringa pågjekk. Det blei brukt eit instrument av typen q-SENSE multi parameter water quality probe fra Eijkelkamp. Proben var utstyrt med 10 meter lang leidning som kunne senkast ned i vatnet til ønska djup. Det blei tatt fleire målingar ved kvar prøvetaking, og i fleire djup. Målesensoren målte pH, ORP (redox), oksygenmetting (DO % sat), temperatur, djup og konduktivitet. Elektroden for måling av ORP var ein Sølvklorid-elektrode, og resultatata frå desse målingane måtte omreknast til Eh (standard hydrogenelektrode) ved ein formel utleia frå instrumentet sin manual. Instrumentet blei regelmessig kalibrert for aktuelle parameter. Resultata frå målingane med instrumentet er gitt i vedlegg 13.1. Figurane 93 – 95 viser målingar av pH, Eh og oksygenmetting på ulike djup i dei opne vassmassane.

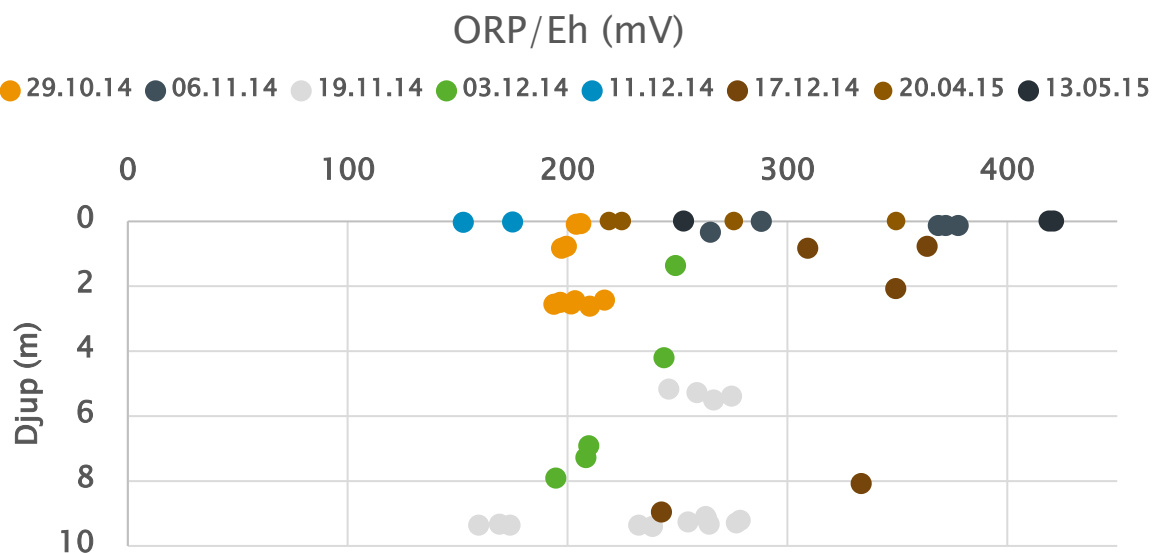
pH varierte frå 7 til 11,6 i målingane frå den handhaldte pH-sonden. Sannsynlegvis er dei høgste verdiane uriktige, då vi periodevis opplevde at sonden målte for høg pH. Dette gjeld målingane gjort 06.11.14 og 03.12.14. Vassprøvane som blei analysert på lab i same periode hadde pH-verdiar frå 7,3 til 8,5. Analysane derifrå blir dermed rekna som sikrere data for den perioden. Samtidig kan pH ha blitt forhøga i periodar ved at tunnelsteinen som har blitt deponert har hatt innblanding av sprøytebetong.

Eh-verdiane var på den positive skalaen (mellom 153 til 421 mV) ned til 10 meters djup, og var på et nivå der sulfidoksidasjon var venta å skje (verdiar høgre enn -200 mV ved pH 7, sjå figur 21). Ved slike verdiar er oksidering av sulfid og påfølgjande syreproduksjon venta å skje. Måling av oksygenmetting viste frå 0 – 119 % oksygen. Verdiar over 100 % viser ei overmetting av oksygen i vatnet. Slik overmetting kan skje ved omrøring/tilførsel av ekstra oksygen til vatnet før oksygeninnhaldet kjem i likvekt med lufta (t.d. er dette vanleg ved produksjon av O₂ ved fotosyntese). Prøvane viser at det var oksygen tilstades i vatnet gjennom masseutskiftinga, men at oksygenmettinga, som forventat, avtok på større djup. Det tok ofte mange minutt før ORP-målingane stabiliserte seg (starta på høg ORP-verdi og gjekk gradvis nedover), dermed er det knytt noko usikkerheit rundt fleire målingar på grunn av ulik ventetid ved kvar måling.

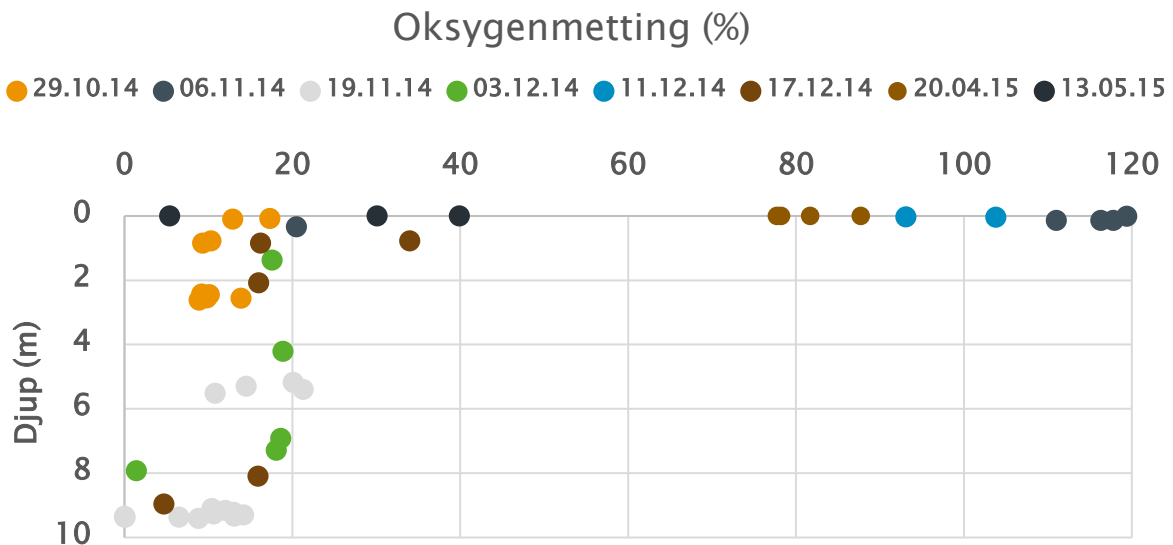
Målingane som var over 100 % metning blei tatt i overflata. Flesteparten (26 av 28) av oksygenmålingane utført på meir enn 1 m djup hadde ei oksygenmetning mellom 0 og 20 %.



Figur 93. pH målt med handheltdt pH-meter i dei opne vassmassane gjennom masseutskiftingsperioden. Dei høgste verdiane tatt 3. desember 2014 er moglegvis for høge, det samme gjeld dei høgste målingane (over pH 9) 6. og 19. november.



Figur 94. ORP, gjengitt som Eh i det opne vatnet gjennom masseutskiftingsperioden.



Figur 95. Målinger av oksygenmetting i det opne vatnet gjennom masseutskiftingsperioden.

8.1.3. FLOTASJON AV OLJEAKTIG LAG PÅ OVERFLATA AV OPENT VATN I MASSELAGER

Allereie etter utlegging av galgebergskifer kunne ein tydeleg observere eit svart belegg som flaut på vassoverflata (figur 96, 97 og 98). Belegget kunne i utsjånad minne om oljefilm. Dersom ein stakk handa ned i belegget kjente ein at det var seigt og klebrig, og massen festa seg på fingrar og måtte vaskast vekk. Etter kvart danna det seg mindre klumpar i filmen, og etter utlegging av alunskifer auka mengda av belegg. Klumpane såg ut som svampar med gassfylte holrom/porer som gjorde at desse haldt seg flytande. Massen innehaldt også partiklar frå vatnet, og det såg ut som at små fraksjonar av skiferpartiklar (galgeberg og alunskifer) klumpa seg naturleg saman. Skummet såg ut til å samle/tiltrekke seg stoff nær overflata og verka å ha ein lokalt reinsande effekt på vatnet. Det er ennå usikkert om prosessen også hadde reell innverknad på reinsing av løyste metall i den totale vassmassen. Men det høge innhaldet av svovel og metall viser tydeleg at «svampflaka» nødvendigvis må ha fanga opp desse elementa i nokon grad, i det minste lokalt i overflata.

Det blei tatt prøver av massen, som blei tørka og deretter preparert og analysert med XRF. Det blei også sendt inn prøve til analyse på lab. Resultata (sjå tabell 28) viste vanlege alunskiferverdiar på tungmetall. Prøven viste høgt innhald av svovel og kalsium og uraninnhaldet var på 55 µg/L. Det var noko ulike konsentrasjonar for fleire av

grunnstoffa i prøven analysert med XRF samanlikna med prøven sendt til Lab-analyse. Dei to prøvane blei tekne på ulike prøvepunkt, og kan dermed heller ikkje ventast å vere like. Prøven viste også eit relativt høgt innhald av olje/hydrokarbon (Fraksjon >C10–C40 = 1330 mg/kg TS). Hydokarbona kan stamme frå organisk innhald i skiferen eller oljerestar frå anleggsverksemda. Det organiske C i norsk alunskifer er vanlegvis identifisert som antrasitt-likande eller «near graphite». Det er likevel nyleg påvist innhald av amorft organisk karbon i alunskifer på Gran (Terefe, 2016), som kan tenkast å vere årsak til flokkuleringa. Det er nødvendig med vidare undersøkingar for å finne ut kor den klebrige massen kjem frå og for å kunne forstå flokkuleringsmekanismen.



Figur 96. Finstoff flyt på vassoverflata etter utlegging av Galgebergskifer.



Figur 97. Flotasjonsmasse på vatn i byggegropa etter utlegging av alunskifer. Etter utlegging av alunskifer auka omfanget av finstoff som flaut på overflata og samla seg i større einingar.

Tabell 28. Analyser av overflatelaget på vatnet i byggegropa. Ein prøve blei analysert med XRF. Ein annan på Lab med ICP-MS (ALS laboratory Group AS). Desse prøvane var ikkje av identisk prøvemateriale, men henta på ulike stader.

Parameter	Eining	XRF Oljehinne	Lab analyse (ALS)
S	mg/kg	43880,82	
Ca	mg/kg	8436,72	19700
U	mg/kg	64,37	52,1
As	mg/kg	54,01	16,1
Zn	mg/kg	291,24	109
Pb	mg/kg	43,92	13,2
Mo	mg/kg	249,3	97,9
Cu	mg/kg	118,95	48,7
Cd	mg/kg	8,55	1,49
Ni	mg/kg	327,75	111
Al	mg/kg	76340,3	5610
Cr	mg/kg	163,97	11,9
V	mg/kg	4112,54	
Mg	mg/kg	3576,38	
Bal	mg/kg	613878,5	
Si	mg/kg	173852,33	
P	mg/kg	1147,72	
Cl	mg/kg	852,24	
K	mg/kg	39905,45	
Ti	mg/kg	3647,23	
Mn	mg/kg	< LOD	77,8
Fe	mg/kg	27484,54	9620
Ba		1023	106
TOC	mg/kg		28,6
Oljeforbindelsar			
Fraksjon >C10-C12	mg/kg		9,5
Fraksjon >C12-C16	mg/kg		154
Fraksjon >C16-C35	mg/kg		1050
Fraksjon >C35-C40	mg/kg		110
Sum PAH-16	mg/kg		0,33



Figur 98. Biletet til venstre er frå masselageret og biletet til høgre viser ein pytt utanfor tunnelpåhugget i nord. Belegg på vassoverflata var eit tydeleg teikn på at vatnet var i kontakt med massar med ein kjemi tilsvarande alunskifer.

«Flokkuleringsmekanismen» var også tydeleg etter avslutta deponering. Dvs. at sjølv om alunskifermassar ligg frå kote 203 og djupare vil finstoffet som klumpar seg og flyt på vassoverflata følgje denne. Det er tydeleg at denne flokkuleringa føregår i sjiktet mellom grunnvatn og umetta meir oksygenrik sone. Denne effekten såg ut til å samle finstoffet slik at vatnet under blei klarare, og er ein effekt vi ikkje var klar over før anleggsstart. Figur 99 under viser ei grøft som blei opna for å legge ned slangane for setningsmålingane. Grøfta gjekk ned til ca. kote 205, vesentleg høgare enn utlagt svartskifer, men grunnvatnet i grøfta har tydeleg vore i kontakt med underliggjande alunskifer eller Galgeberg. Dette viser at den mekanismen vi observerte på den opne vasspegelen også vedvarer etter at byggegropa er fylt igjen.



Figur 99 Graving av ei grøft for slangar for setningsmålingar. Biletet viser at noko av den fine nedknuste alunskiferen dannar eit belegg på toppen av vasspegelen og følgjer dette.

8.1.4. TOLKING/KONSEKVEN SAR

Hovudtrenden var at løyste metall i byggegropvatnet i masselageret auka med tida etter kvart som meir skifer blei deponert, og vatn blei fortrent og pumpa ut. Spesielt då svartskifer frå alunskiferformasjonen blei deponert, auka tungmetallkonsentrasjonane i vatnet. Cd, As, Ni og Zn nådde maksimalt tilstandsklasse 4 i byggegropvatnet. U var også forhøga opp mot 300 µg/l. Desse verdiane viser at det skjedde ein viss utlekking av tungmetall, såkalla *Neural Rock Drainage*. Andre metall som Cr, Cu og Pb viste låge

konsentrasjonar. Sulfat auka spesielt i siste del av deponeringa, frå 300 mg/l i april til 1000 mg/l i juli og tyder på at det skjedde sulfidoksidasjon i skiferen gjennom masseutskiftinga. Målingar av Eh og oksygeninnhald i vatnet stadfesta at det var oksiderande forhold i masselageret. Det var likevel mykje bufferevne tilstades i vatnet, og sannsynlegvis førte forbruk av buffer til at alkaliniteten søkk noko mot slutten av deponeringa. Det blei ikkje, verken på lab eller med handhaldt instrument, målt låge pH-verdiar (mindre enn 7) i vatnet i perioden med deponering av svartskifer.

8.2. Etter masseutskifting

8.2.1. OVERVAKING I MASSELAGERET

Etter at masseutskiftinga var ferdig blei det etablert tre nye overvakingsbrønner i sjølve masselageret. Desse hadde inntaksfilter på ulike djup, for å få informasjon om kjemisk/fysisk tilstand i vatnet på ulike nivå av masselageret, sjå tabell 29. Brønnane blei plassert på Statens vegvesen sin eigedom, dvs. dei står i nærleiken av nedlagt drenering langs vegbana. I kvar brønn heng det ein diver som måler grunnvasstand og temperatur. I tillegg blir det målt Eh og pH i brønn B1 og B3. Data blir logga to gangar i døgnet og resultatata blir overført on-line til ei passordbeskytta nettside. Det blir tatt manuelle vassprøver frå brønnane i tillegg til overvakinga. Ved prøvetakinga blir diver og sendar heist opp frå brønnen, før vassprøven blir tatt ved hjelp av ein «vasshentar». Prøvane blir deretter levert til godkjent laboratorie for analyse.

Tabell 29. Brønndata frå dei tre overvakingsbrønnene i masselageret. Brønn B1 blei bora i desember 2015, medan brønn B2 og B3 blei bora i mars 2016. Inntaksfilteret er nederst i brønnen og har ei breidde på 1 meter.

	Brønn B1	Brønn B2	Brønn B3
Tidspunkt for boring	Desember 2015	Mars 2016	Mars 2016
Kote for vassinntak (m)	202–203	197–198	187–188
Djupn (Meter frå bakkenivå)	5	10	18

8.2.1.1. VASSPRØVAR I OVERVAKINGSBRØNNAR FRÅ MASSELAGERET

Figur 100 – 102 viser resultat frå utvalde parameter frå vassprøvar tatt i brønn B1–B3. Alle resultatata er vist i vedlegga 14.1 –14.3.

pH og bufferevne

pH har vore stabil gjennom heile måleperioden fram til vinter 2018 og svingt mellom 6,9 og 8 i vassprøver frå alle tre brønnane. Det var ein reduksjon i pH for brønn B1 og B2 på 0,7 og 0,6 pH-einingar totalt frå mai 2016 til november 2017. Total alkalinitet har derimot totalt sett stige med 5 mmol/l (frå 1,9 mmol/l i januar 2016 til 6,9 mmol/l i november 2017). I brønn B2 var alkaliniteten hovudsakleg mellom 2 og 3, før den i november 2017 auka til 5,4 mmol/l. I brønn 3 har alkaliniteten vore stabilt høg mellom 4 og 6 mmol/l. Konsentrasjonen av sulfat i vatnet har vore høgast i brønn B1 (300 – 500 mg/l), som er den grunnaste brønnen. I brønn B2 har konsentrasjonane vore noko lågare (mellom 100 – 150 mg/l), medan brønn B3 har hatt dei lågaste konsentrasjonane av sulfat i vatnet (40–210 mg/l). Dette tyder på at det føregår sulfidoksidasjon i øvre delar av masselageret. Lågare sulfat i brønn B2 og B3 kan sannsynlegvis relaterast til eit lågare oksygenivå og lågare Eh i dei djupare laga av masselageret, der brønn B3 står.

Metallmobilisering

Brønn B1 har vassinntaket sitt 5 meter under terrengflata mellom kote 202 og 203, rett ved høgste grense for deponering av deponipliktige massar. I denne brønnen har dei høgaste konsentrasjonane av tungmetall blitt påvist. Samtidig har verdiane av fleire metall (t.d. Cd, U og Mo) vore avtakande fram mot siste prøvetaking i november 2017. Dette kan indikere at brønn B1 er meir utsatt for ytre påverknader enn dei to andre djupare brønnane, t.d. ved mating av overflatevatn. Høge metallverdier tyder også på at det har skjedd sulfidoksidasjon, ved at sulfidbunde metall er løyst ut. I brønn B2, som har inntaket sitt 5 meter lenger nede i masselageret, har metallkonsentrasjonane vore mykje lågare. For brønn B3 har konsentrasjonar av metall vore låge og på bakgrunnsnivå, med unntak av nokre få enkeltanalyser.

I brønn B1 var uran og molybden spesielt høgt i starten av 2016, før verdiane gjekk ned fram mot sommaren. På det høgaste var uran på 930 µg/l (mars 2016) og molybden 1780 µg/l (januar 2016). Ved dei to siste målingane hausten 2017 var uran rundt 200

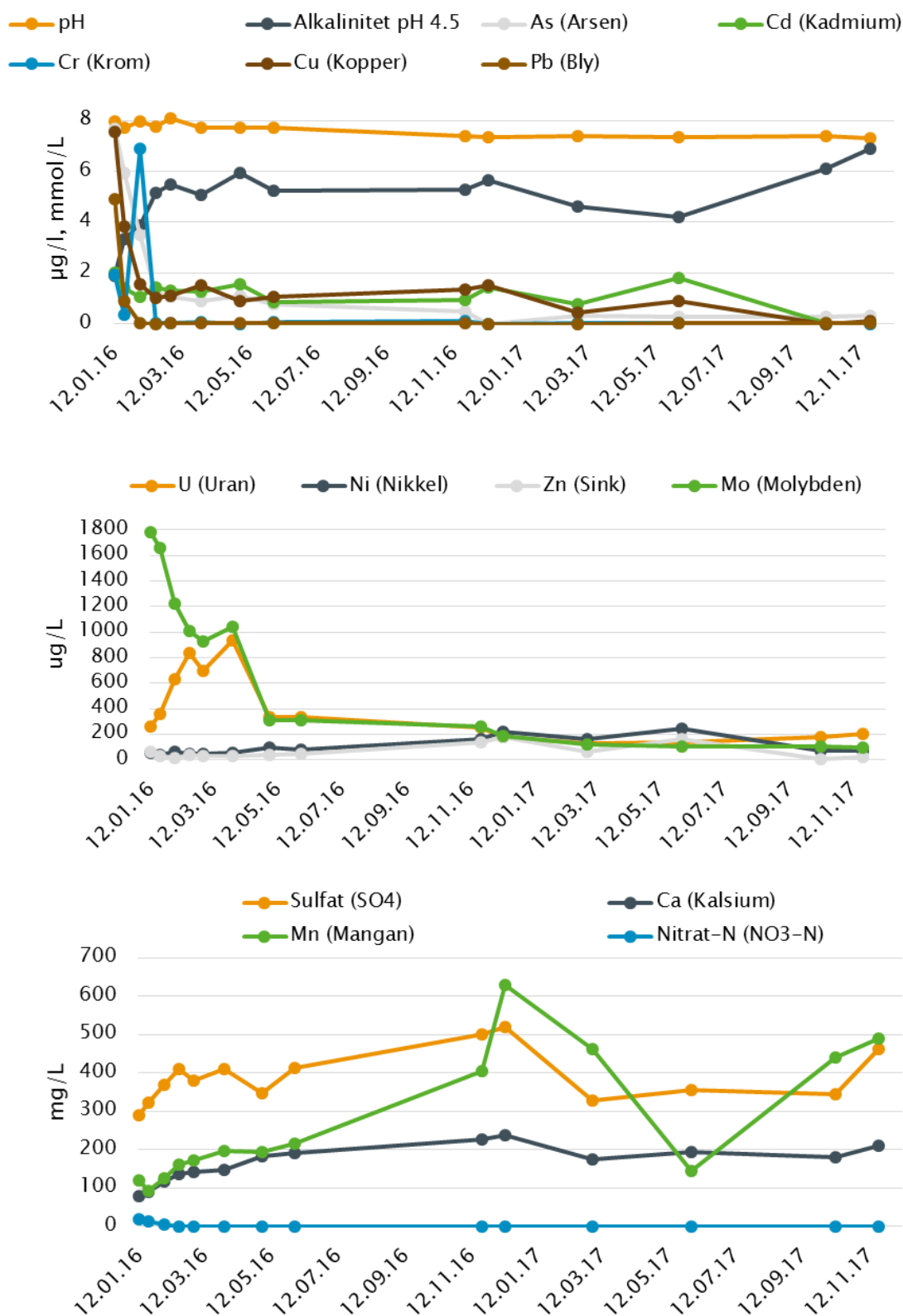
µg/l, mens molybden var rundt 100 µg/l. Moglegvis kjem reduksjonen for U og Mo, og andre metall, av endra tilstandsformer ved reduksjon av Eh (og til dels pH) i brønnen (sjå kapittel 8.2.1.3). I brønn B2 var det også reduksjon for uran og molybden, men startkonsentrasjonane var noko lågare (U: 630, Mo: 430). Dei var i slutten av 2017 på same nivå som i brønn B1 (<200 µg/l). I brønn B3 har U vore mellom 5,1–7,3 µg/l, og Mo frå 14 – 33 µg/l.

Nikkel og sink i brønn B1 har gjennom prøvetakingsperioden periodevis auka i konsentrasjonar, og var maksimalt på 242 µg/l for nikkel i juni 2017, og 175 µg/l for sink i desember 2016. Verdiane tilsvarar tilstandsklasse 5. Konsentrasjonane for begge metallane avtok imidlertid ved dei siste prøvetakingane, og var i november 2017 73 µg/l for nikkel og 19 µg/l for sink. I brønn B2 og B3, som ligg djupare, har konsentrasjonen av nikkel og sink vore mykje lågare. Der har nikkel vore mellom 2,4 og 14 µg/l i brønn B2 og mellom 1,2 og 4,0 µg/l i brønn B3. Sink har avtatt i konsentrasjonar i brønn B2 og gått frå 30,6 µg/l i mai 2016 til 2,8 µg/l i november 2017. Brønn B3 har hatt konsentrasjonar mellom 2,8 og 25 µg/l. Den lågaste blei målt i november 2017.

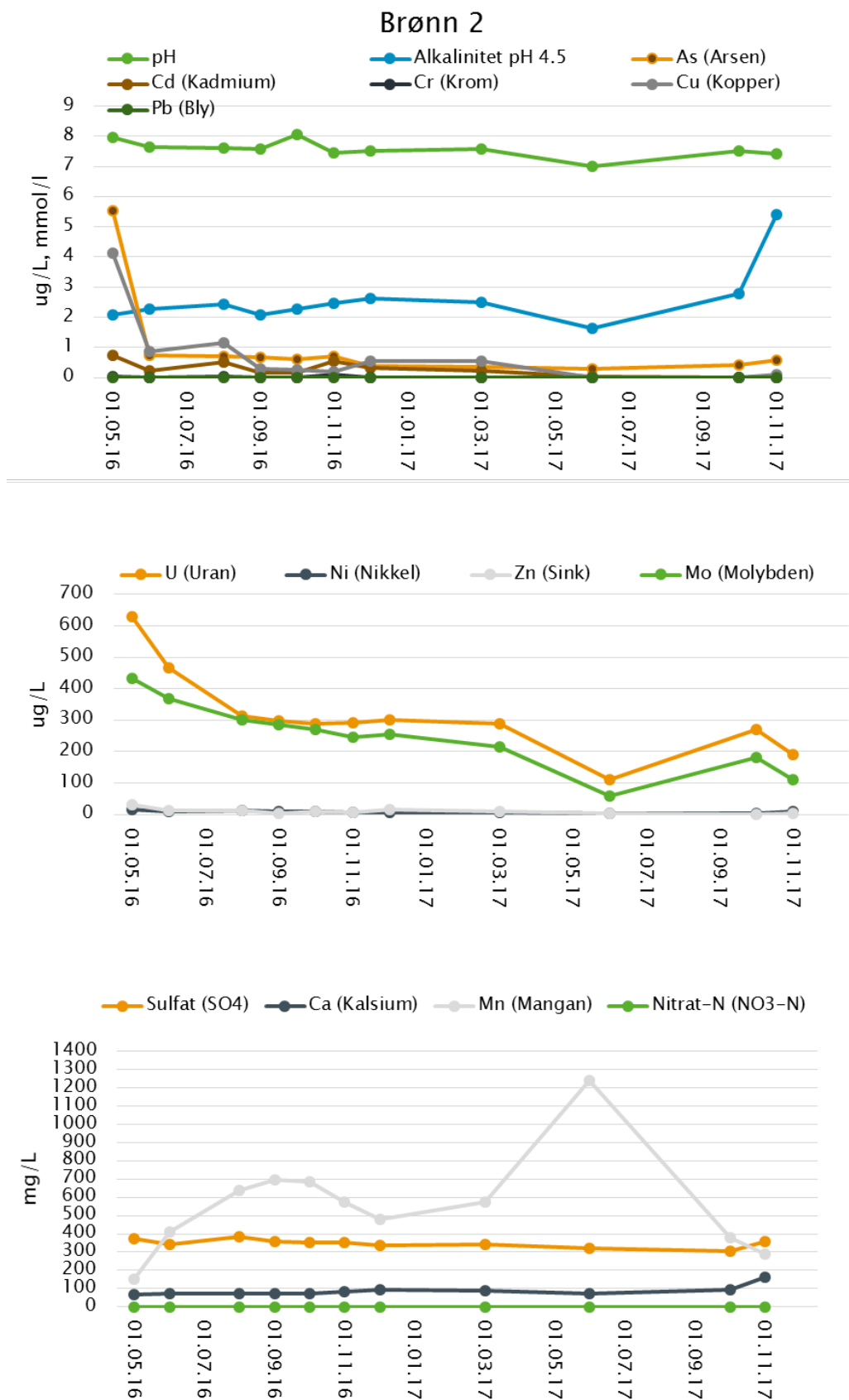
Konsentrasjonen av kadmium i brønn B1 var i januar 2016 2,0 µg/l (klasse 4) og blei gradvis redusert til 0,014 µg/l (klasse 2) i november 2017. Også i brønn B2 blei kadmium redusert frå 0,74 µg/l (klasse 3) i mai til 0,024 µg/l (klasse 2) i november 2017. For brønn B3 har konsentrasjonane vore under 0,086 µg Cd/l (klasse 2) gjennom heile perioden. Arsen har hatt ein nedadgåande trend både i brønn B1 og B2, og gått frå 7,7 µg/l (klasse 3) til 0,3 µg/l (klasse 2) i brønn B1 og fra 5,5 µg/l til 0,59 µg/l i brønn B2. I brønn B3 har verdiane vore mellom 0,12 – 0,7 µg As/l.

Bly og krom har generelt vist låge konsentrasjonar i dei tre brønnene, og viste verdier i klasse I (bakgrunn) i 2017. Brønn B1 hadde ein konsentrasjon av bly på 4,9 (klasse 3) i januar 2016, medan prøver etter det har ligge under 1 µg/l. Krom hadde ein konsentrasjon på 6,9 µg/l (klasse 5) i februar 2016, men har i 2017 vore under 0,1 µg/l (klasse I). Kopar har vore i tilstandsklasse I eller II for alle brønnene, maksimalt 7,6 µg/l i brønn B1 januar 2016.

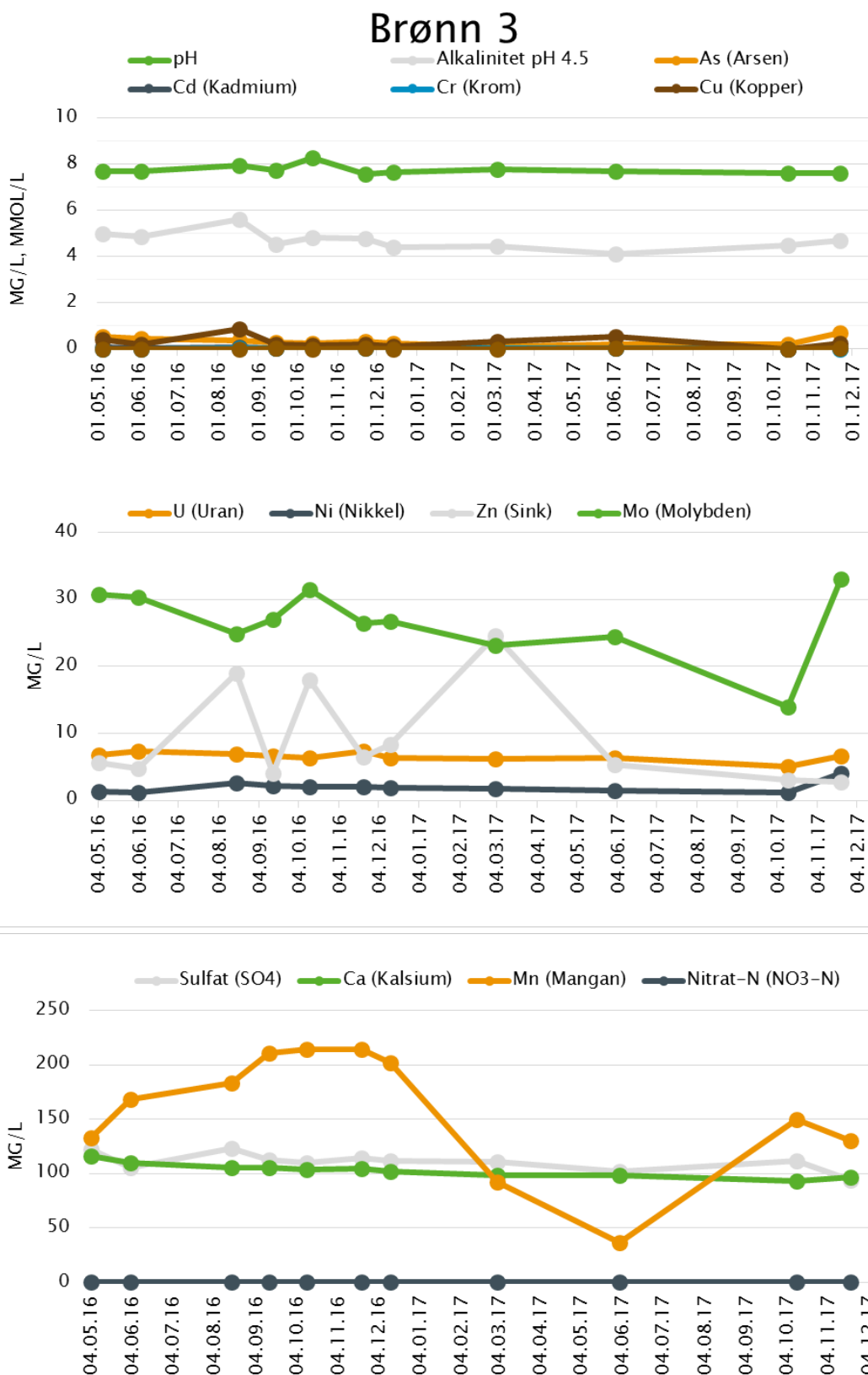
Brønn 1



Figur 100. Konsentrasjon av utvalde parameter i brønn B1 frå 2016–2017



Figur 101. Konsentrasjon av utvalde parameter i brønn B2 frå 2016-2017

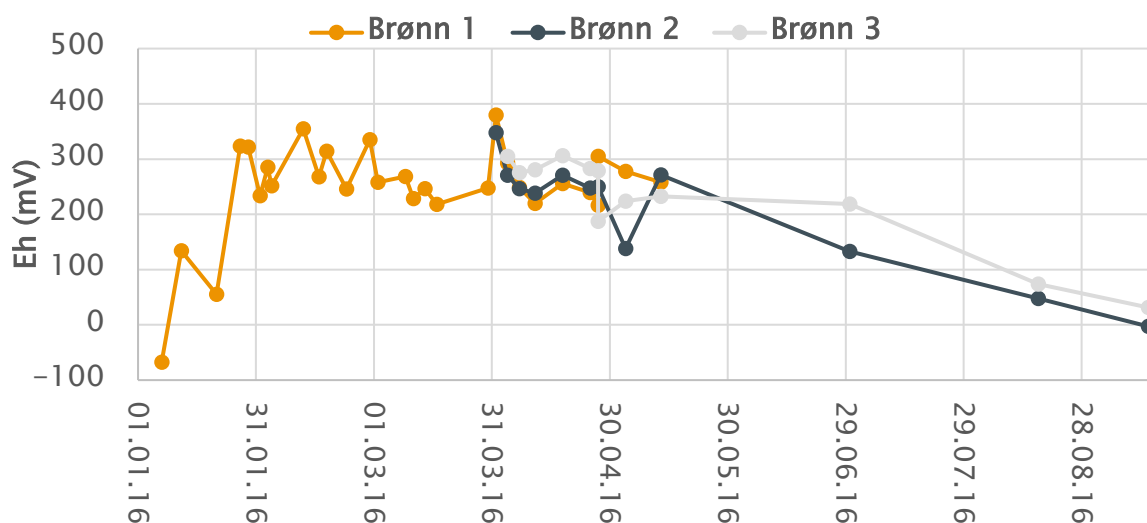


Figur 102. Konsentrasjon av utvalde parameter i brønn B3 frå 2016–2017

8.2.1.2. MANUELL LOGGING MED HANDHALDT UTSTYR

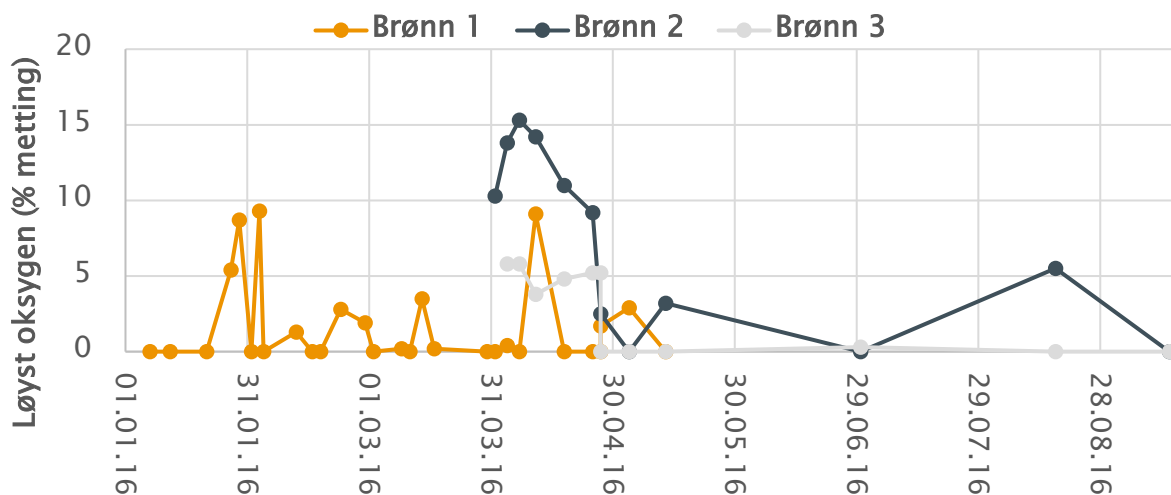
Før kontinuerleg logging blei installert i overvakingsbrønnane B1–B3 på masselageret blei det handhelte instrumentet q-SENSE multi parameter water quality probe, nytta for måling av oksygenmetting og reduksjonspotensialet til vatnet. Gjennom 2016 blei målingar gjort ved faste intervall, ved å senke ned målesensoren i kvar brønn. Resultata for Eh og løyst oksygen er gitt i figur 103 og 104. Fullstendige data finst i vedlegg 15.1 og 15.2. Det blei forsøkt å måle ved same djupn for kvar gong i dei ulike brønnane, men dette blei ikkje følgt opp i tilstrekkeleg grad. Målingane blei utført frå 0,7 – 3,1 m djup i brønn B1, frå 1,4 – 5,3 m djup i brønn B2 og frå 2,1 – 6,5 m djup i brønn B3.

Eh var, med unntak av to målingar, på pluss-sida av skalaen. Dei siste målingane viste ein reduksjon i Eh ned mot null i brønn B2 og B3 i september 2016. Instrument for kontinuerleg logging av Eh/pH blei installert i brønn B3 frå juni 2016 og brønn B1 frå desember 2016. Etter dette blei prøvetakinga med handhaldt instrument redusert. I målingane frå den kontinuerlege logginga var Eh nede på –220 mV i brønn B3, hausten 2016. Dette var mykje lågare enn målingane med handhaldt instrument viste. Vi opplevde ofte at det tok lang tid før det handhalde instrumentet stabiliserte seg, og det er dermed grunn til å tru at Eh-målingane frå den kontinuerlege logginga (kap 8.2.1.3) er nærmare reelle verdiar.

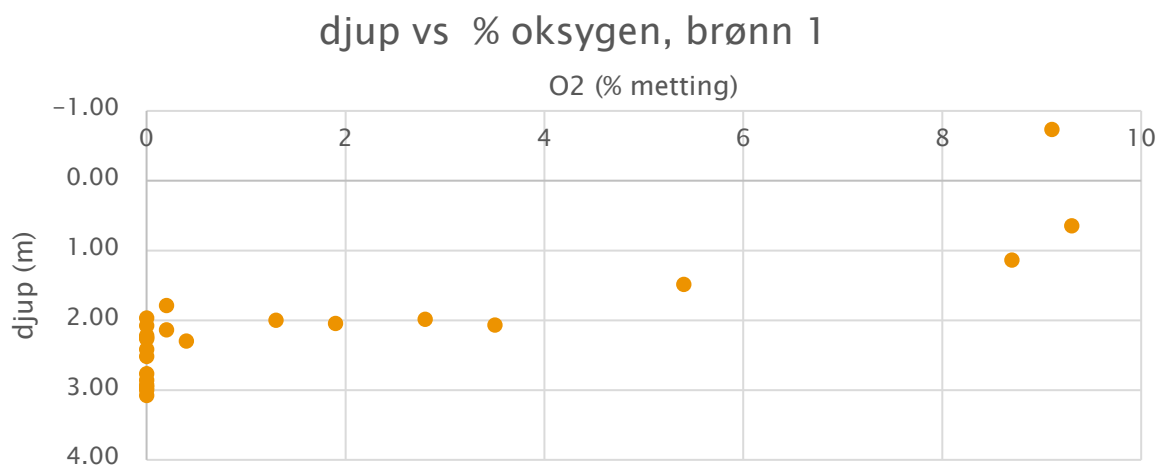


Figur 103. Eh (mV) i brønn B1, B2 og B3 på lukka masselager frå januar til september 2016. Måleutstyret i brønn B1 blei teipa fast i toppen etter mai for å halde det på plass, dermed blei det ikkje målt med handhaldt utstyr i denne brønnen ved dei resterande målingane. Målingane blei utført frå 0,7 – 3,1 m djup i brønn B1, frå 1,4 – 5,3 m djup i brønn B2 og frå 2,1 – 6,5 m djup i brønn B3.

Løyst oksygen var < 10% i B1, <16 % i B2 og <6 % i B3. Oppløyst oksygen er sterkt relatert til djup i vassøyla i brønnen, sidan oksygentilførselen skjer via diffusjon frå lufta. Dette er illustrert i figur 105, som viste at oksygenmettinga var 0 % ved 2,5 m djupn frå grunnvasspegelen i brønn B1.



Figur 104. Løyst oksygen i brønn B1, B2 og B3 på lukka masselager frå januar til september 2016. Brønn B1 blei teipa fast i toppen etter mai, dermed blei den ikkje målt ved dei resterande målingane. Målingane blei utført frå 0,7 - 3,1m djup i brønn B1, frå 1,4 - 5,3 m djup i brønn B2 og frå 2,1 - 6,5 m djup i brønn B3.

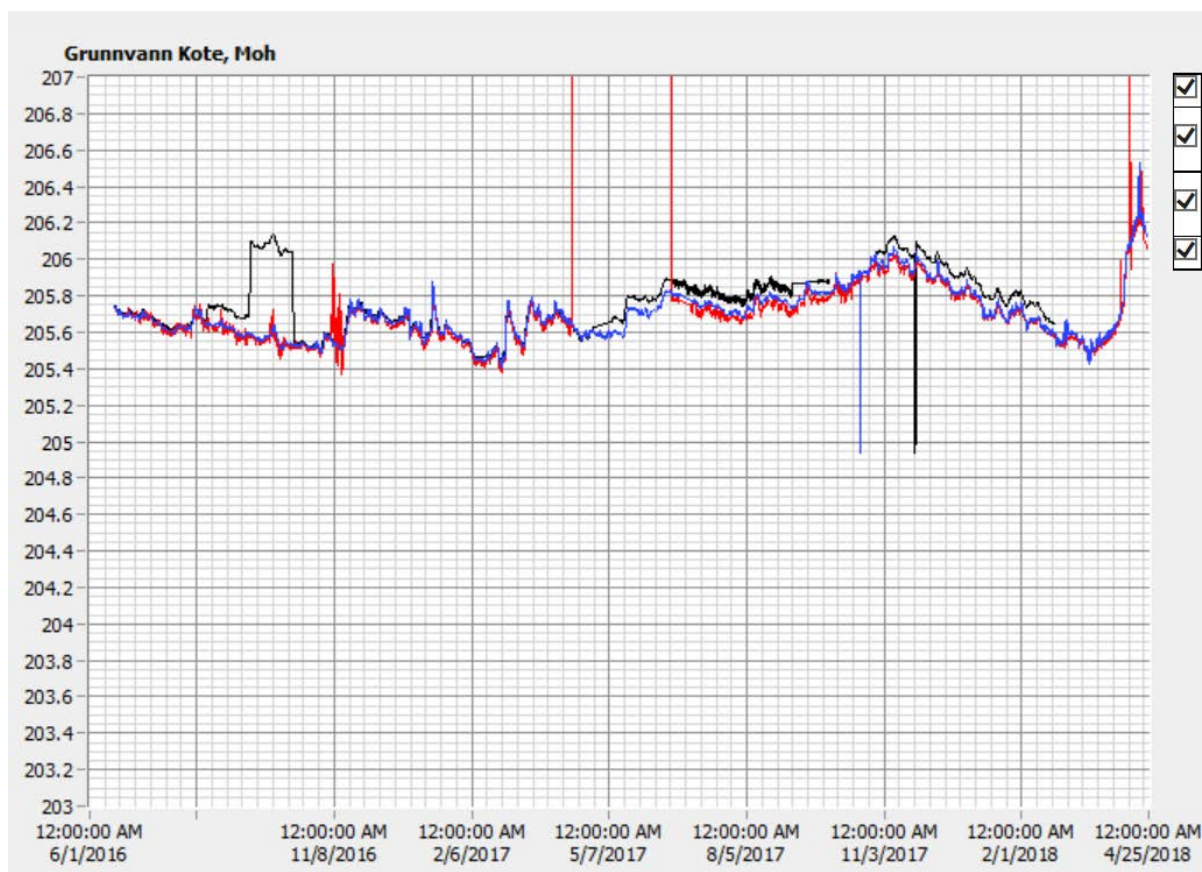


Figur 105. Figuren viser korleis oksygeninnhaldet i vatnet avtok med djupna i brønn B1, som var den grunnaste brønnen. Ved 2,5 meters djup var det ikkje lenger målbart oksygen i vatnet. Målingane blei gjort i perioden frå januar til mai 2016.

8.2.1.3. AUTOMATISK LOGGING

Grunnvasstand

Figurane 106–111 viser resultatane frå den kontinuerlege logginga av grunnvasshøgde, temperatur, Eh og pH i brønn B1, B2 og B3 på masselageret. Grunnvasstanden har vore nokså stabil i perioden frå juni 2016 til april 2018 med variasjoner mellom ca. kote 205,5 og 206,4. Den stabile vasstanden kjem av at brønnane er plassert i nærleiken av drenerør langs vegbana som har slisser som ligg i nivå for øvre målte grunnvannstand rundt kote 206,2. Vasstanden inn mot dreneringsrøyra vil derfor ikkje stige høgare enn dette. Målingar som avviker frå den generelle trenden kjem av at måleinstrumentet (diveren) blir tatt ut av brønnen kvar gong det blir tatt ei vassprøve. I perioden frå november 2017 – April 2018 har grunnvasstanden sokke, noko som stemmer bra med ei frossen overflate og lite nydanning av grunnvatn. Den raske stigninga i slutten av måleperioden er ein tydeleg respons på snøsmelting.

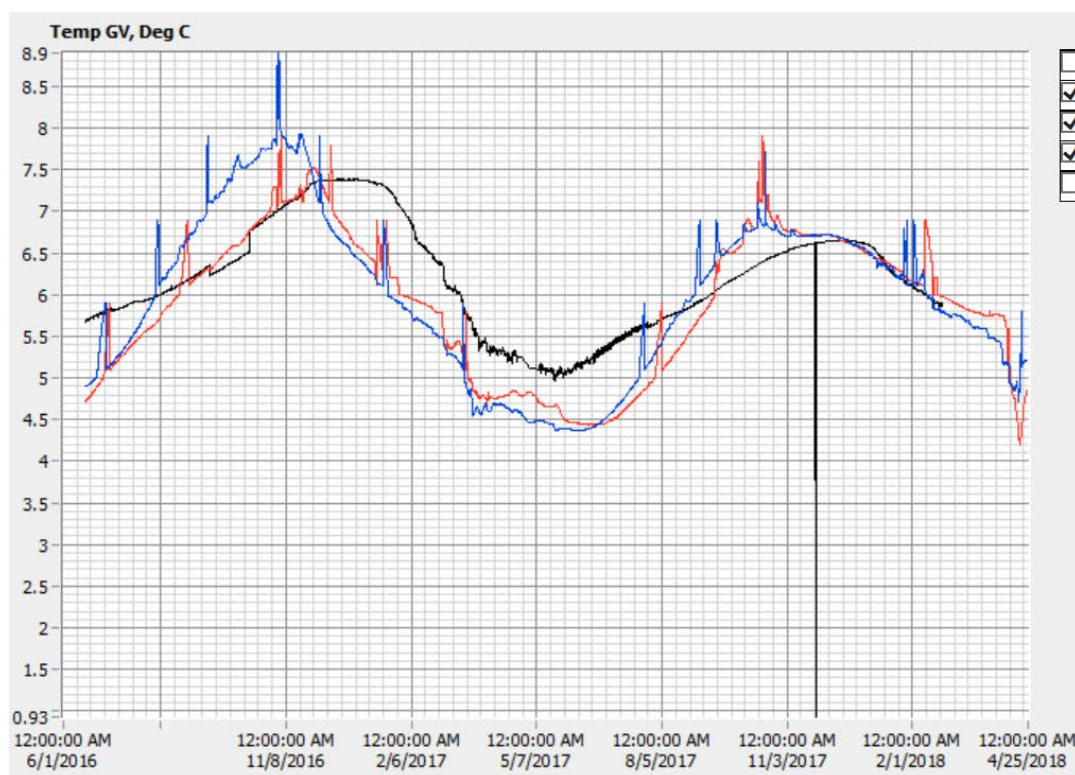


Figur 106. Logging av grunnvasstand i dei tre brønnane B1 – B3 frå 1. juni 2016 – 24. apr. 2018. Blå kurve er brønn B1, raud kurve brønn B2 og svart kurve brønn B3. Peakar i målingane er feil som skuldast at sjølve måleapparatet blir tatt ut av brønnen når ein tar vassprøve.

Temperatur

Temperaturmålingane frå juni 2016 viser at verdiane svingar gjennom året.

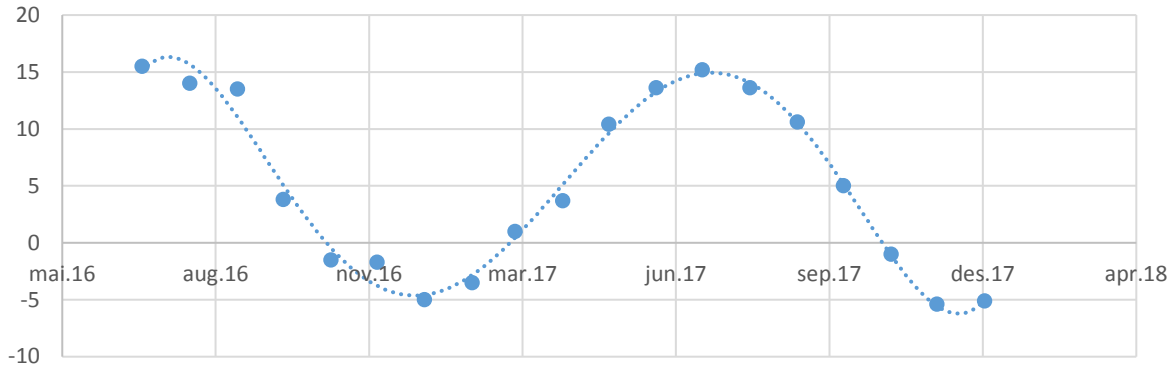
Temperaturane varierer mellom 4 og 8 grader i den første delen av måleperioden, der dei lågaste temperaturane kjem på vår-/sommarhalvåret, og aukande temperaturar utover hausten fram til januar. Dermed er temperaturen på vatnet noko forsinka samanlikna med lufttemperatur og nedbør. Låge temperaturverdiar med svingingar rundt 5 °C er typisk for grunnvatn i denne dybden. Figur 107 viser temperaturmålingar i dei tre brønnane i perioden 1. juli 2016 – 24. april 2018. I figur 108 og 109 ser vi gjennomsnittlege lufttemperaturar og gjennomsnittsnedbør frå Gran målestasjon i same periode. Generelt ser vi at dei høgste temperaturverdiane i grunnvatnet er registrert i månadane november – januar, medan dei lågaste temperaturane er målt i månadane mai – juli. Temperaturen i masselageret ligg dermed tilsynelatande ca. 6 månadar etter temperendingane i luft. Dette er i samsvar med andre målingar av grunnvasstemperatur på 5–7 meters djup gjennomført av NGU (2003), som viste ein tilsvarande forsinking i grunnvasstemperaturen samanlikna med variasjonar i lufttemperaturen. Dette gav dei lågaste grunnvasstemperaturane om sommaren og dei høgaste om vinteren.



Figur 107. Logging av temperatur i dei tre brønnane juli 2016 – april 2018. Blå kurve er brønn B1, raud kurve brønn B2 og svart kurve brønn B3. Hoppa i kurven skuldast at måleinstrumentet (diveren) blir tatt opp av brønnen kvar gong det blir tatt ei vassprøve. Dette representerer derfor ikkje reelle

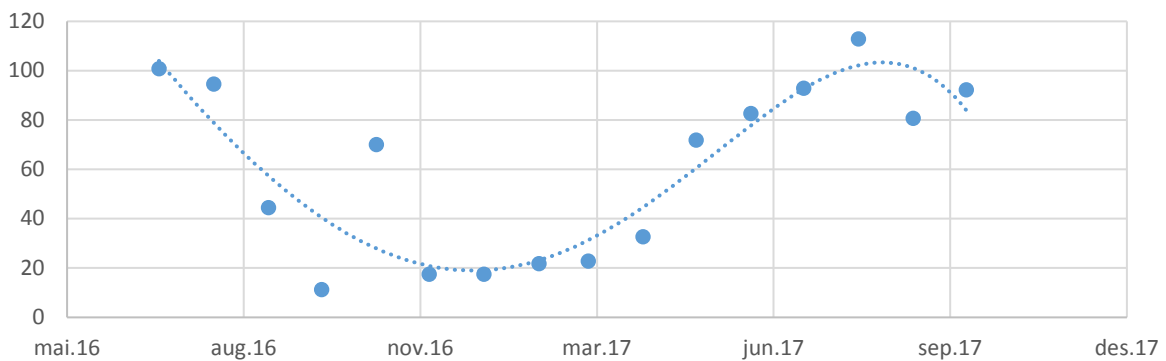
variasjonar. Kurvene viser ein glatt og tydeleg temperaturvariasjon gjennom året. Det bratte temperaturfallet i slutten av måleperioden kan sjåast i samanheng med smelteperioden og dermed tilførsel av kaldt vatn frå overflata. Ettersom batteriet til sendaren i brønn B3 i slutten av gjeldande måleperiode har gått tom for straum, er ikkje temperaturverdiane i den nedste brønnen med i slutten av måleperioden. Sjølv diveren logger likevel verdiar, slik at kurva blir oppdatert når batteriet blir lada opp.

Middeltemperatur Gran målestasjon



Figur 108 Middeltemperatur på Gran juli 2016 – januar 2018

Nedbør Gran målestasjon



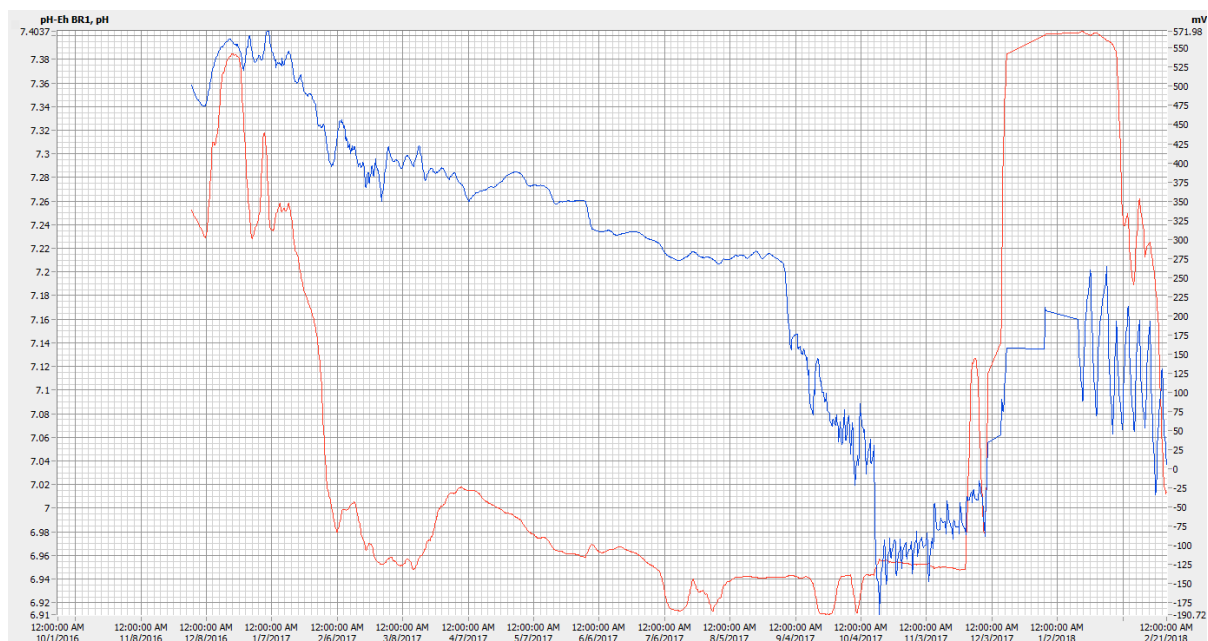
Figur 109 Månadsnedbør på Gran juli 2016 – oktober 2017

I den første delen av måleperioden er det ein tydeleg variasjon mellom dei tre brønnane der temperaturen i dei to grunnaste brønnane (på ca. 5 og 10 m djupn) følgjer omtrent den same utviklinga, medan temperaturen i den djupaste brønnen heng litt etter og har ikkje like stor variasjon. I slutten av måleperioden ser vi at kurvene er samanfallede. At temperaturaukinga først kjem i dei grunnaste brønnene indikerer at vatnet høgare opp i masselageret er meir påverka av forhold på overflata som lufttemperatur og nedbør. I den første delen av måleserien var temperaturvariasjonen nokså stor. Dette kan skuldast ein større grad av infiltrasjon av vatn frå overflata under anleggsperioden. Etter at

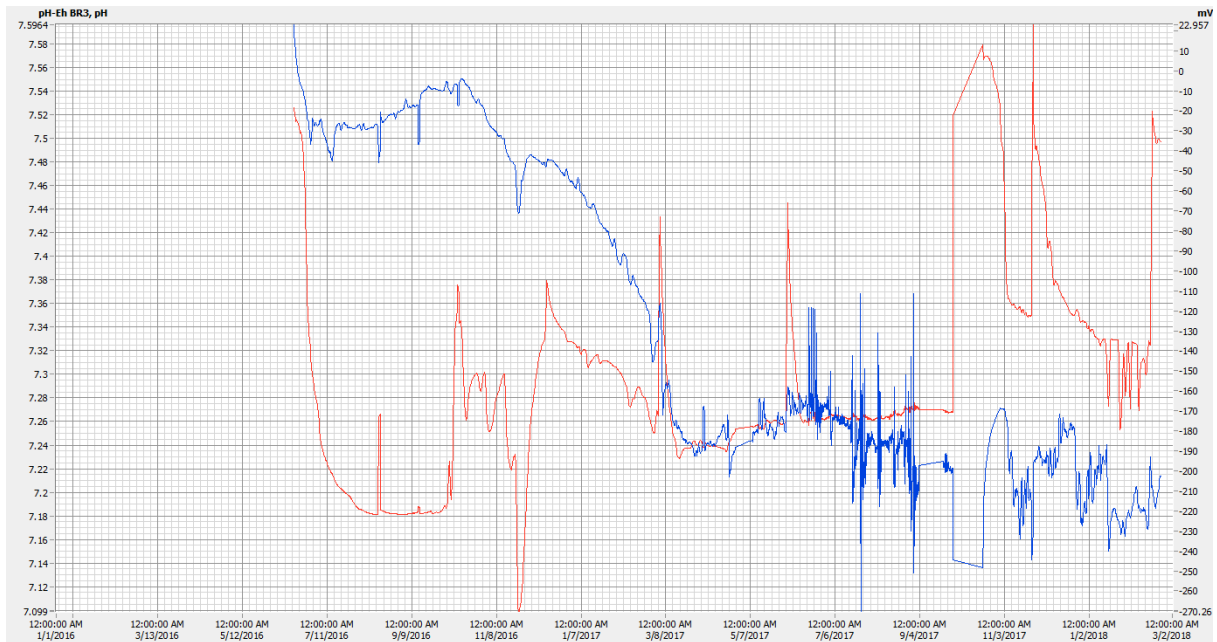
anleggsarbeida blei avslutta ser det ut som at temperatursvingingane er dempa. Den jamne temperaturutviklinga indikerer at påverknaden frå overflata er redusert, men det raske temperaturfallet i brønn 2 og 1 i slutten av måleperioden skuldast mest sannsynleg at det har kome inn kaldt smeltevatn frå overflata. Fallet avviker frå den generelle trenden og kjem i samband med smelteperioden. Dette kan indikere at masselageret er sårbart for inntregning av overflatevatn i periodar med mykje nedbør og/eller snøsmelting.

Reduksjonspotensial/ Eh og pH

Logging av Eh/pH i brønn B1 (figur 110) har vist at Eh i største deler av 2017 var mellom -100 og -175 mV. Eh starta på verdiar over 300 mV rett etter at instrumentet blei satt ned i brønn B1 i mars 2016. Deretter sank verdiane til verdiar ned mot -190 mV hausten 2017. Etter prøvetakinga i november 2017 auka verdiane markant, før dei etter eit par månader starta å søkke igjen. Sannsynlegvis har prøvetakinga ved oppheising av målesonden påverka instrumentet, og dermed er denne brå stigninga ikkje representativt for vatnet, men ein målefeil. I same periode har pH vore mellom 7,4 og 6,9, og har gått noko ned sidan oppstart av målingane. I brønn B3 (figur 111) starta Eh-verdiane på -18 mV, men gjekk raskt ned til under -200 mV. Deretter har verdiane hovudsakleg vore mellom -100 og -200 mV. Raske «hopp» i Eh kjem av at målesonden har blitt heisa opp ved prøvetaking av brønnen.



Figur 110. Logging av Eh/pH i brønn B1 frå desember 2016 – februar 2018. Blå kurve er pH, medan raud er Eh (Mv).



Figur 111. Logging av Eh/pH i brønn B3 fra juni 2016 – februar 2018. Blå kurve er pH, medan raud er Eh (Mv).

Ved vassprøvetaking, når vi har heist opp målesensoren frå vatnet, og den har kome i kontakt med luft, har sensoren nokre gonger brukt lang tid på å kome tilbake til opphavelig Eh-nivå (som i figur 110). Det kan sjå ut til at sensoren treng lang tid (opp til fleire månader) på å stabilisere seg. Dette må følgast med på vidare i overvakinga.

Den 23. november 2017 og 15. februar 2018 målte NIBIO Eh (ORP), pH og oksygen i brønn B2 og B3 med manuelt måleutstyr (vedlegg 16 og tabell 30). Resultata frå november 2017 viste at brønn B2 og B3 hadde oksygenmettingar på 89 % og 70 % 30 m under grunnvasspegelen. Eh var ved same måling på 2,5 mV i B2 og 200 mV i B3. fem – seks meter djupare var O₂-mettinga på 42 % og eH var -167 mV i B2, medan i B3 var O₂-mettinga på 9 % og eH -151 mV. Frå 10 – 15 m djup i B3 var O₂-mettinga 1,3% og eH -182 mV. Ved målingane i brønn B2 og B3 i februar 2018 var oksygennivåa omtrent dei same, men Eh hadde gått opp i begge brønnane, og var ved 6 m djup 120 mV i brønn B2 og -20 i brønn B3. I følgje den kontinuerlege logginga var eH rundt -140 mV i brønn B3 før vassprøvetakinga den 15. februar. Per 24.02.18 var Eh i brønn B1 -49 mV og pH 7,0, medan brønn B3 hadde Eh - 35 mV og pH var 7,2.

Tabell 30. Prøvetaking med handholdt måleutstyr i brønn B2 og B3 23.11.17 og 15.02.18 utført av NIBIO.

		temperatur	konduktivitet	vannivå	pH	O2 kons	O2 metning	ORP /Eh (redox)	Turbiditet
Brønn	date/time	°C	mS	m		mg/L	%	mV	NTU
B2	23.11.2017 11:19	6.4	0.9	0.35	7.9	9.99	88.9	2.5	94
	23.11.2017 11:19	7.2	1.1	6.37	7.4	4.61	41.9	-166.6	61
B3	23.11.2017 11:37	7.4	0.6	0.35	7.7	7.62	69.5	195.8	5
	23.11.2017 11:37	7.9	0.6	2.31	7.7	4.99	46.0	245.0	1
	23.11.2017 11:38	7.9	0.6	3.31	7.6	3.64	33.6	186.4	11
	23.11.2017 11:39	7.8	0.6	4.24	7.5	2.08	19.1	19.9	1
	23.11.2017 11:39	7.5	0.6	5.28	7.5	0.99	9.0	-151.3	1
	23.11.2017 11:40	7.1	0.6	6.29	7.5	0.46	4.1	-181.8	1
	23.11.2017 11:41	6.8	0.6	7.29	7.5	0.27	2.4	-189.1	1
	23.11.2017 11:42	6.6	0.6	8.30	7.5	0.17	1.5	-186.2	0
	23.11.2017 11:42	6.5	0.6	9.29	7.4	0.14	1.3	-179.7	0
	23.11.2017 11:44	6.5	0.6	10.31	7.4	0.14	1.3	-177.1	1
	23.11.2017 11:44	6.5	0.6	11.29	7.4	0.14	1.3	-179.8	0
	23.11.2017 11:45	6.5	0.6	12.28	7.4	0.14	1.3	-184.1	0
	23.11.2017 11:46	6.5	0.6	13.30	7.4	0.14	1.3	-189.0	0
	23.11.2017 11:47	6.6	0.6	14.29	7.4	0.14	1.3	-191.5	92
	23.11.2017 11:48	6.7	0.8	15.29	7.4	0.14	1.3	-182.5	0
	B2	15.02.2018 13:16	4.8	0.91	1.01	6.7	9.64	82.24	140.78
15.02.2018 13:17		5.6	0.93	2.95	6.9	5.76	50.28	152.20	5.09
15.02.2018 13:18		5.9	0.97	3.91	7.0	2.32	20.43	120.11	5.49
15.02.2018 13:19		6.1	1.05	4.93	7.0	1.00	8.81	80.37	0.98
15.02.2018 13:19		6.2	1.05	5.90	7.0	0.56	4.94	38.18	8.42
B3	15.02.2018 13:48	5.3	0.63	1.02	7.4	7.62	65.87	54.24	6.27
	15.02.2018 13:49	5.6	0.62	1.93	7.3	3.85	33.55	69.70	2.65
	15.02.2018 13:50	5.7	0.62	2.94	7.3	2.01	17.55	80.71	2.35
	15.02.2018 13:51	5.8	0.63	3.92	7.2	1.16	10.19	81.24	2.25
	15.02.2018 13:52	5.9	0.63	4.90	7.2	0.56	4.91	14.99	3.92
	15.02.2018 13:53	6.0	0.63	5.91	7.2	0.31	2.76	-20.23	3.92
	15.02.2018 13:54	6.2	0.64	6.91	7.2	0.17	1.52	-39.99	8.91
	15.02.2018 13:55	6.2	0.64	7.92	7.2	0.15	1.31	-54.77	5.09
	15.02.2018 13:55	6.2	0.64	8.79	7.2	0.15	1.31	-62.31	9.50
	15.02.2018 13:56	6.2	0.65	9.90	7.2	0.15	1.31	-69.96	7.45
	15.02.2018 13:57	6.1	0.69	10.91	7.2	0.15	1.31	-75.50	16.16
	15.02.2018 13:58	6.1	0.72	11.91	7.2	0.15	1.31	-80.86	4.02
	15.02.2018 13:59	6.1	0.77	12.92	7.2	0.15	1.31	-85.57	2.45
	15.02.2018 14:00	6.2	0.77	13.91	7.2	0.15	1.31	-87.04	244.42

Det er mogleg at brønnane har høgare Eh enn resten av masselageret, med innverknad frå luft frå overflata i brønnen. Brønnane er likevel utstyrt med lokk som burde hindre dette. Høgare konsentrasjonar av sulfat og tungmetall i den grunne brønnen samvarer

tydeleg med meir oksiderande forhold. Eh-verdiane her er langt unna det som trengst for kjemisk stabilisering av svovelkis (dvs ca - 300 mV). Jamt over meir reduserande forhold i den djupare brønnen (B3: 18 m djup, B2: 10 m djup) samsvarer på si side med signifikant lågare sulfat og metallinnhald. Dette er klart i tråd med gjeldande geokjemisk litteratur (Appelo og Postma 2005).

8.2.1.4. GIPSUTFELLING OG SVELLING

Periodevis blei det oppdaga at leirskifer frå tunnelen som låg opent i dagen (klassifiserte massar som var godkjente til bruk i fyllingar) etter kvart fekk kvite utfellingar på overflata. Dette ser ein eksempel på i figur 112, og skjedde både på Galgebergskifer og Elnesskifer. Noko av dette blei testa ved å dryppe saltsyre på materialet. Det blei då sett brusing, noko som tyder på at det var kalisumkarbonat i massane. Alunskifer og galgebergskifer frå tunnelen som var lagra i opne konteinrar for naturleg gjennomstrøyming av regn fekk også slike utfellingar (massar i storskalaforsøka – sjå Fjermestad, Hagelia & Thomassen (2017). Dette blei skrapa av og sendt til mineralogisk analyse (XRD), og gips blei påvist.



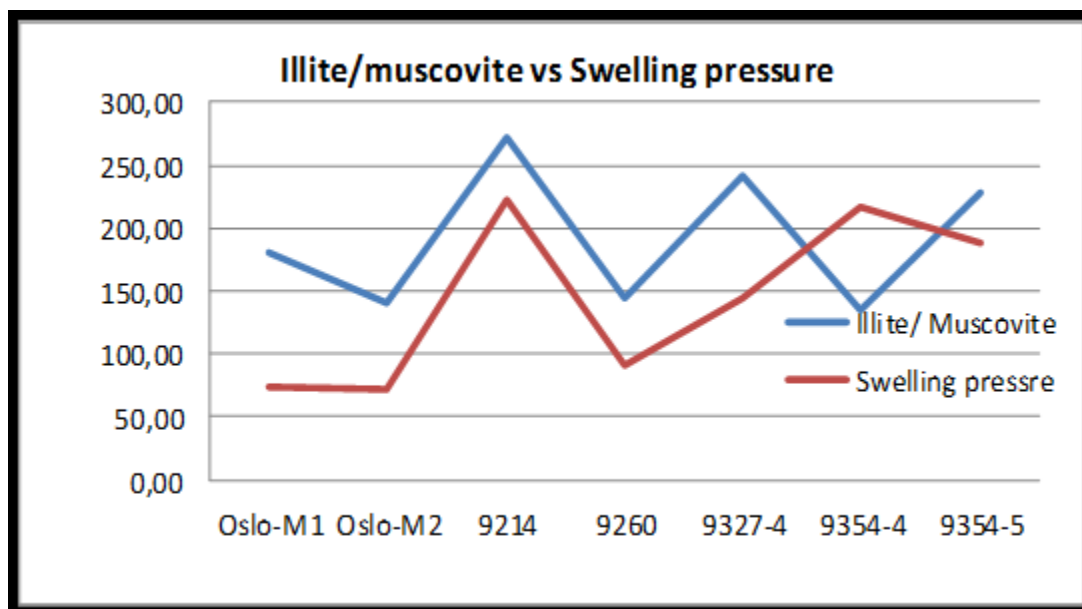
Figur 112. Kalkutfellingar på alunskifer i friluft (frå svartskifer brukt til utlekkingsforsøk)

Svelling i leirskifer kan foregå ved ulike mekanismar:

- Ved utfelling av gips dersom sulfatbidraget blir høgt; kan inntreffe dersom sulfidoksidasjonen blir stor.
- Anhydritt konvertering til gips ved hydrering
- Svelling av leirmineral

Innhaldet av sulfat og kalsium i vassprøvane frå brønnane viser at det er langt under metningspunktet for danning av gips (metningspunktet ligg ved 1450 mg/l sulfat og ved 650 mg/L kalsium).

Eventuell innhald av anhydritt i skiferen kan også bidra til formasjon av gips. Samtidig har anhydritt i liten grad blitt avdekket ved mineralogiske analyser av Gran-materialet (Fjermestad 2013; Helmers; 2013; Santos 2014; Terefe 2016; Børresen 2017; Erstad 2017). Det blei utført svelletestar på fem alunskiferprøver frå Granstunnelen i ei masteroppgåve frå UIO (Terefe, 2016). Ingen av prøvane viste danning av gips på grunn av testforholda, men det blei derimot vist at innhaldet av eit blanda sjiktsilikat/leirmineral (illitt/muskovitt) førte til moderat svelletrykk i ødometer under tilsetning av vatn (sjå figur 113).



Figur 113. Svelletrykk (y-aksen oppgitt i kPa) viste ein klar samanheng med innhaldet av blanda sjiktsilikat av illitt og muskovitt (Terefe 2016). Prøver frå Gran og Oslo (M1 og M2).

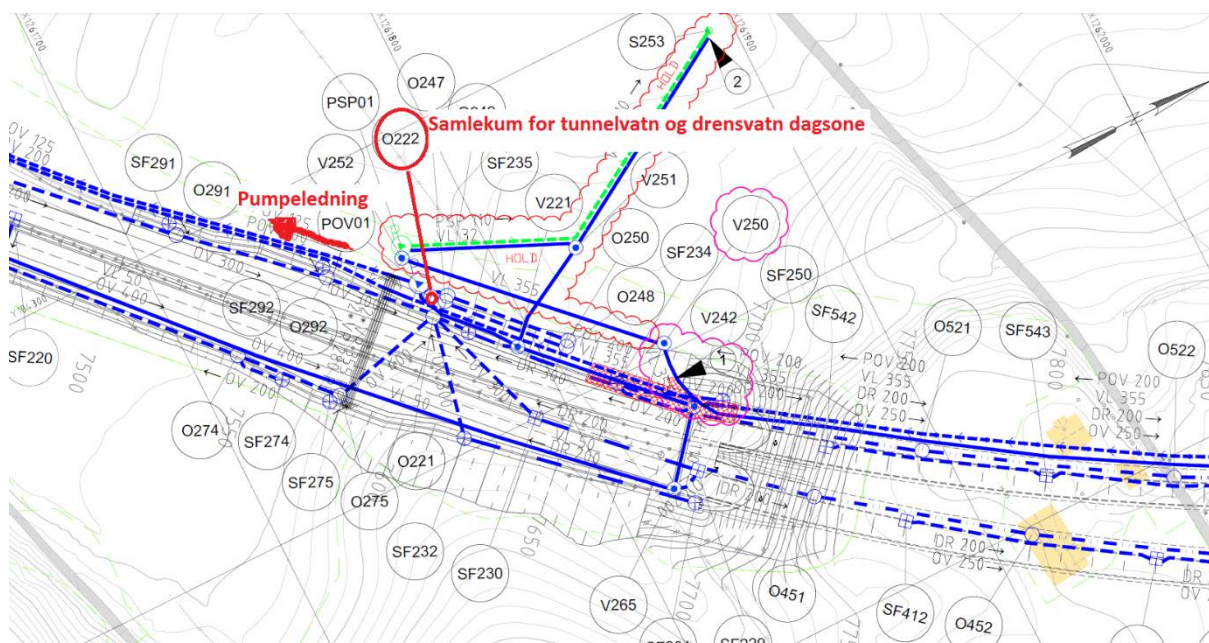
Setningsutviklinga under anleggstida blei overvaka ved setningsmålingar over masselageret. Dette er skildra i kap. 6.6 i del 2. Den generelle trenden er, som forventet at det skjer ei setning. Men i nokre punkt har det vore ei heving slik at netto setning er null. Årsaka til hevingane er ikkje sikkert avdekket, men det ser ut til at ein kan sjå vekk frå effektar av både frost (måleslangar under frostsona) og forskyvingar (neppe tenkbart på flatmark). Det er derfor meir sannsynleg at episodane med heving kan ha samanheng med svelling i galgebergskifer eller alunskifer. Vasskjemien i dei to brønnane i sjølve masselageret (Brønn B1 og Brønn B3) viser at gips er undermetta (ikkje utfelt) og dette

er neppe forklaringa. Det kan snarare sjå ut til å kunne ha samanheng med innhald av blanda sjiktsilikat av illitt og muskovitt, som sveller når svartskiferen er neddykka i vatn eller ligg i umetta sone over grunnvasspegelen der det er fuktig. Svelling i sjiktsilikata er reversibel og kan forklare at svelling (løft) ikkje er permanent, men kan gå tilbake. Svelletrykka var moderate. Utvikinga av setning og eventuell vidare heving blir overvaka framover.

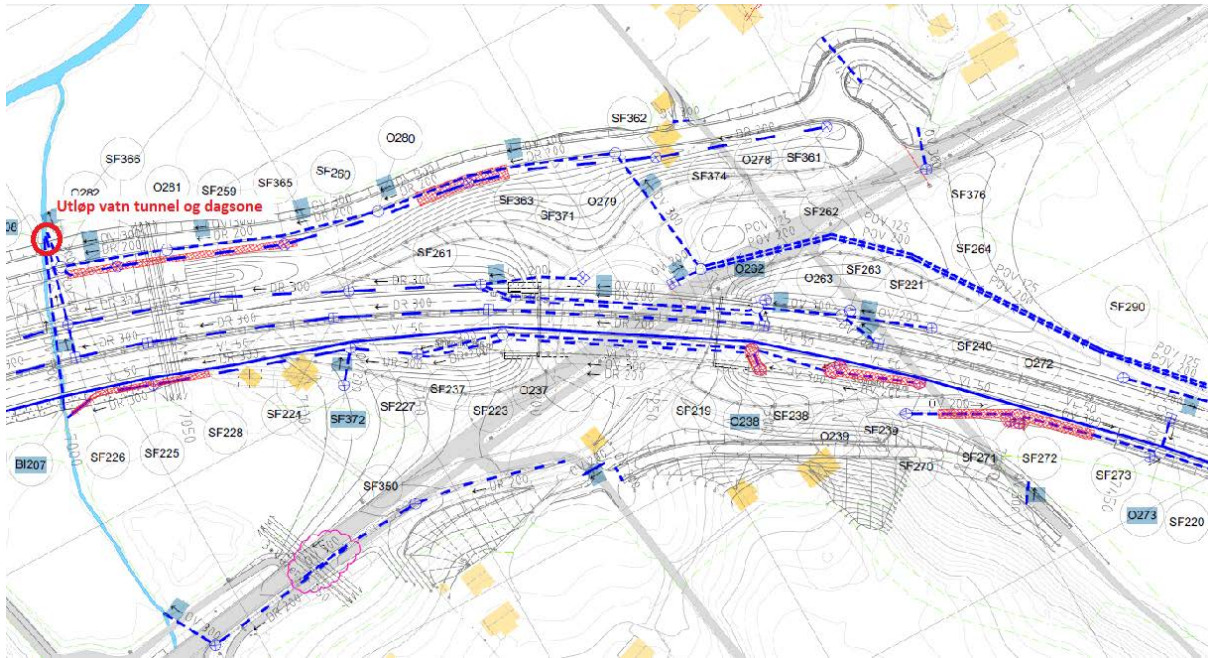
8.2.2. OVERVAKING AV TILGRENSA OMRÅDER TIL MASSELAGERET

8.2.2.1. DRENSVATN FRÅ TUNNEL OG OMRÅDE SØR FOR TUNNEL

Både innlekkasjvatn frå Granstunnelen og drensvatn frå området utanfor Granstunnelen blei samla i eit felles rørsystem i 2016 med utløp til nedre deler i Vøienbekken rett før den møter Vigga (figur 114 og 115). Drensvatn frå området består både av drensvatn frå portalområdet og langs ny veg, i tillegg til noko landbruksdrenering frå overliggende område. Ved tunnelvask blir vaskevatnet handtert og reinsa i eit lukka system før utslepp.



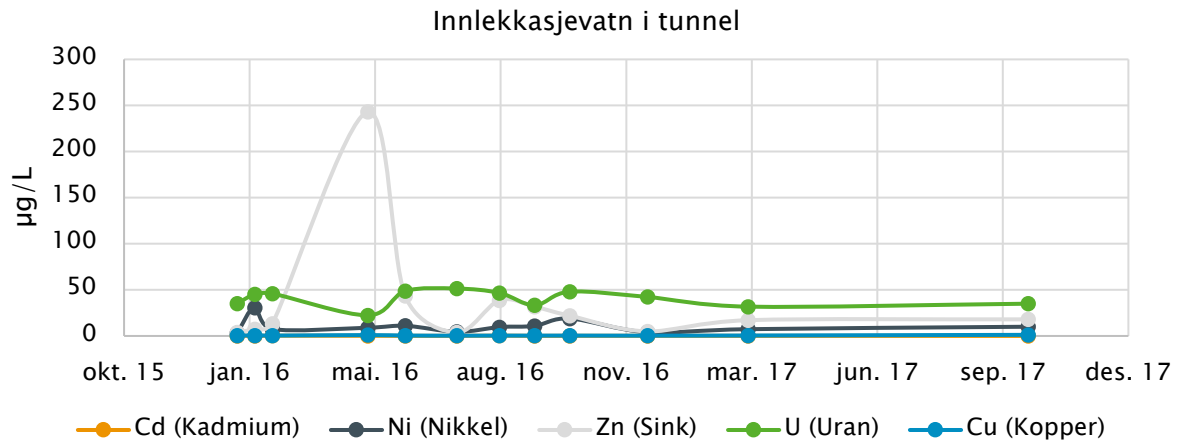
Figur 114. Arbeidsteikning for drenering- og vatnbehandling i portalområdet for Granstunnelen sør.



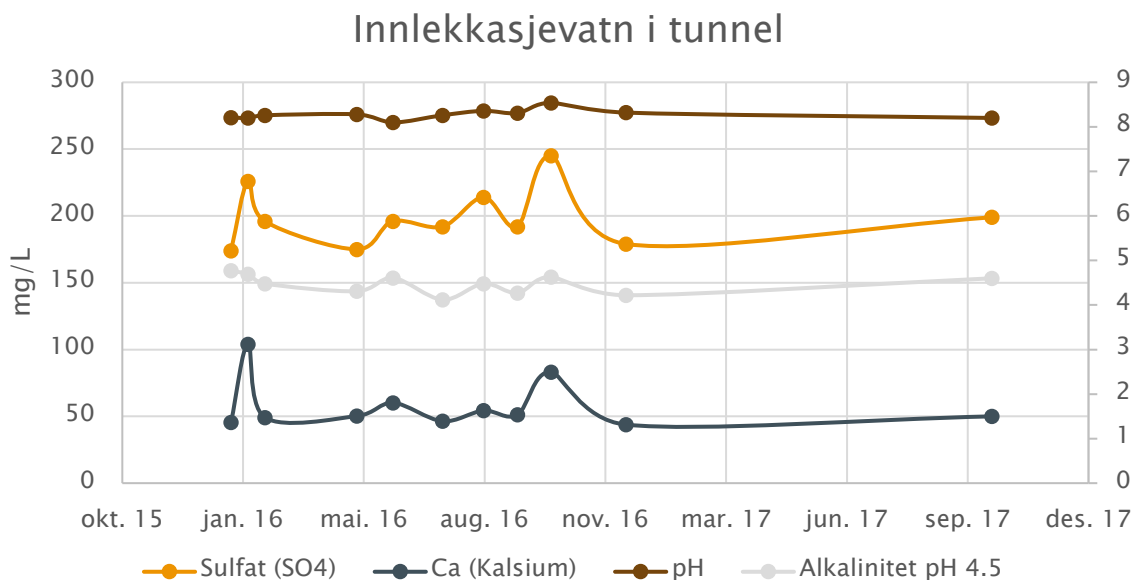
Figur 115. Arbeidsteikning for drenering- og vatnbehandling i portalområdet for Granstunnelen sør og vidare mot utløpet til Vøien.

Innlekkasjevatt tunnel

Innlekkasjevattnet har regelmessig blitt prøvetatt etter at sprengingsarbeida var ferdige. Figur 116 viser konsentrasjonar av metalla Cd, Ni, Zn, U og Cu prøvetatt i utjammingsmagasinet i pumpesumpen. Vasskjemien er spegla av at vatnet drenerer i fjell med skifer og kalkbergartar, men påverknad frå betong kan også spele inn på vasskjemien. Tilstandsklassen til vatnet basert på metall er for Cd, Cr, Pb og Hg i klasse 1 og 2. For Zn, Ni og As har verdiane svingt mellom klasse 2 og 5 (Zn) og 2 og 3 (Ni) og 2 og 3 (As). Konsentrasjonane er på nivå som ikkje utgjør ein skade for resipienten den blir tilført. Den høge Zn-verdien kan ha vore ei feilmåling, sidan den avviker frå resten av dei andre målingane. Uran har vore mellom 22 og 51 µg/l. pH har vore stabil mellom 8 og 8,5, og alkaliniteten har vore rundt 4,5 (sjå figur 117). For å følge med på om det skjer endringar i vasskjemien, vil vi fortsette å ta vassprøvar av dette vatnet framover i den neste treårs-perioden.



Figur 116. Konsentrasjonar av metalla Cd, Ni, Zn, U og Cu i innlekkasjevatt oppsamla i pumpeumpen i Granstunnelen. Vatnet er prøvetatt i perioden januar 2016 til november 2017.

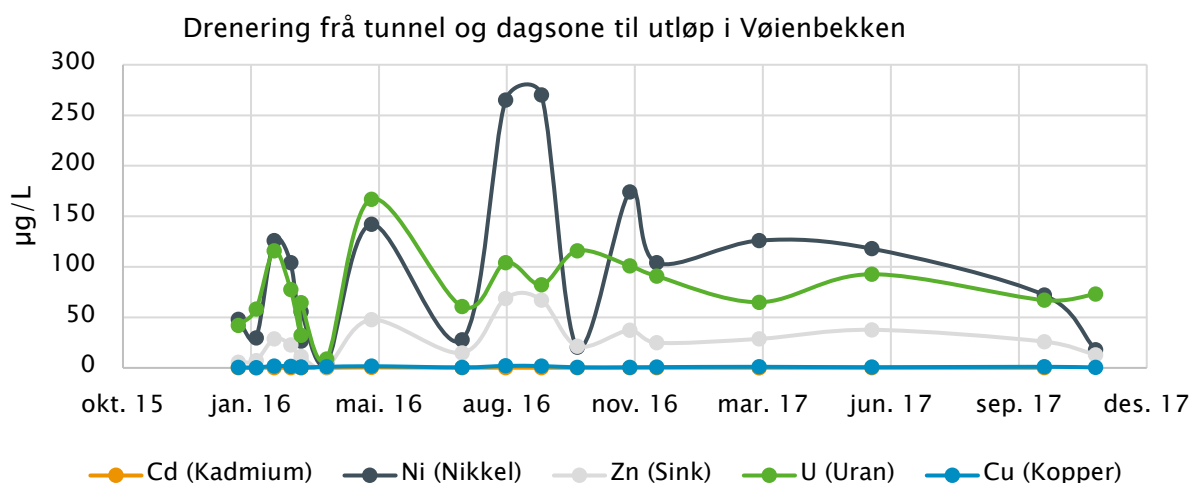


Figur 117. Innlekkasjevatt tunnel i pumpeump. pH og alkalinitet er gitt på sekundæraksen.

Drensvatt i utløp til Vøienbekken

Kalkstein og skifer frå hagaberg-, elnes- og galgebergformasjonen, som ikkje blei definert som deponipliktige har blitt brukt i fyllingar for vegoppbygging. Slike skifrar har eit variabelt, men naturleg forhøga innhald av metall, som også kan sporast igjen i dreneringsvatnet i massane. Galgebergformasjonen hadde urannivå opp til 40 mg/kg. Figur 118 viser prøvar av utløpsvatnet der både innlekkasjevatt i tunnelen og drensvatt frå veganlegget sør for tunnelen er blanda saman. Vatnet som går ut i dette røyret har blitt prøvetatt jamleg og finst i vedlegg 17. Drensvatt frå

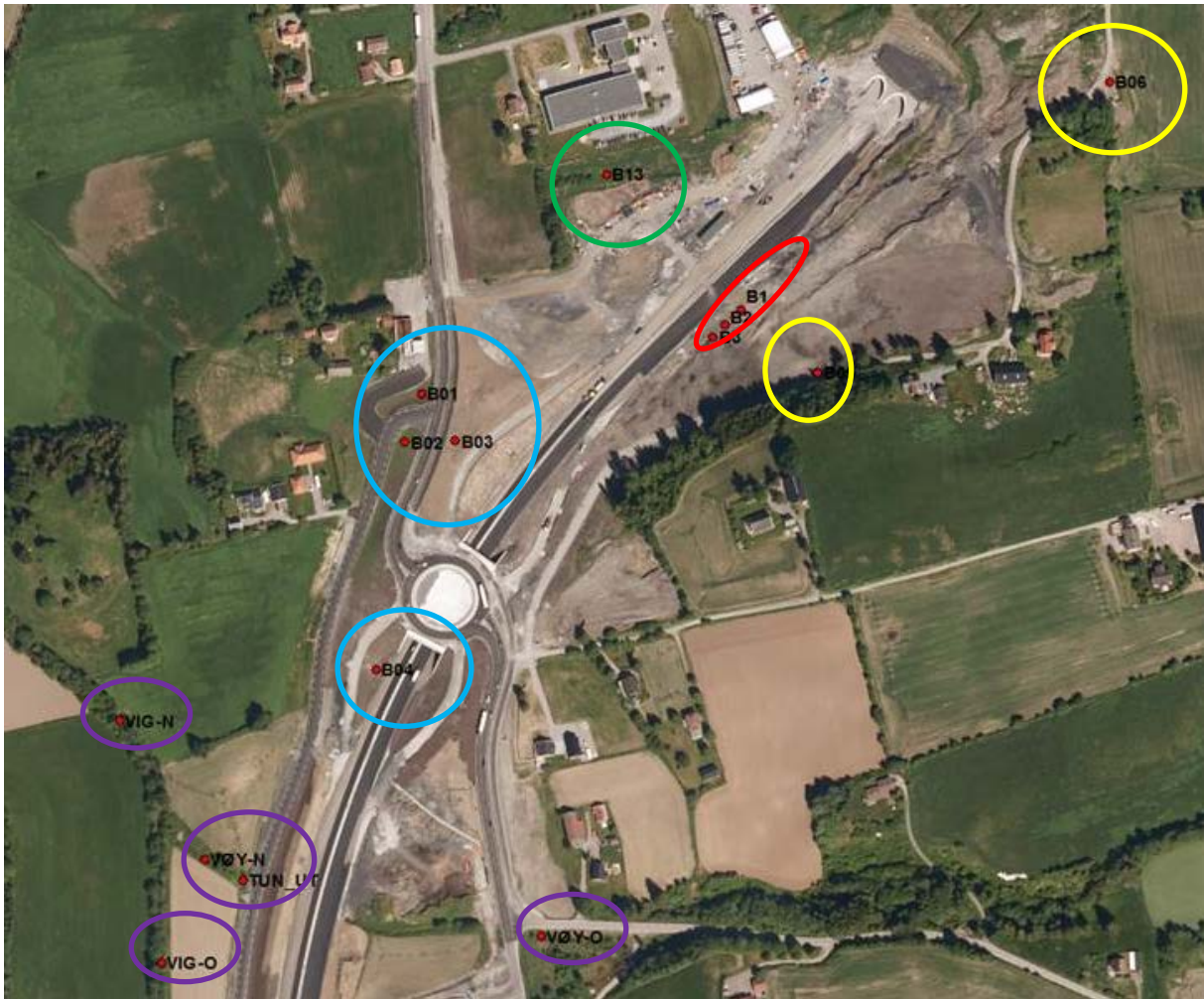
portalområdet/dagsona har generelt hatt høgare urankonsentrasjonar enn innlekkasjevattnet i tunnelen. Den høgste påviste urankonsentrasjonen frå drensuvatnet var 167 µg/L i mai 2016. Ni var på det høgste 270 µg/l i drensuvatnet i september 2016. Periodevis blei vatnet fortynna av tunnelvatnet, som hadde lågare innhald av tungmetall. Sidan pumpa som pumpar ut innlekkasjevattn frå tunnelen er nivåstyrt, går pumpa i periodar, slik at vatnet ikkje går kontinuerlig i røyret. Dette er trulig grunnen til at verdiane svingte mykje mellom prøvetakingane. Når tunnelpumpa ikkje pumpa ut innlekkasjevattn blei nikkilverdiane høgare i utløpet. Samtidig var vassføringa i utløpet låg når tunnelpumpa ikkje gjekk, og dei høge verdiane er berre så vidt sporbare i Vigga med ei auke på rundt 1 µg/l (sjå kapittel 10.2).



Figur 118. Konsentrasjonar av metalla Cd, Ni, Zn, U og Cu i utløpsvatn frå tunnel og drensøyr for overflatevatn frå området prøvetatt i perioden januar 2016 til november 2017. Drenering frå område utanfor tunnelen gir toppane med høge nikkell- og urankonsentrasjonar når pumpa med drensuvatn frå tunnelen ikkje går.

8.2.2.2. OVERVAKINGSBRØNNAR NEDSTRAUMS OG OPPSTRAUMS MASSELAGERET

Som ein del av overvåkingsprogrammet i driftsfasen blei det sett ned fem nye brønnar i tillegg til dei tre brønnane som står midt i lageret. Plassering av dei nye brønnane er vist i figur 119. Brønn 13 er den einaste brønne som har kontinuerlege data frå før, under og etter anlegg. Brønnane nedstrøms er plassert på Statens vegvesen sin eigedom, medan for brønnane oppstrøms blei det gjort avtalar med grunneigar. Brønndata er oppsummert i tabell 31.



Figur 119. Oversikt over overvåkingsbrønner i masselageret (B1, B2 og B3) og oppstrøms og nedstrøms masselageret BO1 – BO6 og B13. Brønnene som står oppstrøms er markert med gul sirkel og brønnene nedstrøms med blå sirkler. Brønnene i lageret er markert med ein raud ellipse, medan grøn sirkel viser brønn nr. 13 som blei sett ned før anleggsstart. Dei lilla ellipsane markerer prøvepunkt oppstrøms- og nedstrøms i elva Vigga, i Vøyenbekken og frå røyret der vatn frå pumpeumpen i tunnelen blir sleppt ut.

Tabell 31. Brønndata for brønner oppstrøms og nedstrøms masselageret.

	Nedstrøms				Oppstrøms		B 13
	BO1	BO2	BO3	BO4	BO5	BO6	
Kote terreng	208,137	210,758	212,728	211,229	216,058	232,524	
Kote topp brønn	208,753	211,296	213,324	211,755	216,847	233,019	
Djupn (Meter frå topp brønnrør)	8	9,4	24	12	10	9	18
Djupn (m og kote) for inntaksfilter	6 (202,7)	7 (204,3)	22 (191,3)	10 (201,8)	7 (209,8)	7 (225,5)	1-16,5
Kote for grunnvasstand (feb 2018)	204,97	205,05	205,15	203,81	210,67	226,79	

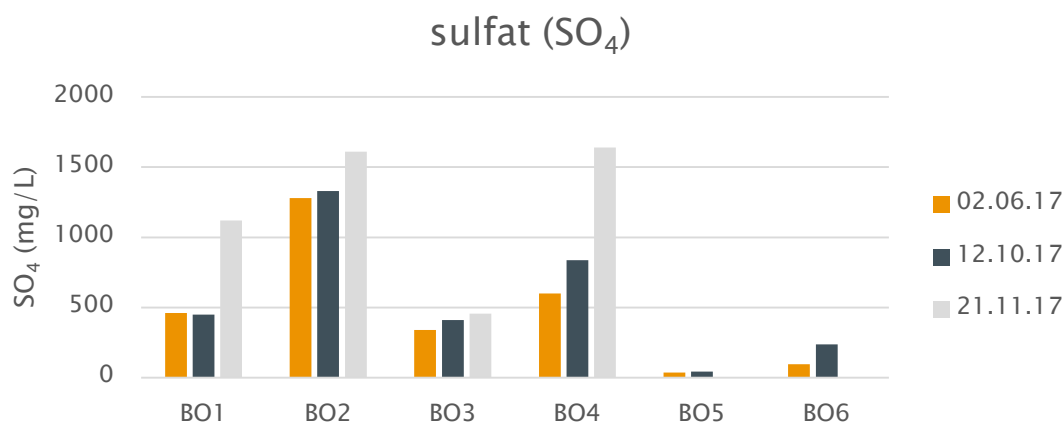
Målingar av kote for grunnvasstand i alle brønnar blei gjort i februar 2018 og er vist i figur 120. Målingane viser at grunnvatnet nedstraums masselageret ligg litt lågare enn i sjølve lageret (50–60cm). Dette indikerer at det er ein strøymingsgradient ut av lageret. Den største gradienden er frå lageret og mot brønn BO4 som ligg langs ny rv. 4 i eit område der det blei masseutskifta med frikjende steinmassar frå tunnelen (og anna god stein) heilt ned til fjell. Dette er opne massar så det er naturleg at den største strøyminga ut av lageret er under og langs ny rv. 4. Mengde vatn som kjem ut av lageret er avhengig av permeabiliteten til massane og variasjonar i grunnvasstanden.



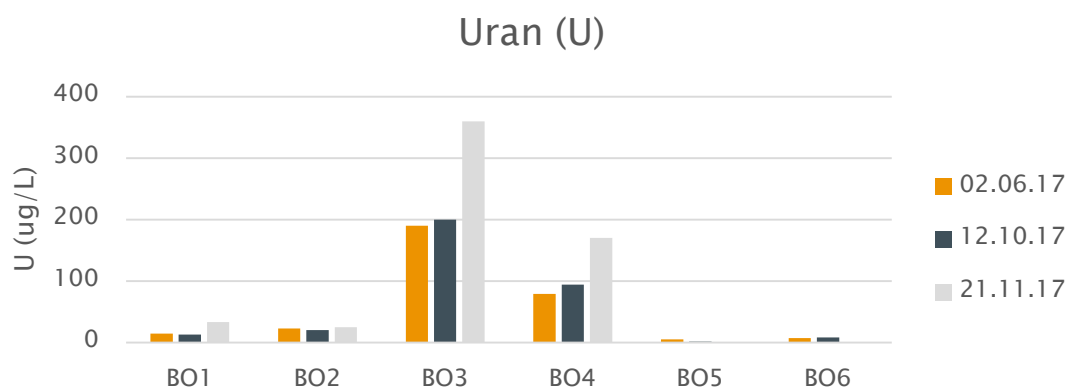
Figur 120. Registrering av grunnvasstand i overvaksingsbrønnar i (B3) og tilgrensa områder til masselageret.

Brønnane nedstraums masselageret blei prøvetatt for kjemi i juni, oktober og november 2017 og i februar 2018. Resultata frå overvakinga er gitt i vedlegg 18.1 og 18.2. Figur 121–124 viser konsentrasjonar av SO_4 , U, Zn og Ni i overvaksingsbrønnane som er sett opp rundt masselageret (prøvetatt i 2017). Figurane viser at det for sulfat, uran og nikkell er høgare konsentrasjonar i nokre brønnar nedstraums (BO1–BO4) samanlikna med brønnane oppstraums (BO5 og BO6). Verdiane er også høgare enn maks-konsentrasjonar målt for U, Ni og sulfat i brønnar i myra før anleggsperioden (som er eit bilete på bakgrunnskonsentrasjonar). Sulfat var høgast i BO1, BO2 og BO4 (opp til 1600

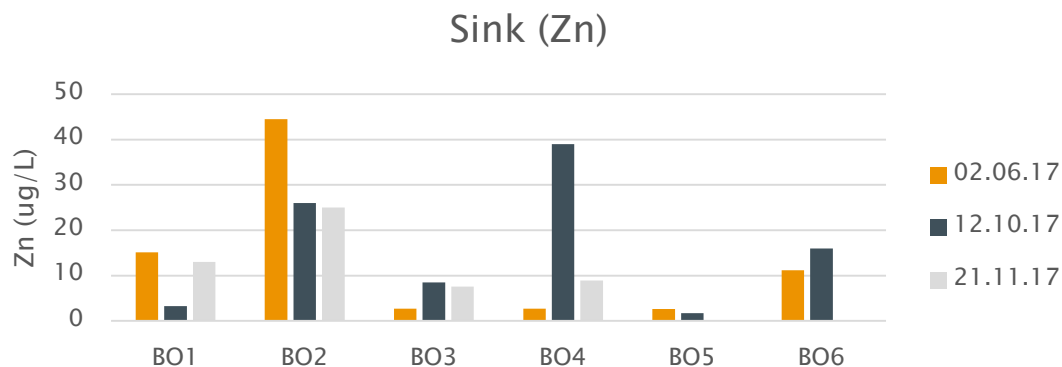
mg/l). Dette er høgare enn verdiane målt i brønnane i sjølve masselageret (B1, B2 og B3). U var høgast i BO3 (opp til 360 µg/l), medan Ni var høgast i BO2 (opp til 430 µg/l). Cd var lågt i brønnane nedstraums med verdier i klasse 2, med unntak av prøvar tatt i oktober frå brønn BO2 (0,28 µg/l) og BO4 (0,57 µg/l) som var i klasse 3. Også As var lågt i brønnane nedstraums og var under 0,5 (klasse 2) med unntak av Brønn BO3 med verdier mellom 1,1 og 3,4 µg/l (klasse 3). Zn var meir ujamt fordelt mellom brønnane, men hadde dei høgaste påviste konsentrasjonane i brønn BO2 nedstraums med 44 µg/l. Også i brønn O6 oppstraums var det forhøga verdier av Zn (16 µg/l på det høgste). Som vist i vedlegg 7 og tabell 8 var Zn også påvist i ulik grad ved brønnprøvetakingar i forundersøkingane (i 2013) av området, med maks-verdi på 144 µg/l i ein brønn som stod i området før anleggsarbeida starta.



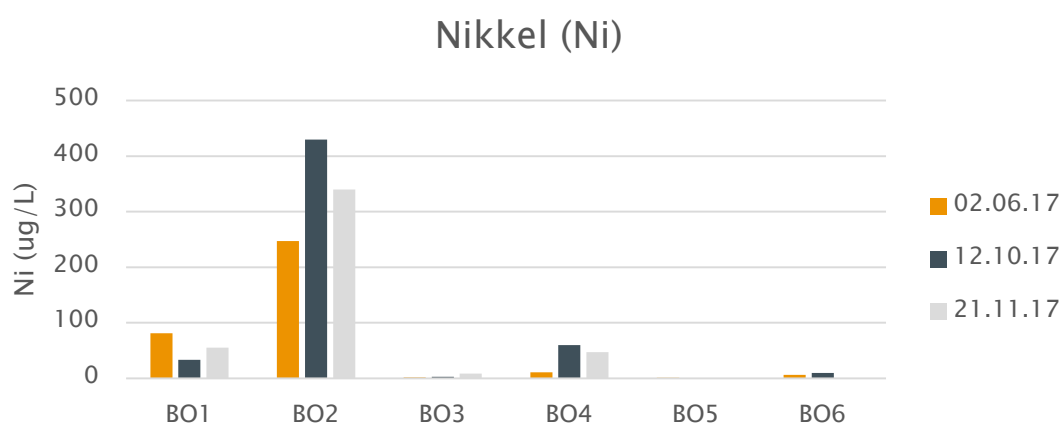
Figur 121. Sulfat (SO₄) i overvåkingsbrønnane BO1 – BO6. BO1 – BO4 er lokalisert nedstraums masselageret, medan BO5 – BO6 er lokalisert oppstraums lageret.



Figur 122. Uran (U) i overvåkingsbrønnene BO1 – BO6. BO1 – BO4 er lokalisert nedstraums masselageret, medan BO5 – BO6 er lokalisert oppstraums lageret.



Figur 123. Sink (Zn) i overvåkingsbrønnane BO1 – BO6. BO1 – BO4 er lokalisert nedstraums masselageret, medan BO5 – BO6 er lokalisert oppstraums lageret.



Figur 124. Nikkel (Ni) i overvåkingsbrønnane BO1 – BO6. BO1 – BO4 er lokalisert nedstraums masselageret, medan BO5 – BO6 er lokalisert oppstraums lageret.

Den siste prøvetakinga gjort i februar 2018 (tabell 32) viser ein tydeleg påverknad frå vegsalt i fleire av brønnane. Vassprøver frå brønningar i myra før utbygging hadde kloridverdiar mellom 5,29 – 19 mg/l. På bakgrunn av dette er det tydeleg at fleire av brønnane er sterkt påvirka av vegsalt. Dette gjeld først og fremst observasjonsbrønn BO1, BO2, BO3, BO4 som alle ligg tett inn mot og nedstraums ny rv. 4. Når det gjeld brønn BO6 ligg denne på privat grunn og har i alle tidligare vassprøver hatt eit kloridinnhald mellom 51 og 64 mg/l. Dette ser ut til å ligge over naturlege bakgrunnsverdiar og kan kome av jødsling i samband med jordbruk. I januar og februar 2018 var lufttemperaturen stort sett under null grader, med ein mildvêrsperiode i januar. Dei høge verdiane av klorid i BO2 og BO1 tyder på opne massar der smeltevatn går rett ned i brønnen. I brønn BO3, BO4 er påverknaden frå vegsalt mindre, men fortsatt markant.

Samtidig som NIBIO utførte prøvetakinga i november, målte dei også Eh/ORP, pH og oppløyst oksygen i brønnane nedstraums masselageret (Brønn BO1–O4) og i brønn B2 og B3 i masselageret. Resultata er i vedlegg 16. Målingane viste at det, som venta, var oksiderande forhold i brønnane nedstraums masselageret, bortsett frå nedst i brønn O3, som skilde seg ut med Eh på –90 og oksygenmetting på 2,8 %. Det at BO3 viser så låge verdiar for Ni og Zn kan vere relatert til lågare Eh her. Når U likevel er høg, tyder det på at U går i løysing uavhengig av sulfidoksidasjon.

Tabell 32. Oversikt over resultat frå siste prøvetaking av overvakingsbrønnar, Vøienbekken og utløp frå drensvatn tunnel og dagsone av NIBIO i februar 2018. Sjå kart i figur 119 i kapittel 8.2.2.2. for lokalisering av prøvepunkt.

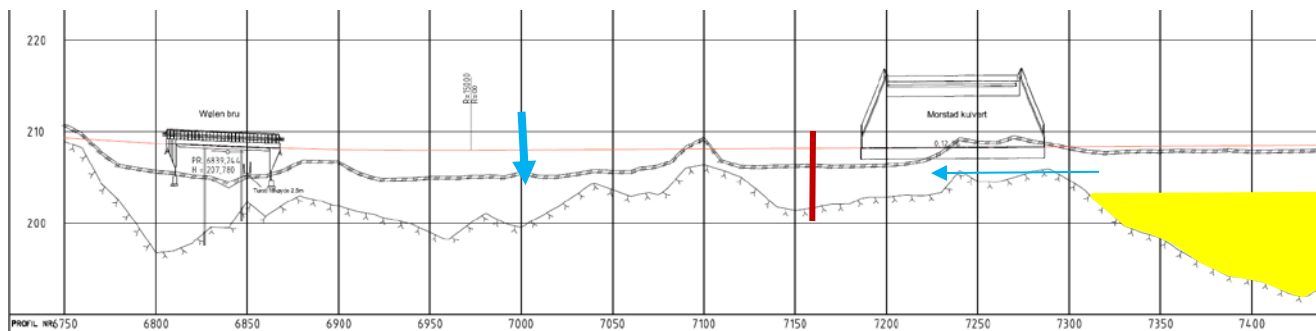
		Nedstraums masselager				Oppstraums masselager		I masselageret			Vøienbekken		utløp drensvatn
		B01	B02	B03	B04	B05	B06	B1	B2	B3	VØY-N	VØY-O	TUN-UT
pH		7,5	7,1	7,5	7,5	7,8	7,6	7,5	7,7	7,8	8,1	8,2	8,0
Konduktivitet	mS/m	165	286	117	171	57,5	123	114	92,6	63,0	45,8	40,7	160
Alkalitet til pH 4,5	mmol/l	3,2	6,2	6,9	6,3	5,4	16	7,4	5,2	5,5	3,6	2,7	7,2
Alkalinitet til pH 8, som P-alkalinitet	mmol/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suspendert stoff	mg/l	420	25	76	530	720	1900	38	730	690	< 2	5,2	< 2
Klorid (Cl)	mg/l	430	300	35	59	17	64	20	21	11	15	8,8	68
Sulfat (SO4)	mg/l	112	1040	346	665	44,3	95,3	336	278	120	59,6	28,5	443
Total Fosfor	mg/l	0,16	0,009	0,051	0,36	0,23	13	0,022	0,83	0,52	0,011	0,015	<0,003
Fosfat (PO4-P)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	2,8	<2	<2	<2	7,0	7,0	<2
Ammonium-N	µg/l	210	570	1700	97	16	730	1000	2600	140	15	21	170
Nitrat (NO3-N)	µg/l	5,7	190	<5	1900	6900	1800	210	26	8,4	4200	4200	440
Total organisk karbon (TOC)	mg/l	7,4	2,1	1,7	6,7	1,4	22	2,5	2,5	1,3	2,2	2,3	1,9
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l	2,2	1,7	1,6	1,4	0,73	13	2,6	1,8	1,3	2,2	2,3	1,6
Arsen (As)	µg/l	0,060	0,043	1,4	0,061	0,16	0,37	0,22	0,65	0,70	0,14	0,13	0,13
Bly (Pb)	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,031	<0,01	<0,01	0,018
Kadmium (Cd)	µg/l	0,013	0,036	0,044	0,071	0,005	0,023	0,072	0,087	0,018	0,010	4	0,071
Kobber (Cu)	µg/l	0,67	0,33	0,23	0,38	0,46	3,0	0,54	0,16	0,30	0,37	0,42	0,83
Krom (Cr)	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,10	0,081	<0,05	<0,050	<0,05	0,056	<0,50	<0,05
Nikkel (Ni)	µg/l	7,8	42	4,3	16	0,88	5,2	71	25	4,0	3,4	0,61	110
Sink (Zn)	µg/l	0,54	7,8	3,0	3,0	1,2	2,8	41	4,9	2,3	1,7	0,23	26
Aluminium (Al)	µg/l	1,2	< 1,0	< 1,0	1,2	3,8	1,7	< 1,0	< 1,0	1,9	6,2	6,0	< 1,0
Barium (Ba)	µg/l	44	24	48	46	48	280	25	40	97	38	29	35
Bor (B)	µg/l	33	210	120	19	21	45	79	110	73	17	14	90
Fosfor (P)	mg/l	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Jern (Fe)	µg/l	4,3	2,9	1,7	0,69	1,0	98	0,88	0,43	9,1	3,6	5,9	1,8
Kalium (K)	mg/l	13	24	8,3	6,7	2,2	59	9,9	9,7	4,0	3,8	3,2	12
Kalsium (Ca)	mg/l	110	460	230	350	130	290	280	180	140	97	86	310
Kobolt (Co)	µg/l	0,024	2,2	0,42	0,42	0,090	1,5	0,20	0,63	0,45	0,054	0,038	1,2
Magnesium (Mg)	mg/l	17	120	35	57	11	24	32	23	14	7,4	4,1	45
Mangan (Mn)	µg/l	0,10	700	460	110	5,2	7000	280	330	110	3,2	2,6	94
Molybden (Mo)	µg/l	11	1,9	220	31	0,98	4,1	110	120	23	5,1	1,6	19
Natrium (Na)	mg/l	270	210	92	99	16	33	37	56	29	13	5,1	83
Silisium (Si)	µg/l	1300	5100	5400	4100	3400	5500	4600	4300	3400	2600	3300	4200
Strontium (Sr)	µg/l	1300	6300	2400	310	460	1200	2300	2600	720	420	270	3200
Svovel (S)	mg/l	47	410	130	250	16	33	120	98	43	24	11	170
Vanadium (V)	µg/l	<0,02	0,021	0,061	<0,02	0,23	0,47	0,10	0,46	0,11	0,23	0,076	0,087
Kvikksølv (Hg)	µg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Thorium	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,10	<0,01	<0,10	<0,01	<0,10	<0,10	<0,10	<0,010
Uran (U)	µg/l	4,0	22	390	83	2,1	5,5	150	200	6,5	8,3	1,5	65

8.2.3. TOLKING AV VASSPRØVER

Vassprøvetaking i dei ulike brønnene i masselagret har vist pH-verdiar over 7 gjennom heile prøvetakingsperioden fram til november 2017, med unntak av brønn B1, som periodevis har vist verdiar rett under pH 7. pH har gått noko ned i brønn B1 og B2, samtidig som at alkaliniteten har auka. Dei djupaste delane av masselageret (representert ved brønn B3) har gunstige stabile kjemiske forhold der det er lite forvitring av skifermassane. Her har uranverdiar vore stabile og under 10 µg/L gjennom prøvetakingsperioden. I brønn B1, som er grunnast, finn vi dei høgste tungmetallkonsentrasjonene og sulfatverdiane, som indikerer at det skjer sulfidoksidasjon. U og Mo har på den andre sida gått vesentleg ned i brønn B1, og nedgang har også skjedd for As, Cd og Cu. Dette kan vere eit teikn på at det skjer ei instilling mot likevekt mot meir gunstige forhold, som hindrar mobilisering av metall.

Samtidig har Ni og Zn hatt ein meir aukande trend, og sulfat har vore relativt stabil i brønn B1. Dette må følgjast med på vidare. Ni og Zn er venta å vere bunde i sulfid, og følgeleg er det venta å sjå ein samanheng mellom desse metalla og sulfat. Børresen (2017) fant derimot ingen sulfidmineral med nikkell i sine undersøkingar av alunskiferen frå Gran og påpeikar at Ni i staden kan vere bunde i organisk materiale. På den andre sida rapporterte Hagelia (2005) høgt innhald av nikkelsulfidet pentlanditt i ei kaksprøve av alunskifer. Terefe (2016) rapporterte vidare at sinkulfidet sphaleritt (sinkblendende) var vanleg i alle prøvene ho analyserte.

Målt nivå for vasstand i alle brønnane indikerer at det er ein strøymingsgradient ut av masselageret. Gradienten er størst mot observasjonsbrønn BO4 som ligg nærmast ny rv. 4 der det er masseutskifta med vesentleg meir opne massar samanlikna med stadlege massar i områda rundt. Figur 125 viser eit lengdesnitt frå masselageret, via Morstadkulverten og til Vøienbrua som kryssar Vigga. Figuren indikerer nivå for vegbana, tidligare trereng- og bergoverflate, i snittet under senterlinje mellom dei to vegbanene. Vøienbekken kryssar rv. 4 i ca. profil 7000. Denne bekken vil vere nærmaste resipient for vatn som transporteres fra masselageret og gjennom steinfyllinga under ny rv. 4. Det er etablert målepunkt oppstraums og nedstraums bekken slik at ein kan følge med på vasskvaliteten. Det er forventa at grunnvasstrøyminga gir små bidrag. Avstand frå brønn BO4 til Vøienbekken er over 150 m (Figur 125).



Figur 125 Lengdesnitt frå Morstadkulvert til Wøien bru som går over Vigga. Snittet er tatt under senterlinja mellom dei to vegbanene. Vøienbekken kryssar vegen i ca. profil 700 (lodrett blå pil). Observasjonsbrønn BO4 (vist med tjukk raud strek) er plassert i vegskulder frå kulverten ned mot rv.4. Brønnen går litt ned i berg. Tynn raud strek markerer overflata på vegbana, under dette vises tidligare terreng medan kurven under der er antatt bergoverflate. Sjølve masselageret går opp til kote 203 og er markert med gult i figuren.

Logging av grunnvasstanden i sjølve masselageret er skildra i avsnitt 8.2.1.3. Denne viser at grunnvasstanden er påverka av årstidsvariasjonar og at vegdreneringa sørger for at vassstanden sjeldan kjem over ca. kote 206,2. Sjølv om brønnane har lokk, blir dei likevel utsett for tilgang på luft frå toppen. Dermed er ikkje vatnet i brønnane nødvendigvis heilt representativt for vatnet i sjølve lageret, som er dekkja med fleire meter massar som hindrar lufttilgang. Ut frå dette kan det vere at vatnet i sjølve masselageret har gunstigare Eh-verdiar enn dei som er målt i brønnane. Forståinga av oksidasjons- og reduksjonsprosessane er komplekse. Ingen av prosessane kan ventast å vere i likevekt, sidan mange redoks-reaksjonar ofte går sakte frå naturen si side. Spesielle mikrobiologiske organismar i jord kan til dømes bidra til å akselerere graden av sulfidoksidering. Det er til dømes usikkert i kor stor grad biologisk aktivitet spelar inn på oksideringa av sulfid.

Vatnet i dei øvre delane av masselageret har eit forhøga tungmetallinnhald samanlikna med dei opphavelge bakgrunnsverdiarne. Dette kan skuldast at masselageret ikkje har ei tilstrekkeleg tett overdekking. Temperaturmålingene indikerer at toppen av masselageret er spesielt utsett i periodar med snøsmelting og mykje nedbør. Lenger ned er det vesentleg meir stabile forhold. Sidan det også er brukt noko svarte og mørke leirskifrar med naturleg høge metallkonsentrasjonar i fyllmassar over dei deponipliktige massane (sannsynlegvis Elnes- og Hagabergformasjonen og Galgebergledet), må vi vente at drensvatn som går igjennom desse massane har ein kjemisk samansetting som speglar dei ulike skifrane. Utlekkingsforsøket i friluft med alunskifer og galgebergskifer frå Granstunnelen (Fjermestad, Hagelia & Thomassen, 2017) viste at ved optimale

forvittringsforhold kan høge konsentrasjonar av sulfat og uran oppstå i kontakt med galgebergskifer med høgt svovel og tungmetallinnhald.

I slutten av deponeringa av alunskifer sommaren 2015 blei noko alunskifer deponert i området under rampa mot brønnane BO1, BO2 og BO3. Brønn BO3 er plassert nærme rampa og viser dei klart høgste uranverdiane. Dette indikerer at brønnen er plassert i deponert alunskifer på randen av grensa for masselageret. Alle overvakingsbrønnane nedstraums masselageret (BO1– BO4) viser at sulfatkonsentrasjonane i grunnvatnet her er høgare her enn i sjølve masselageret. Det høge innhaldet av sulfat (det høgste vi har registrert –omkring 1500 mg/l), kombinert med nær nøytrale pH-verdiar (6,8 – 7,5) og varierende men tydeleg tungmetallmobilisering tyder på at det her er snakk om sulfidoksidasjon. Alunskifer er den mest sannsynlege bidragsytaren, også spesielt i lys av høge urankonsentrasjonar i BO3 og BO4 (ca 80 til 350 µg/l). Brønn BO4 skal derimot ikkje stå i alunskifer. Denne brønnen er plassert eit godt stykke utanfor masselagerområdet der bergoverflata ligg rundt kote 203. Dei høge konsentrasjonane indikerer at brønnen mottar vatn frå masser som er påverka av alunskifer og eventuelt også galgebergskifer. Ulik vasskjemi mellom dei fire brønnane kan tyde på liten strøyming og at vasskjemien er meir prega av lokale forhold rundt kvar brønn. Massane som er brukt i oppbygging av rampane er vesentlig meir opne enn massane over sjølve lageret. Dette vil føre til ein større tilgang av oksygenrikt overflatevatn som lokalt kan endre grunnvasskjemien. Figur 126 viser brønn BO3 og BO4. Overvaking og prøvetaking i åra framover vil gi oss betre innsikt.



Figur 126. Bilete til venstre viser brønn BO4 og bilete til høgre brønn BO3.

Totalt sett er vasstransporten gjennom dei utlagde massane i vegfyllinga begrensa der mengda vatn som lekk ut vil variere med årstida og nedbør.

Prøvetaking i Vøienbekken og Vigga har vist låge metallkonsentrasjonar, og er lite synleg påverka. Grunnvatnet sin kjemiske tilstand og strøymingsforholda er noko vi vil følgje med på i tida framover gjennom overvakinga. Vi vil vurdere å sette ned ein brønn til i dette området for å få ein betre oversikt over korleis grunnvatnet bevegar seg gjennom vegfylling og langs bergoverflata. For å få eit mål på hydraulisk konduktivitet i massane mellom brønnane kan ein utføre ein pumpetest.

9. UTSLEPP AV ANLEGGSVATN

9.1. Drivevatn frå tunnel

9.1.1. UTSLEPPSLØYVE FOR TUNNELDRIVEVATN

I samband med prosjektet rv.4 Gran grense – Jaren blei det av Fylkesmannen i Oppland innvilga utsleppsløyve for drive- og vaskevatt frå anleggs- og driftsfasen, datert 19.11.2013 (Fylkesmannen i Oppland, 2013). Ei utvida liste med metall var inkludert i utsleppsløyvet, noko som medførte ein utvida kontroll av utsleppsvatnet. Vidare var det krav om kontinuerleg overvaking av temperatur, pH og suspendert stoff i reinsa vatn frå midlertidig reinseanlegg tunnel. Etter fleire overskridingar av Ni, Zn, Cr, Cu og ammoniakk (NH₃) i utsleppsvatnet, blei desse grenseverdiane omsøkte i søknad datert 27.06.2014 (Statens vegvesen, 2014). Desse verdiane gjaldt berre når Vigga hadde vassføring over 0,5 m³. I vurdering av prøveresultata la vi oss på eit konservativt nivå, og gjorde vurderingar der vi såg at grenseverdiane blei overstige, ved å evaluere verdiane i forhold til vassføringa i Vigga, som var mottakande resipient for tunneldrivevatnet.

Det blei utarbeida ein sluttrapport for Reinseanlegget for tunneldrivevatnet, «Sluttrapport utsleppstillatelse for midlertidig reinseanlegg Grantunnelen», i 2015 som blei sendt til Fylkesmannen i Oppland (Rapporten er vedlagt som vedlegg 19). I rapporten blei det rapportert på korleis utsleppskrava blei overhaldd med relevante målingar og vassprøver vedlagt. Behandling av tunneldrivevatnet og rapportering i samband med utsleppsløyvet til Fylkesmannen i Oppland inngår ikkje som ein direkte del av løyvet frå Miljødirektoratet/Statens strålevern, men eit samandrag frå

sluttrapporten er skildra i dei neste kapitla, sidan mykje er relatert til temaet i denne rapporten.

9.1.2. REINSEANLEGG

Som midlertidig reinseanlegg for tunneldrivevatn i anleggsperioden nytta entreprenøren eit konteinerbasert renseanlegg levert av Containertech. Reinseanlegget var eit standard reinseanlegg for tunneldrivevatn. Avløpsrøyr frå anlegget blei leia til eksisterande overvasskum og vatnet rann deretter vidare til Vigga.

Reinseanlegget bestod av sedimentasjonscontainarar med oljeutskiljar, før det blei leia inn i eining for syredosering. Her blei saltsyre (HCl 34%) brukt til å justere pH (i ein startfase blei svovelsyre nytta som syrejusteringsmiddel). Etter pH-justering blei vatnet leia gjennom eit filtermedium før det blei pumpa ut til resipient.

Reinseanlegget var i drift i perioden frå veke 48 2013 til veke 43 2015. Tunnelens drivefase (då det pågjekk sprengningsarbeid) var frå veke 48 i 2013 til veke 22 i 2015. Totalt var reinseanlegget i drift i ca. 90 veker.

Totalt blei det slept ut 125 110 m³ reinsa tunneldrivevatn. Det gjennomsnittlige utsleppet var ca. 1400 m³/veke (ca.200 m³/d eller ca. 8 m³/t). Ikkje alle dagar var driftsdagar. Reinseanlegget var dimensjonert for 40 m³/t. Vassføringa på utsleppet var veldig varierende, og det førekom periodar der belastninga av reinseanlegget var over 40 m³/t.

9.1.3. VEKEBLANDPRØVER

Det blei tatt ut mengdeproporsjonale blandprøver av reinsa vatn som gjekk til overvassnett og ut til Vigga. Ved uttak av blandprøva stod behaldaren ei veke i reinseanlegget (romtemperatur – avhengig av vifta sin funksjon), der den mottok delprøver av vatnet som gjekk ut. Prøvekvaliteten vil dermed vere påverka av dette, sidan spesielt temperatur vil påverke tilstandsformen til nokre parameterar. Temperatur har for eksempel stor effekt på andel ammoniakk ein måler i prøven. Samtidig blei prøven lufta (ikkje forseгла) under perioden når prøven blei samla opp. Tabell 33 viser oversikt over gjennomsnitt, maks, min og estimert totalt utslepp frå reinseanlegget for tunneldrivevatn.

Tabell 33. Viser utrekna mengde totalutslepp frå reinseanlegget i perioden veke 48, 2013 – veke 43, 2015 for utvalde parameterar. pH har ikkje reell snittverdi, då pH er i logaritmisk skala. 8 er median pH. Ved konsentrasjonar under rapporteringsgrense blei halvparten av konsentrasjonen brukt i utrekninga av gjennomsnitt og totalt utslepp. Utsleppsgrenser for aktuelle parameter sett av Fylkesmannen i Oppland (FMO) er oppgitt i siste kolonne. Talla i parentes er omsøkte grenseverdier i SVVs søknad til FMO, datert 27.06.14. Raude tall viser verdier over utsleppsgrensa.

Parameter	Eining	Gjennomsnitt	Max	Min	n	Totalt utslepp (Kg)	Utsleppsgrense (FMO)
pH		8,0	9,9	6,9	90		>6 og <8,5
Sum PAH-16	µg/l	0,030	0,77	0,014	17*	0,018	
Ammoniakk (NH ₃)	mg/l	0,24	3,37	< 0,003	68	29	0,05 (3,5)
Ammonium (NH ₄)	mg/l	9,2	35	0,01	85	1100	
P-total	mg/l	0,12	1,61	0,002	77	14	5
Suspendert stoff	mg/l	68	820	1	89	8100	100
N-total	mg/l	35	134	4	85	4100	
As (Arsen)	µg/l	1,4	2,7	0	88	0,17	8,5
Cd (Kadmium)	µg/l	0,19	0,57	0,04	81	0,02	1,5
Cr (Krom)	µg/l	6,1	32,5	0,3	88	0,7	3,4 (15)
Cu (Kopar)	µg/l	4,9	60,5	0,5	89	0,6	7,8 (25)
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,0	
Ni (Nikkel)	µg/l	10,2	65,2	0,7	90	1,2	34 (100)
Pb (Bly)	µg/l	0,4	4,1	0,4	17*	0,04	14
U (Uran)	µg/l	10,0	32,5	0,3	82	1,2	
Zn (Sink)	µg/l	127	6060	< 2	90	15	11 (35)
Fraksjon C5-C40 (sum)	µg/l	57	855	63	24*	6,7	5000

* Få målingar, ein stor andel under LOD og er dermed ikkje med i utrekninga av gjennomsnitt, dvs snittverdien er i realiteten mykje lågare.

Parameter som i nokre veker overskreid verdier i det opphavelige utsleppsløvet var (min og maks i parentes): pH (6,9 – 9,9), ammoniakk (<0,003–3,37 mg/l), suspendert stoff (1–820 mg/l), krom (0,3–32,5 µg/l), Kopar (0,5–60,5 µg/l), nikkel (0,7–65,2 µg/l) og sink (<2 – 6060 µg/l). Det er usikkert kva den høge sink-verdien i ei vassprøve skuldast. Det er mogleg at grunnstoff som krom, kopar og sink også kan stamme frå betong nytta i tunnelen.

Eit tilbakevendande problem var høg turbiditet (suspendert stoff) i utsleppsvatnet. Etter ein periode med høgare konsentrasjonar av suspendert stoff i tunneldrivevatnet blei det frå mars 2014 nytta grøfter til sedimentering inne i tunnelen, og det blei starta med tilsetjing av PAX (fellingskjemikalie) til vatnet før det blei sleppt på reinseanlegget. Etter dette blei turbiditetsverdiane reduserte. Utsleppsvatnet blei overvaka ved kontinuerlege målingar, og resultatane frå desse målingane er å finne i Sluttrapporten for Reinseanlegget for Granstunnelen i Vedlegg 19.

Etter at drivinga av tunnelen var avslutta høsten 2015, blei vatnet frå tunnelen reinare og det var ikkje lenger behov for reinsing. Likevel blei det framleis tatt regelmessige stikkprøvar av innlekkasjevatnet i pumpesumpen, som blei pumpa ut til Vigga. Statens vegvesens stikkprøver frå innlekkasjevatnet finst i vedlegg 17. Generelt var pH mellom 7 og 8,5 i dette vatnet. Vatnet har hatt en signatur frå svare skifrar ved at nikkel, sink og uran er noko forhøga (U: opp til 51 mg/l, Ni: opp til 31 µg/l, Zn: opp til 49 µg/l (enkeltmåling på 250µg/l er truleg eit avvik). Samtidig kan betong også bidra til å auke konsentrasjonar av fleire metall som også overlappar med svarte og mørke skifrar sitt fingeravtrykk i vassfasen. Innlekkasjevatnet frå tunnelen er også omtala i kapittel 8.2.2.1 (Drensvatn frå område sør for tunnel).

9.1.4. TOLKING/KONSEKVEN SAR

Det var fleire utfordringar når det gjaldt drifta av reinseanlegget gjennom tunneldriveperioden. På grunn av svartskiferfjell (etasje 2 t.o.m. 4a) i tunnelen blei det generert vatn med mykje finpartikulert materiale, som det var vanskeleg å reinse. I tillegg kravde reinseanlegget mykje ettersyn, men blei imidlertid ikkje fulgt opp i tilstrekkeleg grad av entreprenøren. Ei stor utfordring var mangelfull rapportering om avvik frå rutinar i reinseanlegget og mangel på forklaringar rundt avvikshendingar frå entreprenøren. I tillegg var det lite fortløp i rapportering av vassprøvar, og heller ingen forklaring/tolking av vassprøvar opp mot grenseverdiane.

Vekeblandprøver for reinsa tunneldrivevatn viste periodiske overskridingar av utsleppsgrensene for pH, ammoniakk (NH₃) og metalla Cr, Cu, Ni og Zn. Ni og Zn er vanlege grunnstoff som kan kome ut i frå svarte skifrar. Ein må i tillegg gå ut ifrå at betong også kan påverke kjemien i vatnet. Overskridingar for turbiditet og metall skjedde oftast i perioden frå starten av februar 2014 til april 2014 inntil PAX-tilsettinga

starta å fungere. I vekeblandprøvene var det få overskridingar av turbiditet, men målingane av turbiditet frå entreprenøren si eiga kontinuerlege overvaking av turbiditet i utløpsvatnet viser at det periodisk var høg belastning av partiklar i vatnet som gjekk ut av reinseanlegget. Det var usemje mellom entreprenør og SVV om rutine for varsling og betydinga av forhøga verdiar når snittet på vekeblendeprøver var under kravet.

Påverknad på Vigga er omtalt i kapittel 10.2. Generelt viste resultatane frå vassprøvar i Vigga nedstraums utsleppspunkt for reinsa tunneldrivevatn små forskjellar samanlikna med konsentrasjonane oppstraums prøvepunkt. Dei passive prøvetakarane (DGT-ane) viste også liten forskjell i metallkonsentrasjonar mellom oppstraums og nedstraums prøvepunkt i elva.

Alle påviste konsentrasjonar av ammoniakk (NH_3) i blandprøvene frå reinseanlegget var under den omsøkte grenseverdien på 3,5 mg/l. Overvaking av pH og vassstemperatur frå den kontinuerlege overvakinga i Vigga indikerte at det stort sett har vore liten fare for danning av toksisk ammoniakk i elva under måleperioden. Episodane med størst potensiale for uheldig danning av NH_3 oppstod på sommaren, med låg vassføring og dårleg resipientkapasitet.

Turbiditet forårsaka av anleggsdrifta er antatt å vere ein parameter som kan ha påført lokale og kortvarige negative miljøeffektar i Vigga. Det er imidlertid ikkje forventa merkbar biologiske endringar i elva som følgje av dokumenterte anleggsskapte episodar.

9.2. Utpumpa vatn frå område for masselager

9.2.1. UTSLEPPSKRAV OG FORVENTA KVALITET PÅ VATN I BYGGEGROP

For utpumping av vatn til Vigga frå open byggegrop gjaldt utsleppsgrensene som var sett i utsleppsløyvet frå Fylkesmannen i Oppland. Det blei etablert eit reinseanlegg som skulle reinse utpumpa alunskiferpåverka vatn frå byggegropa, og vatnet blei regelmessig prøvetatt for å sikre at utsleppsvatn var i samsvar med grenseverdiar sett i utsleppsløyvet. Påslepp av utpumpa vatn frå masselageret var rundt 50 meter ovanfor målepunktet «Vigga midt» i overvakingssystemet. Vi hadde ikkje grenseverdiar for uran i utsleppstillatelsen, men uran er derimot ein viktig komponent som kan bidra til

kjemisk og radioaktiv forureining i miljøet. I tillegg er det saman med m.a. Ni, Mo, Zn, Cd og As eit viktig grunnstoff for å vurdere *Neutral Rock Drainage* (NRD). Å overvake utslepp av uran var også eit fokus i løyvet frå Statens strålevern. Vi tok utgangspunkt i at konsentrasjonane etter utslepp i Vigga ikkje skulle overstige 15 µg/l, som er den Canadiske grenseverdien for langtids eksponering av akvatisk liv i ferskvatn (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2011). Det blei utført estimat på konsentrasjonane i Vigga basert på prøver av vatnet i den opne byggegropa, mengde/rate utpumpa vatn, og vassføring i Vigga sjå kap 9.2.4. På bakgrunn av resultat frå utlekkingsforsøket utført på alunskifer frå området (Fjermestad, Hagelia, & Thomassen, 2017), førebudde vi oss på svært høge verdiar i vatnet (worst case scenario), og valde reinsemetode på bakgrunn av dette.

9.2.2. REINSEANLEGG FOR UTPUMPA VATN FRÅ MASSELAGERET

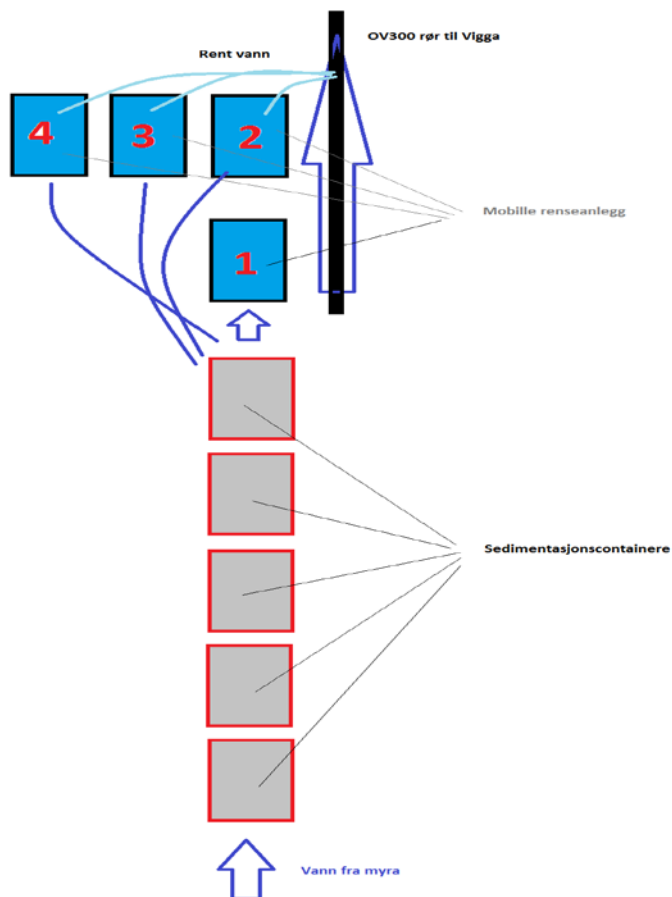
I 2014 blei det pumpa ut noko vatn frå byggegropa, men målingar viste låge konsentrasjonar av metall då. På dette tidspunktet gjekk vatnet gjennom sedimentasjonskonteinrar før utslepp. Vi førebudde oss på at vatnet i byggegropa, etter kvart som meir alunskifer blei deponert når tunnelen nådde sona med alunskifer, kunne innehalde vatn med høge tungmetallkonsentrasjonar, inkludert uran. Det blei dermed bestemt å skaffe eit reinseanlegg for vatn som måtte pumpast ut av området medan masseutskiftinga pågjekk. Eit anlegg frå Nordisk Vannteknikk blei vald. Anlegget hadde forsedimentering i fire seriekopla containrar på 30 m³ per stykk og tre stk mobile reinseanlegg på 18 m³ per stykk med tilsetjing av kjemisk fellingsmiddel (figur 127) før vatnet gjekk gjennom eit filter før utslepp. Figur 128 viser ei skisse av reinseanlegget. Reinseprosessen var basert på sedimentering og «flokkulering», dvs. at partiklane ved hjelp av eit flokkuleringsmiddel skulle binde seg saman til større einingar som deretter skulle filtrerast ut før vatnet blei sloppe ut til resipient. Oppgitt kapasitet for reinseanlegget var på opp mot 400 m³ per døgn eller 20–72 m³/t (ved fire containrar á 5–18 m³/t). Dette var avhengig av partikkelinnhald i vatnet.



Figur 127. Reinsekonteinarar frå Nordisk vannteknikk.

Det var vanskeleg å finne gode reinsemetodar for uran på markedet. Etter anbefaling frå Nordisk Vannteknikk blei fellingsmiddelet «Polyclay 815» vald som sorbent. Det var basert på bentonitt iblanda kol og var ei blanding av 60% polyclay 603 og 40 % polyclay 806. Kjemikaliet hadde vist at det kunne reinse partikkelrikt vatn i enkle laborieforsøk (Nordisk vannteknikk, 2014). Ulike typar av Polyclay blei også testa via NORWAT med positive resultat (Salbu, et al., 2013). I notatet frå 2013 blei det sagt at «Bentonitt ansees også å være en velegnet sorbent for uran og metall på grunn av funksjonelle grupper som binder metall effektivt ved pH rundt 7 og ved temperatur rundt 20°C». I deira forsøk viste Polyclay 810 best resultat; 1 g Polyclay 810/L viste 22% reduksjon av U, medan 6 g Polyclay 810/l viste 67 % reduksjon av U ved 2 timars flokkulering/sedimentering. NORWAT var på denne tida i gang med fleire testar av ulike sorbentar for å fjerne uran frå vatn, men undersøkingane var ikkje ferdigstilte.

Anlegget hadde ingen pH-regulering fordi pH aldri hadde vist låge konsentrasjonar i områda med alunskifer, men det var mogleg å installere det ved behov.



Figur 128. Skisse av reinseanlegget og dei ulike reinsetrinna. Det var fire sedimentasjonskonteinrarar. Kvar av dei fire flokkuleringskammera hadde kapasitet på 5 –18 m³/t.

9.2.3. DRIFTING AV ANLEGGET

Utpumpa vatn frå masselageret blei sendt gjennom sedimentasjonskonteinrarane før utlepp. Reinsetrinnet med tilsetjing av flokkuleringsmiddel blei totalt sett lite brukt. Grunnen til dette var ein kombinasjon av at:

- vassprøvar i vatnet ut viste konsentrasjonar under utleppstillatelsen frå FMO, bortsett frå Cd i prøvar tekne i vatnet frå 20. mai som viste maks 2,3 µg/l (utleppsløyvet var 1,5 µg/l).
- estimerte konsentrasjonar av uran i Vigga basert på konsentrasjonar i utlepptet utgjorde ikkje ein fare for negative konsekvensar i Vigga.
- det var for lite partiklar i utleppsvatnet, slik at flokkuleringa ikkje fungerte optimalt, noko som igjen førte til at filteret i siste reinsetrinn tetta seg.

Statens vegvesen tok sjølv ansvaret for å drifte anlegget. Entreprenøren hadde ansvar for pumpa og pumpeleidningane fram til reinseanlegget.

Det blei pumpa ut vatn frå masselageret periodevis frå midten av februar 2015 til slutten av juni 2015, tilsaman ca. 100 dagar. Det blei nytta ei pumpe med maksimal kapasitet på 23 liter per sekund for å pumpe vatn frå masselageret og ut i Vigga gjennom reinseanlegget. I to periodar i februar og mars 2015 blei ei større pumpe brukt med maks kapasitet på 71 l/sek. Denne pumpa var i bruk totalt 15 dagar, men blei tatt ut då pumpinga gav auka potensial for høgare urankonsentrasjonar nedstraums i Vigga ved låg vassføring. Ved full pumping blei reell mengde vatn som blei pumpa ut noko lågare enn oppgitt maks-kapasitet til pumpa. For å få ned pumperaten blei pumperøyret strupa i ulik grad, slik at ein mindre andel vatn blei pumpa ut. Det blei undersøkt at å strupe 80 % av røyret gav best reinseeffekten (for pumpa med pumperate på 23 l/sek).

I fleire periodar gjekk vatnet berre gjennom sedimenteringskonteinarene og ikkje dei siste reinsetrinna. Ein av årsakene til dette var at vatnet periodevis var for reint (for lite partiklar i vatnet), slik at filtra tetta seg ved at det ikkje blei danna store nok «flokkar» og filtreringsmattene i reinsekonteinaren tetta seg. Den naturlege «flokkuleringsprosessen» skildra i kapittel 8.1.3 og naturleg sedimentasjon i masselageret medverka til at det vatnet som kom inn i reinseanlegget hadde for låg turbiditet til at den kunstige flokkuleringsprosessen fungerte optimalt. Denne «naturlege reinsinga» bidrog altså til at effekten av dei «kunstige» reinseanlegga blei begrensa.

Om vinteren blei det eit problem med is i miksekonteinaren, og det førte til at konteinarene måtte vinterisolerast.

9.2.4. PRØVAR AV UTSLEPPSVATN OG REINSEEFFEKT

Det blei regelmessig tatt prøver av vatnet som blei pumpa ut frå masselageret (sjå figur 130 og tabell 34 og 35). Fullstendig oversikt er gitt i vedlegg 20.

Innhaldet av kadmium og uran i vatnet ut frå myra auka mot slutten av masseutskiftinga (sjå kapittel 8.1.1). 19. mai starta utpumping av vatn frå myra etter eit opphald frå 22. april. Vassmengda som blei pumpa ut frå myra etter dette var frå 4 – 20 L/s. Vatnet var for det meste klart, og gjekk dermed ikkje gjennom reanseanlegget (kun

sedimentasjonskammer). Prøvetaking i vatnet ut frå myra 20. mai viste ein kadmiumkonsentrasjon på 2,8 µg/L. 4. juni var den 2,25 µg/L. Utsleppsgrensa var på 1,5 µg/L. I sjølve myra blei det målt 3,84 µg Cd/L på det høgste (20. mai). I same analysen var konsentrasjonen av U på 225 µg/L og Mo var høgt med 4600 µg/L. Pb, Zn, Cu, Cr og As viste forholdsvis låge verdiar i vatnet ut frå myra. I Vigga var det høg vassføring i dene perioden, noko som medførte liten risiko for vassmiljøet.

Deponering av alunskifer rett ved pumpa ut frå myra og merksemd rundt høge kadmiumverdiar, gjorde at det utpumpa vatnet igjen blei leia via reinseanlegget (med alle reinsetrinna) frå 18. juni. Då var vatnet turbid og mørkt på farge på grunn av deponering av alunskifer rett ved pumpa (figur 129). Pumpa gjekk då med lågare kapasitet (rundt 4 l/sek). I denne samanhengen blei det tatt inn- og ut prøver frå reinseanlegget og sendt til analyse. Vatnet før og etter reinsing hadde tydeleg fargeforskjell. Dette tyda på at reinseanlegget ved sedimentasjon og bruk av fellingskemikalie hadde god effekt på å reinse suspendert stoff. Sannsynlegvis bidrog den låge pumperaten til at reinseanlegget ikkje blei overbelasta, og dermed god tilbakehalding av suspendert stoff. Reinseffekten for metall var derimot variabel. Analysane for reinsa vatn viste ein liten nedgang for mellom anna U og Cd med rundt 20 % nedgang og Ni på 66 % nedgang. Andre metall som t.d. Mo hadde ingen vesentleg reduksjon. Kanskje hadde reinseffekten for metall vorte betre ved ei endå lenger opphaldstid i flokkuleringskammeret eller ved meir Polyclay per liter vatn.



Figur 129. 18. juni blei alunskifer på mellomlageret fylt rett ved pumpa. Då var vatnet ganske turbid i sedimentasjonskonteinarane, og reinseanlegget blei starta. Som følge av skiferdeponering like ved, hadde vassprøven eit høgt innhald av suspendert stoff. Den blå slangen til venstre, blei brukt ved utpumping av vatn frå masselageret.

Tabell 34. Prøver tatt i innløp til og utløp frå reinseanlegget i 2014 og 2015. Prøvene tatt 18.06 gjekk igjennom alle reinsetrinna, også i steget med fellingskjemikaliet polyclay. Dei resterande prøvene gjekk berre gjennom sedimentasjonskonteinrarar. RA= Reinseanlegg

Parameter		RA inn 06.06.14	RA ut 06.06.14	RA inn 23.01.15	RA ut 23.01.15	RA inn juni 15	RA ut juni 15	RA inn 18.06.15	RA ut 18.06.15
Suspendert stoff	mg/l	1100	770	19	18			133	16
pH		7,5	7,9	7,3	7,7	7,6	7,8	8,0	7,8
Alkalinitet pH 4,5	mmol/l	6,5	5,8	4,7	4,9				
Ledningsevne	µS/cm	740	740	1320	1370	1236	1165	134	136
TOC	mg/l	3,3	3,6	2,7	2,9	1,5	1,2	0,65	0,71
Klorid	mg/l	23	23	37	41	23	25	22	23
Nitrat-N	mg/l	2,0	2,0	5,1	5,3	42	32	7,55	8,06
Sulfat	mg/l	130	160	400	440	340	330	510	520
Al (Aluminium)	µg/l	0,004	0,008	300	310	1400	210	19	130
As (Arsen)	µg/l	0,44	1,2	2,5	2,2	6,9	5,8	1,9	0,43
B (Bor)	µg/l	84	93	65	63			98	96
Ba (Barium)	µg/l	210	190	220	210			72	73
Ca (Kalsium)	mg/l	110	110	170	160	120	100	124	129
Cd (Kadmium)	µg/l	0,18	0,20	0,24	0,27	0,32	0,12	2,3	1,8
Co (Kobolt)	µg/l	0,08	0,20	1,2	1,1	2,0	0,54	0,42	0,29
Cr (Krom)	µg/l	0,01	0,01	0,48	0,38			<0,005	0,055
Cu (Kopper)	µg/l	0,80	1,2	1,7	2,6	5,7	1,4	0,25	< 0,05
Fe (Jern)	mg/l	0,0014	0,0018	0,41	0,46	3,2	0,48	<0,002	0,0014
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0,002	<0,002					<0,002	<0,002
K (Kalium)	mg/l	5,2	5,7	7,7	7,8			17	17
Mg (Magnesium)	mg/l	7,9	7,7	14	14			21	20
Mn (Mangan)	µg/l	20	10	370	310	130	57	70	61
Mo (Molybden)	µg/l	110	140	110	100	850	770	1700	1600
Na (Natrium)	mg/l	49	57	100	100			120	120
Ni (Nikkel)	µg/l	3,6	2,7	3,5	3,3	14	3,6	11	3,6
P (Fosfor)	µg/l	4,5	6,9	29	31			7,3	<2
Pb (Bly)	µg/l	0,01	0,01	0,89	1,1	2,3	0,57	<0,05	0,61
Si (Silisium)	mg/l	4,3	4,4	5,5	5,3			3,6	2,9
Sr (Strontium)	µg/l	750	77	1020	1010			2900	2800
Th (Thorium)	µg/l	< 0,04	< 0,04	0,062	0,063	0,12	0,1	< 0,02	< 0,02
U (Uran)	µg/l	34	36	80	76	77	140	150	120
V (Vanadium)	µg/l	0,5	0,84	1,3	1,1	9,8	7,4	3,4	2,5
Zn (Sink)	µg/l	3,7	3,4	3,5	7,0	21	10	4,0	3,8
Po-210	Bq/l					0,013	0,0002		

I tabell 34 er inn- og ut-prøver frå reinseanlegget samanstillt. Det er kun prøven tatt 18. juni som viser prøver tatt før og etter reinsing i alle stega (også polyclay). Dei andre er tatt frå vatn som gjekk igjennom sedimenteringsanlegget. Det er tydeleg at reinseanlegget med berre bruk av sedimentasjonskonteinrarane ikkje hadde noko god

effekt på å reinse løyste metall som U, Cd og Mo. I juni 2015 tok NORWAT prøver av vatnet frå masselageret før og etter det gjekk gjennom sedimentasjonskonteinarane (ikkje polyclay – flokkulering), og dokumenterte ein dårleg reinseeffekt av uran. Dei påpeika at årsaka var at fleire av metalla førelåg som lågmolekylære former og som anion som ikkje kan sedimenterast ut. Dei grunnstoffa som ikkje viste nokon særleg nedgang over sedimenteringsanlegget var U, Th Mo, As, Ca, V, S. I tillegg var klorid, nitrat, sulfat og totalt organisk karbon rimeleg uberørt av reinseanlegget. U, Mo, S og Ca førekom som lågmolekylære former.

Tabell 35 viser minimum, maksimumsverdiar for utvalde parameter i vassprøvane i vatnet som gjekk ut til Vigga.

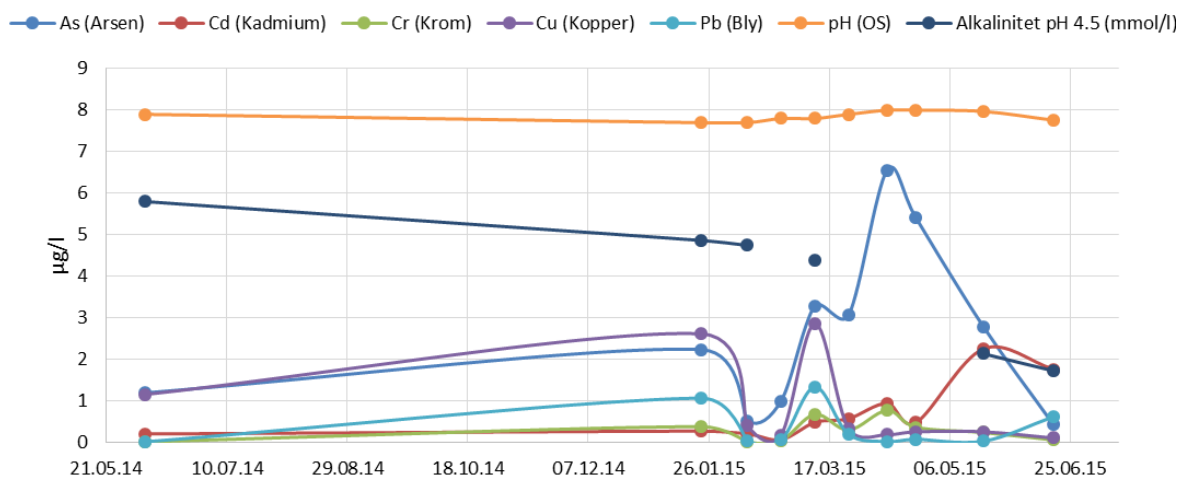
Tabell 35. Oversikt over minimum og maksimumkonsentrasjonar i vatnet som blei pumpa ut frå masselageret i samband med masseutskiftinga med svartskifer. Konsentrasjonane har fått farge etter tilstandsklassar for ferskvatn (Miljødirektoratet, 2016). Vidare er desse konsentrasjonane samanlikna med utsléppsgrensa for anleggsvatn frå Fylkesmannen i Oppland. Utsléppsgrenser som er overskrida er merka med raudt. Statens vegvesen søkte i 2014 om å endre nokon av grensene for nokre parameter, og desse er oppgitt med parantes bak utsléppsgrensa. Det finst ikkje nasjonalt gjeldande grenseverdiar for uran, suspendert stoff eller sulfat.

Metall	Eining	Minimumsverdi	Maksimumsverdi	Tilstandsklasse (M-608)	Utsléppsgrensa fra FMO
As	µg/l	0,43	6,6	2-3	8,5
Cd	µg/l	0,061	2,3	2 - 4	1,5
Cr	µg/l	<0,02	0,77	1-2	3,4 (15)
Cu	µg/l	<0,2	2,9	1-2	7,8 (25)
Ni	µg/l	1,9	51	2-4	34 (100)
Pb	µg/l	0,016	1,3	1-3	14
Zn	µg/l	0,85	27	1-4	11 (35)
U	µg/l	36	230		
SS	mg/l	5,4	770		100
SO4	mg/l	160	529		

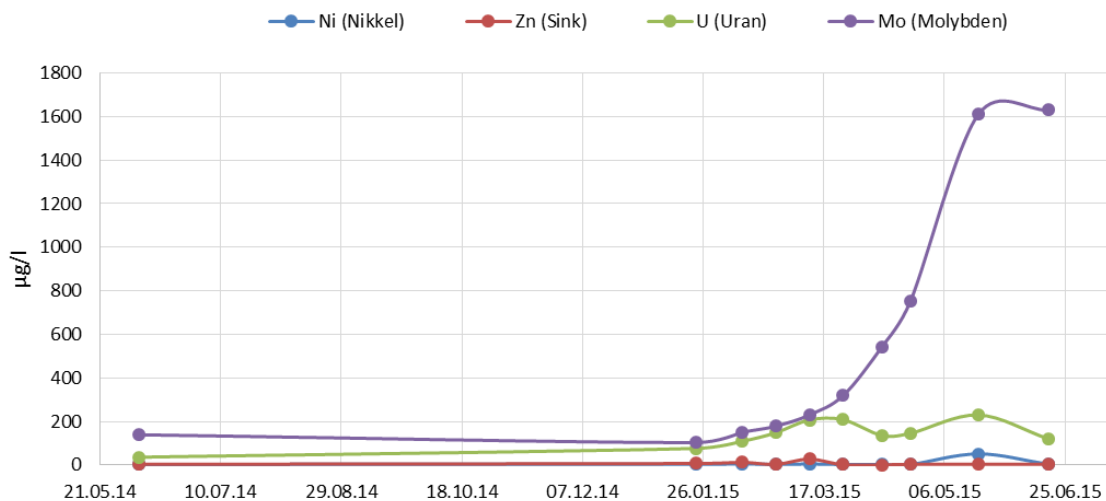
I figurane nedanfor (figur 130) er konsentrasjonar av utvalde parameter i det utpumpa vatnet vist over tid. Kadmium viste aukande konsentrasjonar frå start prøvetaking i 2014 til mai/juni 2015, då dei siste prøvane hadde konsentrasjonar over utsléppsløyyet frå Fylkesmannen i Oppland. For nikkell var konsentrasjonane relativt låge, og under utsléppsgrensa, bortsett frå ei enkeltprøve i mai 2015 på 51 µg/l (denne var framleis under omsøkt utsléppsgrensa på 100 µg/l.). Sink viste også relativt låge konsentrasjonar, i tilstandsklasse 1 og 2, bortsett frå to prøver i februar og mars 2015

på 13 og 27 µg/l, som også var over utsleppsgrensa på 11 µg/l (men under omsøkt grense på 35 µg/l). Uran auka i konsentrasjonar utover i 2015 fram mot slutføringa av masseutskiftinga. Høgste konsentrasjon blei påvist i mai 2015, og var då 230 µg/l. pH var relativt stabil i vatnet, og låg rett rundt 8 ved alle prøvetakingar. Alkaliniteten såg derimot ut til å gå noko ned etter kvart. Den var spesielt høg i starten, og kan ha vore påverka av sprøytebetongrestar i massane som blei lagt ut i masselageret. Utslepp av suspendert stoff var ved prøvetakinga i juni 2014 på 770 mg/l, noko som var høgt. Dei resterande prøvane tatt i utsleppsvatnet var innanfor utsleppskrav sett av Fylkesmannen.

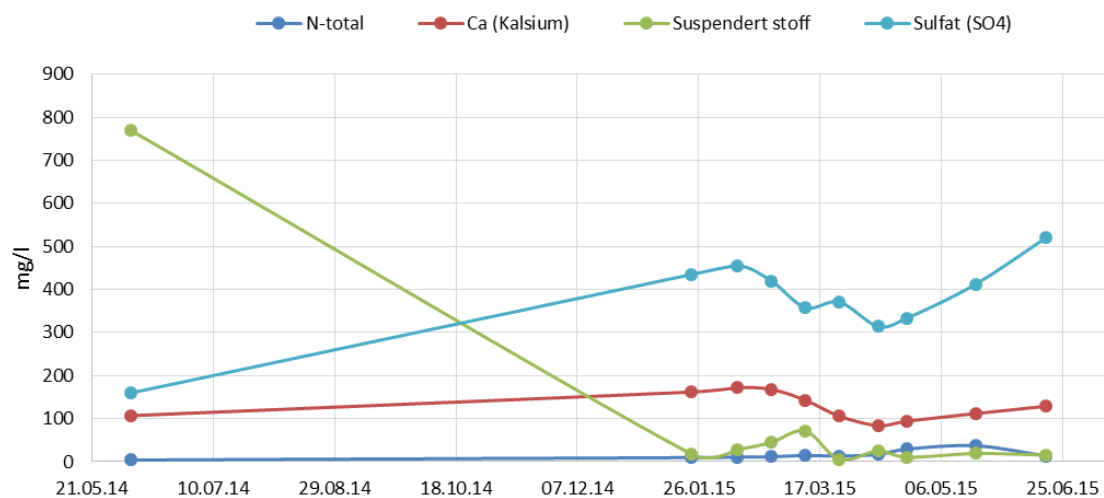
Utpumpa vatn frá masselager



Utpumpa vatn frá masselager



Utpumpa vatn frá masselager

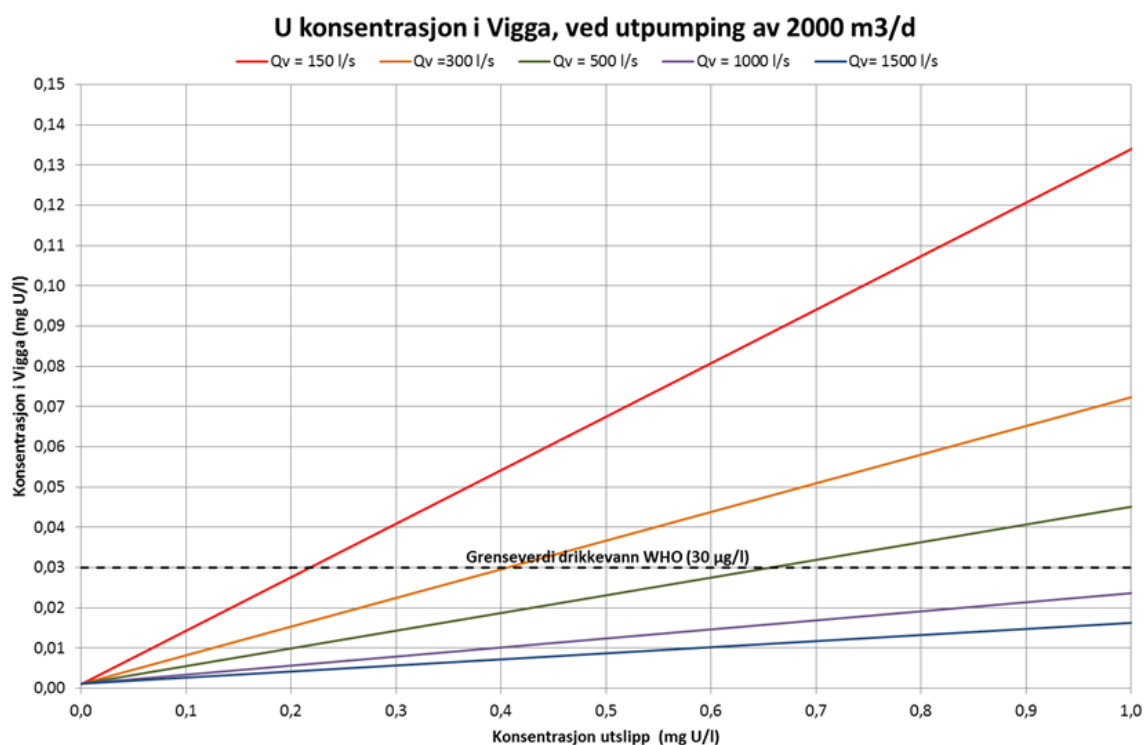


Figur 130. Prøver av utpumpa vatn frá masselageret frá mai 2014 - juni 2015.

9.2.5. ESTIMERING AV URANKONSENTRASJONAR I VIGGA

Bioforsk (nå NIBIO) laga sensitivitetsanalyser for å få oversikt over korleis ulike utslepp ville påverke Vigga ved ulike vassføringar (sjå figur 131). Desse tok vi utgangspunkt i for å vurdere effekten på Vigga. Sidan det normalt tok 1–2 veker før analyseresultata frå vassprøvene blei levert, lagde vi eit rekneark for å estimere makskonsentrasjonar i Vigga ved utpumping av vatn med høge uranverdiar (vedlegg 21). Ein verdi på 300 µg U/l brukt i utrekninga, for å unngå underestimering. Dermed må estimert konsentrasjon i Vigga sjåast på som ein «worst case»- situasjon. Bakgrunnsverdiar av uran i Vigga blei sett til 1,2 µg/l ut ifrå vassprøvar oppstrams i elva.

Grenseverdien på 15 µg U/l for toksisitet for ferskvassorganismar er definert ut frå langtidseksposering, medan korttidseksposering har ein grenseverdi på 30 µg/l. I følge litteraturen (Markich, 2002), vil uran som blir bunde til karbonat og organisk materiale i vatnet vere mindre biologisk tilgjengeleg for vassorganismar. Alkaliniteten i Vigga tilseier at det er mykje karbonat tilgjengeleg.



Figur 131. Sensitivitetsanalyse utført av NIBIO (tidligere Bioforsk) (Leikanger, 2015) for utslippsvatn med ulike konsentrasjonar av U ved ulike vassføringar i Vigga (vist ved ulike fargar). Utrekningane har blitt utført med utgangspunkt i ei døgnbelastning på 2000 m³/d (23 l/sek). x-aksen representerer utslippet til Vigga, anten det er frå masselageret, reinseanlegget eller ei anna kjelde. Y-aksen representerer konsentrasjonen i Vigga, nedstrams eit tenkt utslippspunkt (fortynna anleggsvatn). I realiteten var maks-konsentrasjonane mellom 0,2 og 0,3 mg/L i utslippet, og slik sett ikkje i fare for å overskride grenseverdien for drikkevann i perioden for utpumping.

Høgste innhald av uran målt i utpumpa vatn var i underkant av 230 µg/l. Våre estimeringar, tilsa at konsentrasjonane var under 15 µg/l i Vigga, med unntak av 17. – 19. februar og 6. mars (estimert maks-konsentrasjon på 19 µg U/l) då den største pumpa på 71 l/sek. blei nytta.

I perioden mellom 6. – 18. mars, då den største pumpa blei nytta, blei det 11. mars tatt prøver i utløpsvatnet frå masselageret som viste 203 µg U/l, mens det i Vigga, på same tid, var 4,3µg U/l. Estimert verdi utifrå utrekningane skulle då ha vore 8 µg/l. Det indikerte at våre estimat for å rekne ut urankonsentrasjonar i Vigga var konservative. Det blei ikkje påvist konsentrasjonar over 5 µg/l i Vigga ved regelmessige vassprøver. Effekten på Vigga er nærmare omtalt i kapittel 10.2.

9.2.6. TOLKING/KONSEKVEN SAR

Reinseanlegget for utpumpa vatn hadde ein ulempe med at viss vatnet var for klart, tetta filteret seg etter flokkuleringkammeret. Dette førte til at vatnet fleire ganger var for klart til å gå gjennom flokkuleringssteget. Reinseanlegget viste likevel ikkje særleg god reinseffekt på løyste metall som U, Cd og Mo. Reinseffekten for slike komponentar kunne kanskje blitt betre ved ein mindre belastning per sedimentasjonskonteinar og lengre opphaldstid i flokkuleringskammeret eller ved meir Polyclay per liter vatn. For nikkell verka derimot reinseffekten å vere høgre (66% reduksjon i prøven ut frå anlegget).

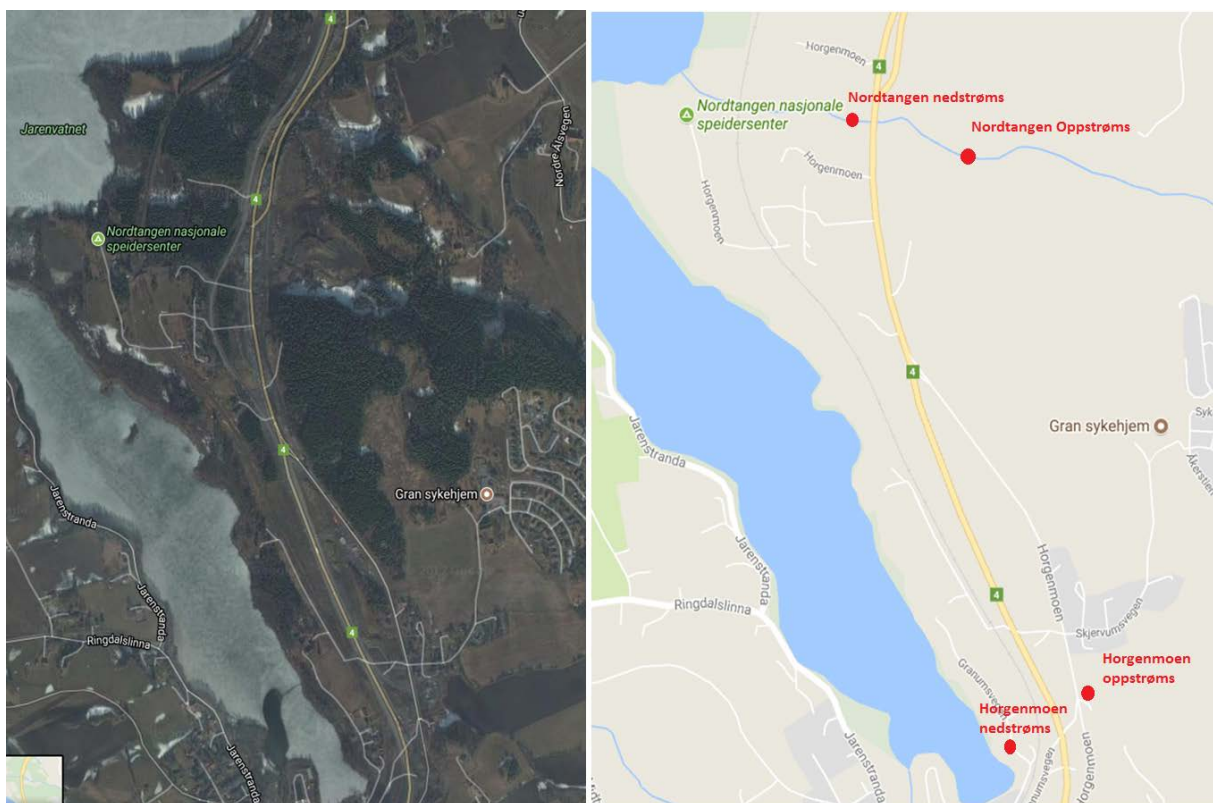
Konsentrasjonar i utpumpa vatn var, med unntak av Cd, Ni, Zn og turbiditet i korte periodar, godt under verdiane i utsleppsløyvet for tunnel (Ni og Zn var under omsøkte utsleppsgrenser). Samtidig var vassføringa i Vigga høg i mesteparten av periodane då utpumping av anleggsvatn skjedde. Tilstandsklassar for metall i Vigga var 1–2, bortsett frå ei enkeltmåling av Zn på 14 µg/l i Vigga (klasse 4). Denne konsentrasjonen blei målt på ein dag med mykje vassføring i Vigga, og kan ikkje relaterast til utpumping av byggegropvatn frå masselageret aleine (3 % av vassføringa i elva kom frå utpumping av vatn med 27 µg/l Zn). På bakgrunn vassprøvane som blei tatt i Vigga og estimerte konsentrasjonar ut frå vassføring og utsleppsrate reknar vi ikkje at utpumpa vatn frå masselageret var skadeleg for vassmiljøet i Vigga.

10. VASSRESIPIENTAR

10.1. Oversikt prøvelokalitetar

10.1.1. PRØVELOKALITETAR VED VEGSKJÆRINGER

Figur 132 viser prøvetakingslokalitetar i dei to bekkane nord for Gran som blei prøvetatt. Horgenbekken (i figuren kalt Horgenmoen), rett ved det nordre tunnelpåhogget er ein bekk med relativt liten vassføring som har vist teikn til å drenere i alunskiferberggrunn. Bekken på Nordtangen er ein litt større bekk. Denne bekken drenerer i variabel berggrunn, sannsynlegvis noko skifer og noko hardarde berg. Alle vassprøver frå desse bekkane finst i vedlegg 22 og 23.

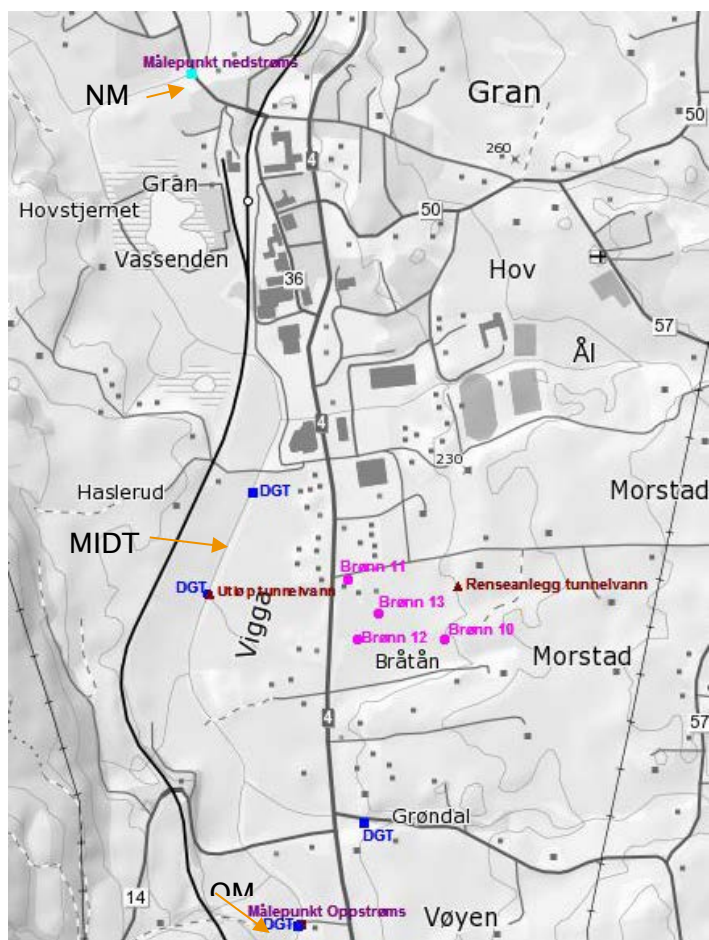


Figur 132. Oversikt over prøvepunkt for vassprøvar nord for Granstunnelen

10.1.2. PRØVELOKALITETAR VED MASSELAGER

Vigga passerer oppstrøms og nedstrøms området for masseutskifting, og har hatt ei spesielt tett oppfølging i anleggsperioden. Vigga er sterkt modifisert på den aktuelle strekninga, både ved kanalisering og senking av elveløpet. Langs elva ligg det store

jordbruksareal med avrenning til vassdraget via overvatn og drenering. Det blei henta inn vassprøver oppstrøms og nedstrøms 1–2 gonger i månaden. Vigga blei også overvaka med kontinuerleg overvaking av turbiditet, pH og konduktivitet og med passive prøvetakarar, som skulle måle konsentrasjonar av biotilgjengelege forureiningar i Vigga. Figur 133 viser prøvetakingspunkt i Vigga frå 2011 fram til og med midten av februar 2016. Nokre av prøvepunktta i Vigga blei flytta i 2016 etter at byggeaktiviteten på anlegget endra seg, og figur 134 viser dei nye målepunkta. Oppstrøms prøvepunkt i Vigga vart då flytta lenger oppstrøms (mot sør på kartet).



Figur 133. Oversikt over prøvepunkt gjennom anleggsperioden for tunneldrivinga t.o.m. 2015. MIDT= ca 50 meter nedstrøms utleppspunkt for reinsa tunneldrivevatn, OM = oppstrøms midt, NM = nedstrøms midt.

Det blei tekne enkeltprøver i 2011 og 2012 frå Vigga, i grunnvassbrønner og i bekkar i området nord for Gran, som angir naturlege bakgrunnsverdiar. Desse var vedlagt søknaden om løyve (sjå vedlegg 6.1). Alle vassprøvene frå overvakinga i anleggsfasen er vedlagt i vedlegg 24.1 og 24.2.

Vøienbekken drenerer eit stykke sør for masselageret og renn ut til Vigga (sjå figur 134). Denne bekken blei prøvetatt i 2014, i samband med at det blei satt ut passive prøvetakarar her i ein periode. Prøvetakingspunktet fungerte som bakgrunnsmålingar/referansestasjon. Etter at utsleppspunktet for drensvatn frå tunnelen og dagsone blei lagt til Vøienbekken har Vøienbekken også blitt prøvetatt i 2017, og er med som eit punkt i det vidare prøvetakingsprogrammet. Prøver frå Vøienbekken er å finne i Vedlegg 25.



Figur 134. Oppdaterte prøvepunkt for 2016. I Vigga blei oppstrøms- og nedstrøms prøvepunkt flytta lenger oppstrøms (vist som Vigga O DYN og HOL), etter at vegarbeid starta opp sør i linja, og for å unngå at avrenning frå Gran sentrum skulle påverke målingane nedstrøms.

10.2. Vigga

10.2.1. VASSPRØVER 2014–2015

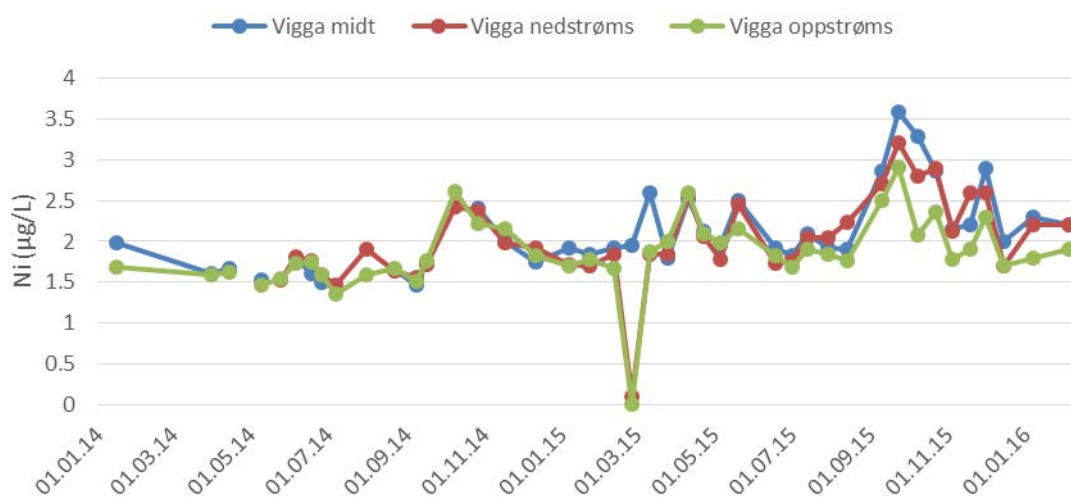
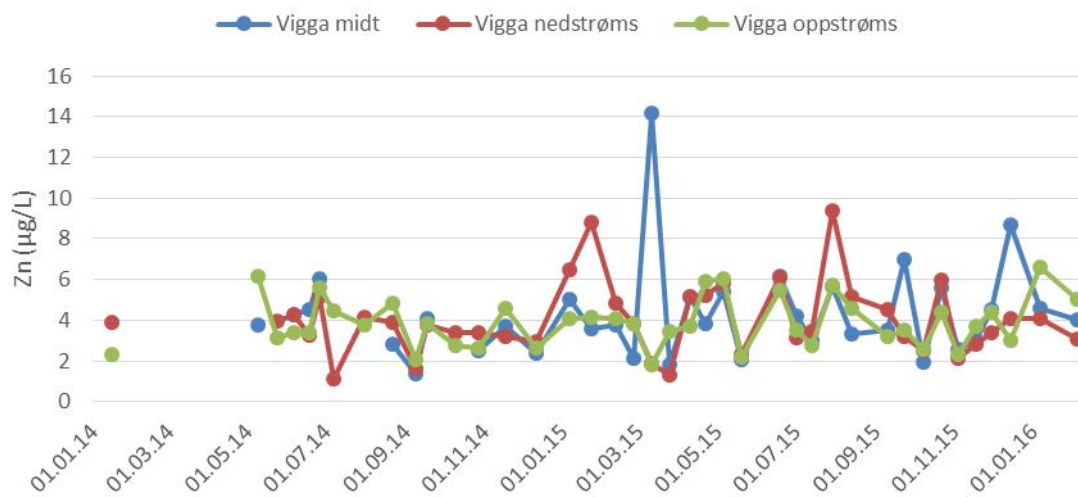
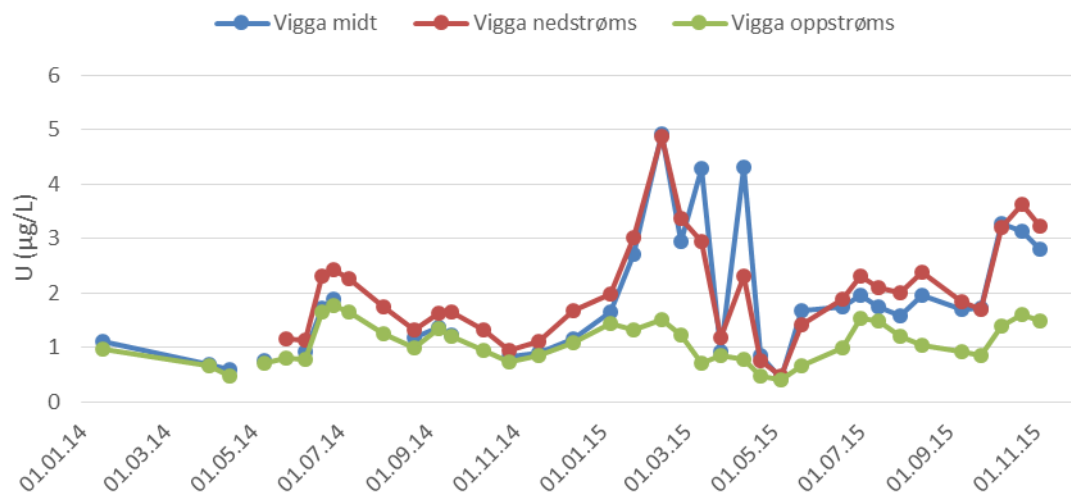
Vi tok vassprøvar i Vigga oppstrøms og nedstrøms masselageret kvar månad, og i periodar med meir aktivitet, kvar 14. dag. Alle vassprøvene frå Vigga er samanstilt i vedlegg 24.1 og 24.2.

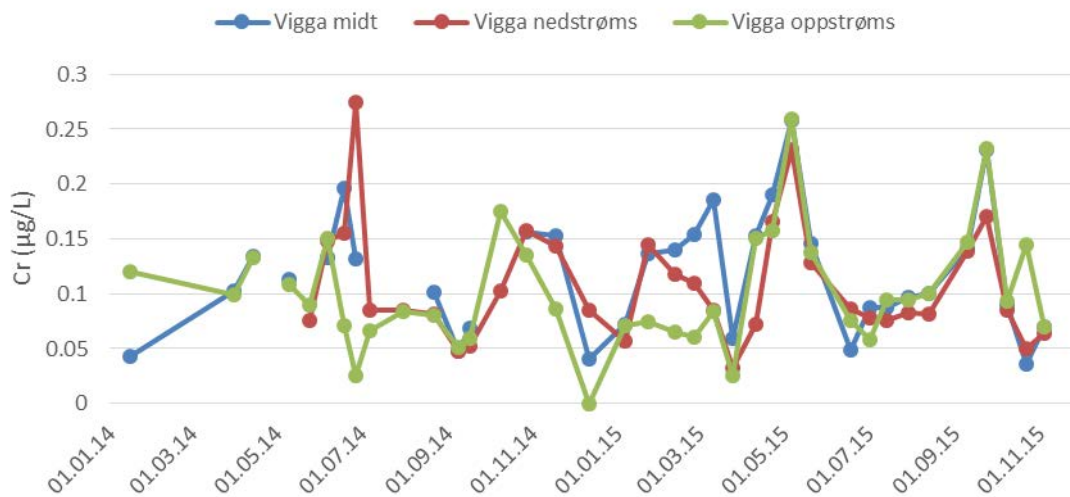
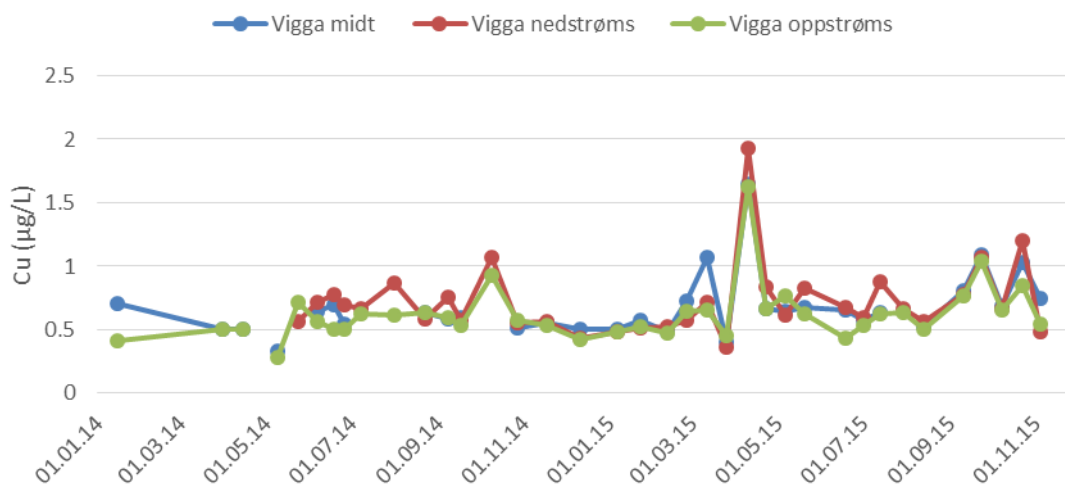
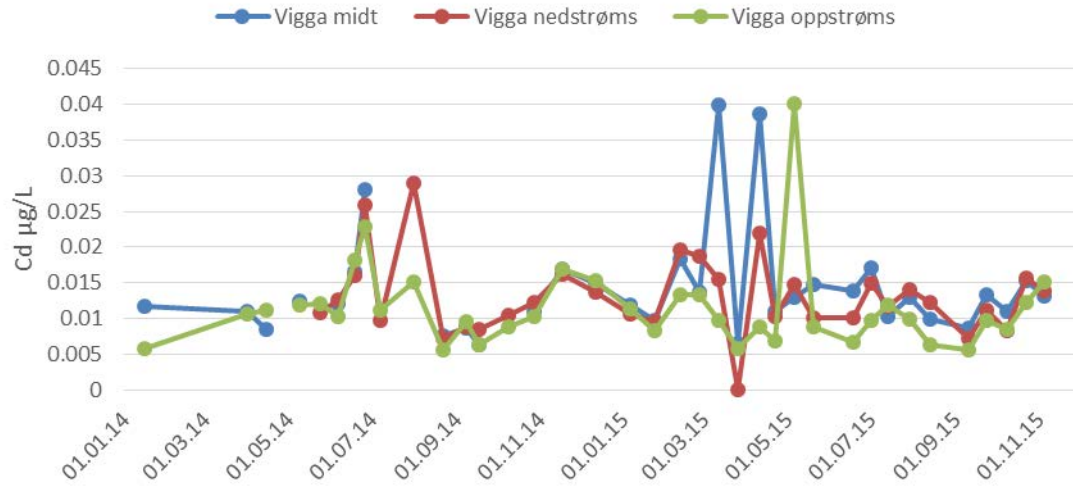
Figurane nedanfor (figur 135) viser konsentrasjonar for ulike grunnstoff på ulike prøvepunkt i Vigga oppstraums og nedstraums og rett nedanfor utsleppssona (kalt Vigga midt) for reinsa tunneldrivevatn frå 2013–2015. Figur 133 viser lokalitetane for prøvetakingspunkta (NM, MIDT og OM).

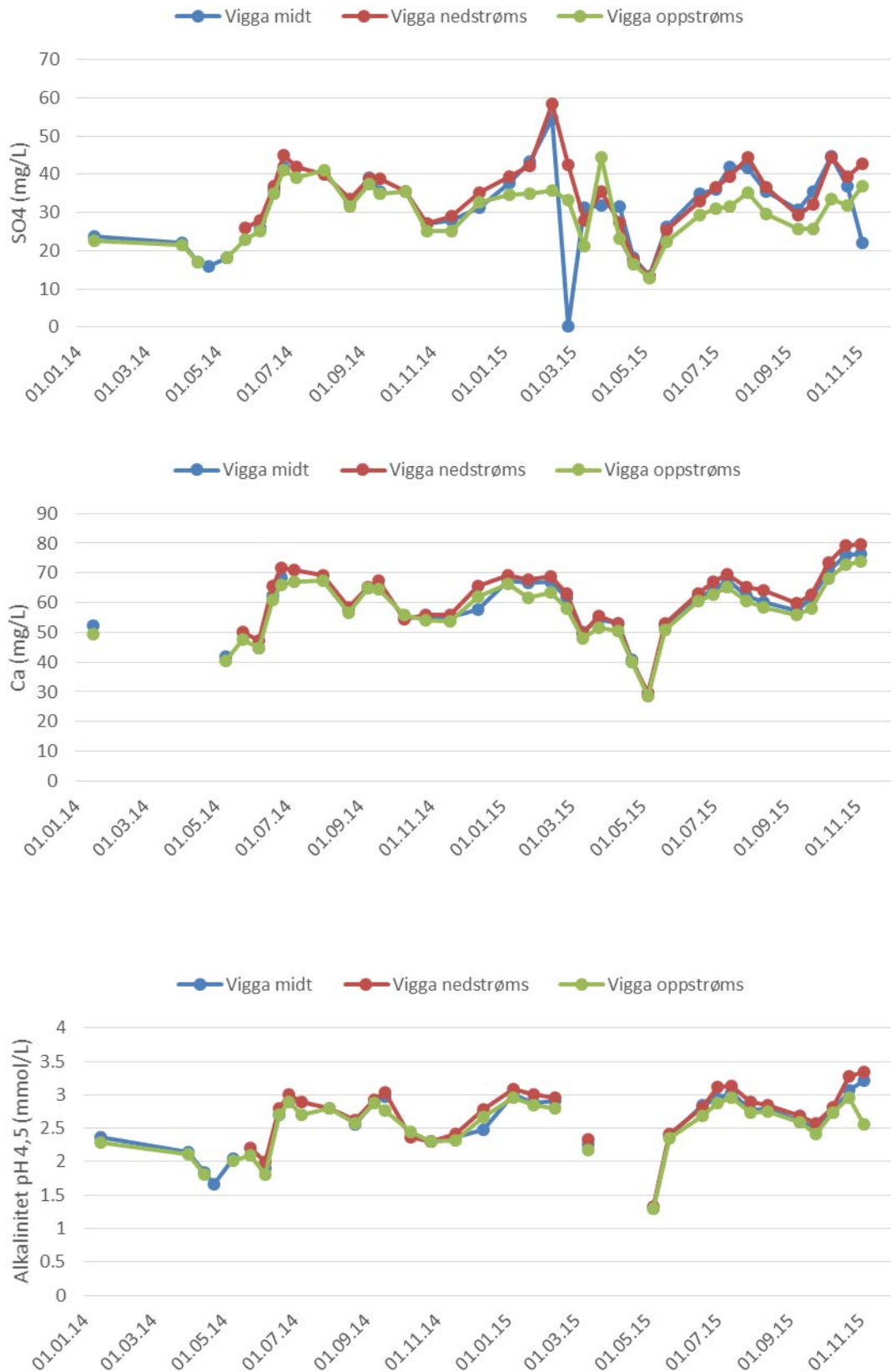
Resultat frå alle prøver viste at U, sulfat og finstoff var parameter som i periodar viste ei auke nedstraums samanlikna med prøvar oppstraums i Vigga. Også metalla Ni, Cd og Cr i perodar ei lita auke nedstraums, samtidig som konsentrasjonane var låge (tilstandsklasse 2). Metalla og sulfat auka truleg hovudsakleg som følgje av utpumping av alunskiferpåverka vatn frå myr og frå drivevatn frå tunnel (dette gjekk gjennom reinseanlegg, (sjå sluttrapport til fylkesmannen vedlegg 19 (Statens vegvesen, 2015)). Konsentrasjonane av Uran i vassprøvene frå Vigga var noko høgare enn bakgrunnsverdi når vatn frå det opne masselageret gjekk ut i Vigga. Dette medførte ikkje høge verdiar over tid. Høgast målte konsentrasjon låg oppunder 5 µg U/ liter i Vigga. Denne prøven var også påverka av drivevatn frå tunnel. For finstoff er det usikkerheit knytt til kjeldene. Kjelder for auka finstoff i Vigga relatert til anleggsarbeida er antatt å vere påslepp av reinsa tunneldrivevatn og vatn frå myr, men anleggsarbeid langs elv kan også ha bidratt til noko avrenning. Andre kjelder til finstoff er tilførande bekkar, avrenning frå jordbruk, erosjon frå opne jorder, avrenning frå sentrumsområde, arbeid av andre utførande langs Vigga osv. Variasjonar i finstoff frå tunneldriving blei funne igjen i målingane nedstraums i Vigga. Anleggsarbeid i leirskifer i kontakt med vatn førte til partikkelrikt vatn, og ved nokre uønska hendingar der det blei pumpa ut slikt vatn, blei det synleg i elva og fanga opp av multiparametersonder nedstraums i Vigga.

Nitrogen (N) og fosfor (P) i Vigga har vore høgt i Vigga både oppstraums og nedstraums anleggsarbeida. Oppstraums har total N svinga frå 1,3 – 4,7 mg/l, medan tala er 1,9 – 6,8 mg/l nedstraums. Alle desse verdiane tilsvarar klasse 5 «meget dårlig» etter SFT sine tilstandsklassar frå 1997. P har, med nokre få unntak, vore under 10 µg/l, som tilsvarer tilstandsklasse 2 «god». Jordbruk er antatt å bidra mest til avrenning av N og P, private avløpsanlegg med utløp til Vigga bidrar også. Anleggsrelatert tilførsel av N vil vere restar av uomsatt sprengstoff som følgjer med tunneldrivevatnet ut, gjennomsnittleg verdi i tunneldrivevatnet var 35 mg/l, og bidrog dermed til ei viss auke av N nedstraums i Vigga i anleggsperioden. Etter ferdig driving kan det også vere noko diffus avrenning frå sprengstein brukt i fyllingar i veglinja. Over sommarsesongen har Viggavassdraget

overskot av nitrat, slik at det er fosfor som begrensar algeveksten. Nitrogenutsleppet sin eutrofieringseffekt er derfor høgst truleg nokså liten.







Figur 135. Konsentrasjonar av U, Zn, Ni, Cd, Cu, Cr, Sulfat (SO₄), Ca og alkalinitet oppstraums, nedfor utsleppspunkt for reinsa tunneldrivevatn (Vigga midt) og nedstraums i Vigga frå 2014 t.o.m. 2015.

10.2.2. AUTOMATISK LOGGING AV VASSKVALITET MED MULTIPARAMETERSONDER (MPS)

Resultata frå den automatiske logginga er samanstillt i NIBIO (tidligare Bioforsk) sine rapportar i vedlegg 26.1 – 26.3. pH-målingane i Vigga viste ingen unormale verdiar.

Den kontinuerlege overvakinga med MPS avdekkar fleire episodar der det er sannsynleg at avrenning, utpumping eller arbeid ved anleggsområda var årsaka til auka turbiditet i Vigga. Fleire episodar som viste ei auke av turbiditet frå 10 – 30 NTU ved målestasjonen nedstraums kunne sjåast i samanheng med utslepp av turbid vatn frå reinseanlegget ved Granstunnelen (erfaringsmessig tilsvarar 1 NTU frå 0,5 – 1,5 mg SS/L (Roseth m.fl.,2014)). Dei fleste av episodane med høg turbiditet i vassdraget inntraff imidlertid i periodar med aukande vassføring i elva, og var ikkje forårsaka av anleggsdrifta.

MPS i elva nedstraums var plassert eit godt stykke nedstraums anleggsområdet. MPS-ane var innstilt slik at SMS-alarm blei sendt ut ved overskridelsar av turbiditet på 100 NTU og ved pH over 9 eller under 6 i Vigga nedstraums. Sidan målepunkta var langt ifrå kvarandre påverka også eventuell jordbruksavrenning og avrenning frå Gran sentrum målestasjonen nedstraums. I 2016 blei målestasjonen flytta lengre opp for å unngå at ikkje-anleggsrelatert avrenning påverka målingane nedstraums.

Både SVV sin YM-koordinator, formenn og YM-kontakt hos entreprenør mottok alarmane som kom frå Målestasjonane i Vigga. MPS-alarmane skilde ikkje på om turbiditeten var skulda mykje partiklar i elv p.g.a. flaum eller om det var eit anleggsrelatert utslepp, og dette medførte ei avventande haldning frå entreprenøren som påverka reaksjonstida.

10.2.3. PASSIVE PRØVETAKARAR (DGT) FOR BIOTILGJENGELEGE METALL I VASSFASEN

DGT er passive prøvetakarar som blei sett ut i Vigga over lengre tidsrom (3–4 veker), for å registrere konsentrasjonar av eventuelle biotilgjengelege metall i vatnet. Figur 136 viser dei aktuelle prøvepunktene i Vigga.

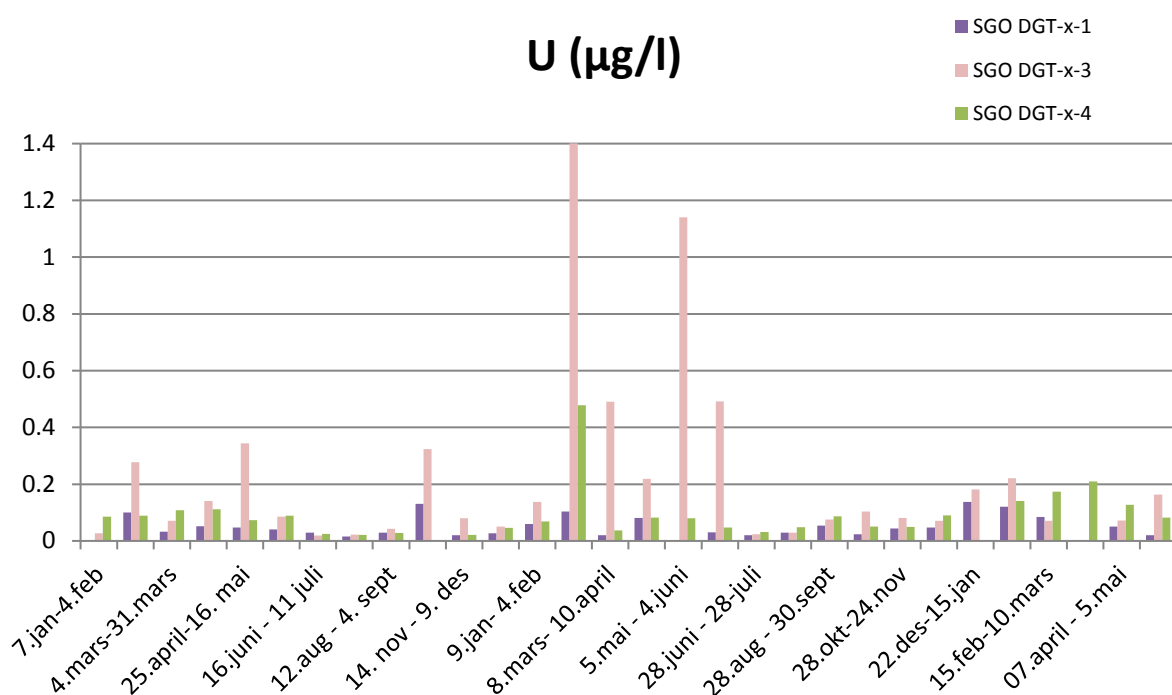


Figur 136. Oversikt over DGT-lokalitetar i Vigga gjennom anleggsperioden (COWI, 2016). Stasjon 3 blei flytta lenger opp i elva frå desember 2015, fordi det var nærmare utløpet frå tunnel og drensvatn til Vøienbekken.

Resultata frå overvakinga er samanstilt i tre rapportar frå COWI, som også inkluderer ein sluttrapport (Vedlegg 27.1 –27.3). Resultata frå måling av metall/metalloid med DGT i samband med overvakinga av Vigga 2014–2016, viste relativt låge konsentrasjonar tilsvarande tilstandsklasse 1 (bakgrunn) og tilstandsklasse 2 (god). Enkelte nivå av Cr og Ni blei tidvis påvist i tilstandsklasse 3 (moderat). Sjølv om nivåa var låge viste resultata at den årlege gjennomsnittskonsentrasjonen av metalla Al, Ni og U nedstrøms anleggsområdet auka under måleperioden. DGT-Analysane viste aukeing for uran spesielt i perioden mars – juni 2015, noko som hang saman med utpumping av alunskiferpåverka vatn, sjå figur 137. Auken var liten og representerte ingen fare for det akvatiske liv i Vigga. Auken samsvara også med auke av uran i vassprøvene (figur 135). Vidare var det store variasjonar i biotilgjengelege metall i Vigga og variasjonen såg ut til å vere sterkt knytt til årstid, vassføring, pH og type aktivitetar på anleggsområdet.

Målingane viste at konsentrasjonen for dei fleste metalla var noko høgare ved utsleppspunktet for tunneldrivevatn (stasjon 3) samanlikna med målepunkta oppstrøms (stasjon 1) og nedstrøms (stasjon 4) anleggsområdet. Det var med andre ord ingen markante forskjellar i metallkonsentrasjon mellom stasjonane oppstrøms og nedstrøms anleggsområdet. Dette tyda på at Vigga i liten grad blei påverka av avrenning frå svartskiferdeponiet i tidsperioden for anleggsarbeida.

Generelt viste DGT-ane lågare konsentrasjonar enn vassprøvene, og såg ut til å vere mindre eigna til å fange opp kortvarige anleggsrelaterte utslepp, t.d. av tunneldrivevatn. DGT-ar er eit bilete på gjennomsnittlege konsentrasjonar av biotilgjengelege metall.



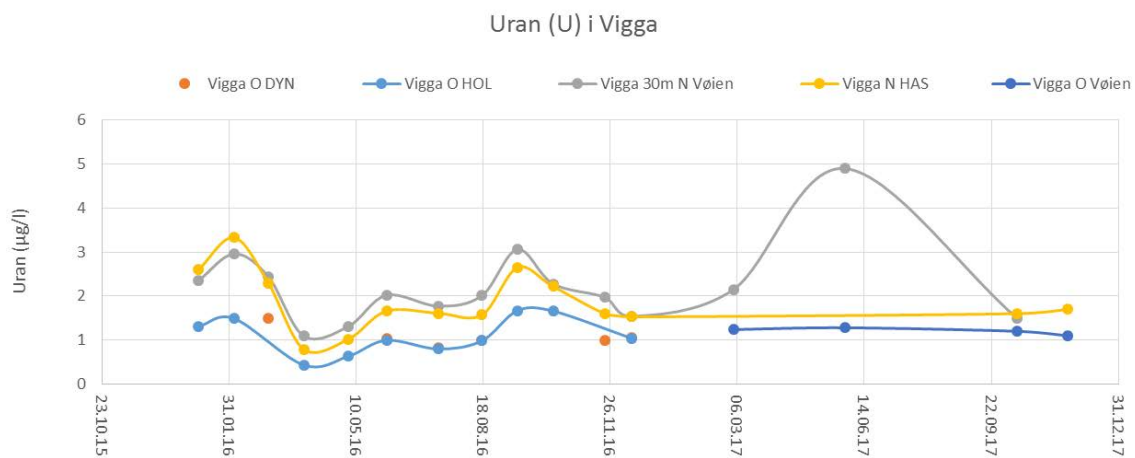
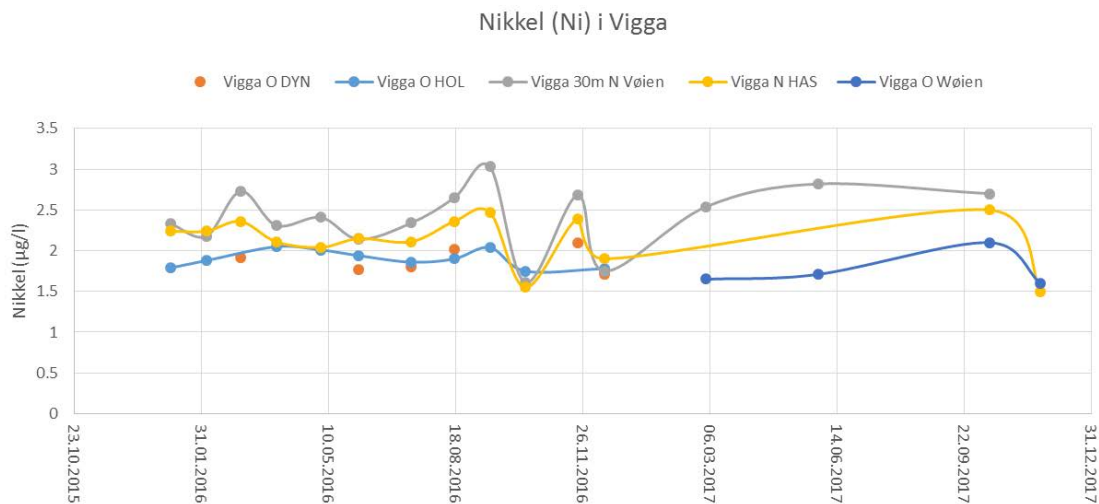
Figur 137. Resultat frå DGT i Vigga i anleggsperioden frå februar 2014 – mai 2016 (COWI). SGO DGT-x-1 = Vigga oppstrøms, 3 = utsleppspunkt tunneldrivevatn, 4 = nedstrøms.

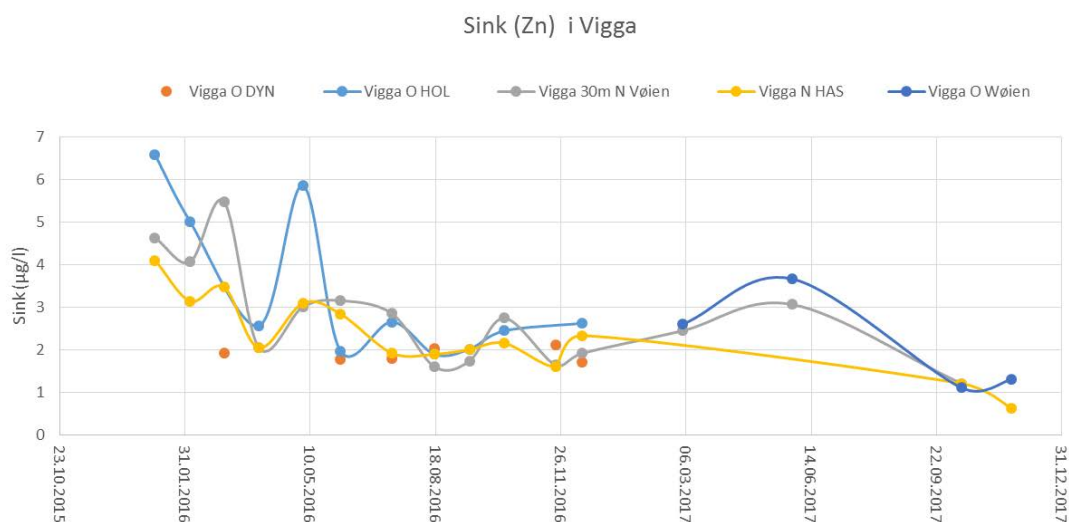
10.2.4. VASSPRØVER ETTER TILDEKKING AV MASSELAGET

Etter at masselageret blei lukka i juli 2015, fortsette vi å ta prøver i Vigga.

Reinseanlegget for tunneldrivevatn var fortsatt operativt fram til oktober 2015, for å ha kontroll på vatn som gjekk ut frå innlekkasjvatn frå tunnel og drenering frå sålen i tunnelen. Figur 138 har samanstilt konsentrasjonar av Ni, U og Zn i Vigga frå oktober 2015. I denne perioden var det frå 1–2 µg/l auke i Ni- og U-konsentrasjonar

nedstraums i Vigga samanlikna med oppstraums verdiar. For Ni tilsvare konsentrasjonane tilstandsklasse 2 «god» i Vigga. U var under 5 µg/l i Vigga. Zn såg i fleire tilfelle ut til å vere høgre oppstraums i Vigga enn nedstraums masselageret/utløp for drensvatn, og kan dermed ikkje seiast å vere ein parameter som påverkar Vigga i stor grad. Tilstandsklasse i Vigga har vist seg å vere i klasse 1 og 2.





Figur 138. Resultat frå prøvetaking av Ni, U og Zn i Vigga frå 2016–2017. Prøvelokalitetane er dei same som vist i figur 134.

10.2.5. FISKEUNDERSØKINGAR

Brun-ørret (*Salmo trutta*) blei fanga i Vigga ved bruk av el-fiske på ulike stasjonar i nedre del av elva i 2013 før tiltaket blei igangsatt og i 2015 etter at gjennomføringa av tiltaket (massetutskiftinga med svartskifer) var ferdig. Garnfiske i Jarevatnet blei også utført i 2015, der mort abbor og gjedde blei fanga. Fisken blei målt og dissekert for å samle inn organ til analyse for å sjekke opptak av metall i lever, nyre og gjeller. Det var ingen forskjell i opptak av Cd, U og Mo i organa til fisk fanga i nedre deler av Vigga i 2015 samanlikna med fisk i 2013. Fisken hadde også normal kondisjonsfaktor, og var ikkje forskjellig frå fisk lenger oppstraums i Vigga eller frå før anleggsperioden. Meir om resultatane kan finnast i NORWATs sluttrapport (Skipperud m.fl., 2016).

10.2.6. TOLKING/ KONSEKVENSA

Resultata for prioriterte metall (etter Miljødirektoratets tilstandsklasser) i Vigga viste generelt små forskjellar mellom konsentrasjonane oppstraums og nedstraums utsleppspunktet. Konsentrasjonane var også relativt låge. Basert på gjennomsnittlege konsentrasjonar i Vigga låg Cr, Cd, Cu, Pb, Ni og Zn i tilstandsklasse I og II (bakgrunnsnivå til god tilstand). Blant vassprøvene frå Vigga blei det kun påvist éin konsentrasjon i klasse 4, som var Zn på 14 µg/L (i blandsona frå utløpsrøret). Det blei påvist ei auke for U i Vigga frå start 2015 fram til massetutskifting av myra blei avslutta,

men konsentrasjonane var under miljøskadeleg nivå (<5µg/L). Basert på NORWATS overflatevassprøvar innsamla på feltarbeid i 2013 og 2015, var vasskvaliteten på dei fleste prøvetakingsstadene i området tilfredsstillande, med høg pH, høgt Ca-nivå, moderat TOC og låge metallkonsentrasjonar. Det var ikkje mogleg å observere ein vesentleg påverknad av tunnelarbeida i Vigga eller bekkane som ligg i anleggsområdet med utløp til Vigga.

DGT-ane som var utplassert i Vigga gjennom anleggsperioden registrerte låge nivå av biotilgjengelege metall, noko som indikerer at dyrelivet ikkje blei påverka av løyste metall i elva. Det var vanskeleg å knytte resultata opp mot enkeltepisodar, men resultata viste heller trendar over tid. COWI lagde eit erfaringsnotat om bruk av DGTar i overvakinga (Saunes, 2016), og dette er vedlagt i vedlegg 27.4.

Multiparametersonder (MPS) for turbiditet og pH i Vigga var nyttige verktøy for å kunne fange opp eventuelle anleggsrelaterte utslepp av ureint vatn med høg turbiditet, pH eller leiingsevne. Turbiditet forårsaka av anleggsdrifta kan truleg ha påført lokale og kortvarige negative miljøeffektar i Vigga. Det er imidlertid ikkje forventa større biologiske endringar i elva som følgje av dokumenterte anleggsskapte episodar (sjå årsrapportane frå NIBIO i vedlegg 26.1–26.3). Overvaking av pH og vasstemperatur frå den kontinuerlege overvakinga i Vigga indikerte at det stort sett har vore liten fare for danning av toksisk ammoniakk i elva under måleperioden. Episodane med størst potensiale for uheldig danning av NH₃ oppstod sommarstid, med låg vassføring og dårleg resipientkapasitet.

10.3. Bekk på Nordtangen (vegskjering nord for Gran)

10.3.1. HISTORIKK

På Nordtangen renn det ein bekk i dalsøkket, som vi gjennom anleggsfasen har prøvetatt månadleg oppstraums og nedstraums anleggsområdet (sjå kart i figur 132). Oppstraums lokalitet er ikkje påverka av anleggsarbeida. Før anleggsarbeida starta var det myr og skog i dette området, som blei fjerna i samband med vegutbygginga.

Jernutfellingar blei observert i anleggsområdet (oppstraums) før anleggsperioden. Prøver

frå forundersøkingane i 2013 viste at konsentrasjonane av Fe (0,55 – 0,85 mg/l), U (4 – 7µg/l) og Mo (4 – 5,7 µg/l) til ein viss grad var høge før anleggsarbeida starta, noko som sannsynlegvis var pga alunskifer i grunnen.

Sprengsteinen frå Nordtangen-skjeringane blei brukt i vegoppfyllingsformål på Nordtangen. Sprengsteinen inkluderte også nokre soner med alunskifer (vurdert som trygt utifrå mindre skifermengder og XRF-målingar som viste fleire tilfeller av lågt syredannande potensial i skiferen). I massane som er brukt her vil det dermed også finnast restar av alunskifer. Bekken blei rennande delvis gjennom dette området, før den blei lagt om i 2015. Figur 139 viser bekkeløpet ved oppstarten av sprengningsarbeida. Det blei lagt ut kalk som eit tiltak for å minimere påverknad av eventuell sur avrenning til bekken. Det er usikkert kor mykje effekt dette hadde. Uansett blei det ikkje påvist låge pH-verdiar i anleggsfasen.



Figur 139. Nordtangenbekken i starten av anleggsperioden (vinter 2014). Det blei lagt ut kalk langs bekkekanten som eit tiltak for å unngå sur avrenning frå området for sprengningsarbeida.

Nedstraums i bekken såg vi i løpet av 2014 ein aukande grad av jernutfellingar som farga botnen brun (figur 141). Dette kom etter at sprengningsarbeida starta opp på Nordtangen. Utfellingane var av same type som er observert både oppstraums og nedstraums i bekken på Horgenmoen. Konsentrasjonar av fleire metall og sulfat auka i denne perioden nedstraums samanlikna med oppstraums verdiar (sjå figurar i kapittel 10.3.2) . pH gjekk noko ned (ei pH-eining). Vårflaum og erosjon i jordmassar oppstraums førte også til auka partikkeltilførsel i bekken (figur 140).

På hausten 2015 blei bekken lagt om til å gå utanom området som blei brukt til mellomlager på oppsida av vegen på Nordtangen. Samtidig blei bekken lagt i nytt røyr under vegbana. Etter dette minka jernutfellingane vesentleg i bekken, men fortsatt var det noko utfellingar lokalt i sigevatn frå området. Også konsentrasjonar av tungmetall som uran, nikkel og sink blei redusert til nærmare bakgrunnsnivå. Ei siste flytting av bekken hausten 2016 gjorde at bekken igjen i ein kortare periode blei påverka av auka finstoff-avrenning, før det blei laga eit nytt bekkeløp på jordet, omtrent der det hadde gått før vegbygginga starta. I etterkant blei det laga nytt steinlagt bekkeløp på jordet der bekken opprinneleg rann. Nedstrams fekk bekken steinlagt utløp ned til sitt opprinnelege løp. I 2017 var det ikkje lenger jernutfellingar i bekken (figur 142).



Figur 140. Nordtangenbekken. Til høgre: Bekken rett nedanfor oppstrams prøvetakingspunkt. Flaumperioden våren 2015 førte til mykje erosjon i jordmassane. Bekken blei seinare lagt om. Til venstre: Bekken er lagt om i grøft langs masselager. I november 2016 blei også denne bekken fylt igjen og flytta.



Figur 141. Partikkelrikt vatn nedstrams på Nordtangen. Vår 2015. Figur til høgre viser jernutfellingar nedstrama anlegget i sigevatn frå Nordtangen (november 2015).



Figur 142. Nordtangenbekken nedstrøms 30. mai (til venstre) og 12. oktober 2017 (til høgre). Vatnet har fått steinlagt bekkeløp ut frå røyr under veg. Rustutfellingane er vekke.

10.3.2. VASSPRØVAR

Tabell 36 viser gjennomsnitt-, min- og maks-konsentrasjonar for utvalde metall i bekken på Nordtangen, og angir tilstandsklassar etter økologisk tilstand (M60–2016). Figurane i figur 143 oppsummerer utviklinga av konsentrasjonar av utvalde parameter i Nordtangen-bekken oppstrøms og nedstrøms anleggsområdet gjennom anleggsperioden og fram til 2017. Fullstendige analyser er gitt i vedlegg 23. pH i bekken varierte frå 2014 til 2017 frå 6,8 – 8,3 nedstrøms og frå 7,5 – 8,6 oppstrøms. pH målt i 2017 (totalt 3 prøver) viste ein pH rundt 8 både oppstrøms og nedstrøms. Den lågaste pH-verdien blei påvist i august 2014, det var samtidig med observasjonane av jernutfellingar i bekken.

Sulfat hadde, felles med U, Ni, Zn, As, Cd og Mn, i perioden frå haust 2014 og eitt års fram i tid høgare nivå nedstrøms enn oppstrøms. For As, Cd tilsvara dei høgste konsentrasjonane nedstrøms tilstandsklasse 3 (mot tilstandsklasse 2 oppstrøms). For Ni og Zn var tilsvara dei høgste verdiane nedstrøms tilstandsklasse 4 (mot tilstandsklasse 2 oppstrøms). Nivåa av løyste metall blei deretter redusert utover hausten 2015 etter omlegginga av bekken. As og Cd var då i klasse 2 og Ni og Zn var då under 10 µg/l som tilsvara klasse 3 og 2. prøver tatt i mai og oktober 2017 viste nikkel og sink i klasse 2 og 1. For U var konsentrasjonane markant høgare nedstrøms enn oppstrøms frå haust 2014 fram til haust 2015. Høgste målte verdi nedstrøms var 49 µg/l i oktober 2014 (mot oppstrøms verdi 5 µg/l). I 2016 og 2017 var

konsentrasjonane redusert til under 20 µg/L, og ved prøvetakinga den 12.10.17 var det ikkje vesentleg forskjell mellom urankonsentrasjonar oppstraums og nedstraums prøvepunkt. Det var liten forskjell mellom oppstraums og nedstraums målingar av Cu, og konsentrasjonane var i klasse 1 og 2. Ved fleire prøvetakingar var det ein nedgang i Cu nedstraums i forhold til oppstraums. Heller ikkje for Pb var det stor forskjell mellom oppstraums og nedstraums, og konsentrasjonane var låge, i klasse I og II. Dette gjaldt også for Cr. Det blei igjen ei auke av sulfat, og ei mindre auke av U, hausten 2016. Dette kan ha samanheng med at bekken igjen blei flytta på i samanheng med arrondering av terrenget, og flytting av bekken tilbake til det opphavelege elveløpet. Sulfatkonsentrasjonane ved nedstraums prøvepunkt avtok betrakteleg i 2017. Ved prøvetaking 12. oktober 2017 var sulfatverdiane 32 mg/l oppstraums mot 50 mg/l nedstraums.

Tabell 36. Inndeling i tilstandklassar (Miljødirektoratet, 2016) for klassifisering av tilstand oppstraums og nedstraums i Nordtangenbekken under anleggsperioden. Det finst ikkje nasjonalt gjeldande grenseverdier for uran, suspendert stoff eller sulfat.

Metall		Minimumsverdi	Maksimumsverdi	Gjennomsnitt	Tilstandsklasse
As	Oppstraums	<0,06	0,44	0,27	1-2 (berre ein i kl. 3)
	Nedstraums	0,2	1,7	0,63	1-3, hovudsakleg 2-3
Cd	Oppstraums	0,01	0,02	0,01	2
	Nedstraums	0,01	0,2	0,05	2 og 3
Cr	Oppstraums	LOD (0,01)	0,16	0,05*	1-2
	Nedstraums	LOD (0,01)	0,2	0,05*	1-2
Cu	Oppstraums	<0,001	1,57	0,88	1-2
	Nedstraums	<0,001	1,4	0,72	1-2
Ni	Oppstraums	0,61	1,28	0,91	1-4, kun 2 og 1 i 3 og 4.
	Nedstraums	1,36	64	13	2-4
Pb	Oppstraums	LOD (0,01)	0,016	0,006*	1
	Nedstraums	LOD (0,01)	0,020	0,009*	1-2
Zn	Oppstraums	0,22	4,1	1,9	1-2 (berre ein i 4, ellers kun 1-2)
	Nedstraums	0,56	38	6,3	1-4
U	Oppstraums	1,4	7,0	4,8	
	Nedstraums	3,3	49	16	
SS	Oppstraums	1,4	175	20	
	Nedstraums	LOD (0,5)	540	61*	
SO4	Oppstraums	<0,060	49	35	
	Nedstraums	0,5	200	83	

* LOD er inkludert i gjennomsnittsutrekning som LOD/2.

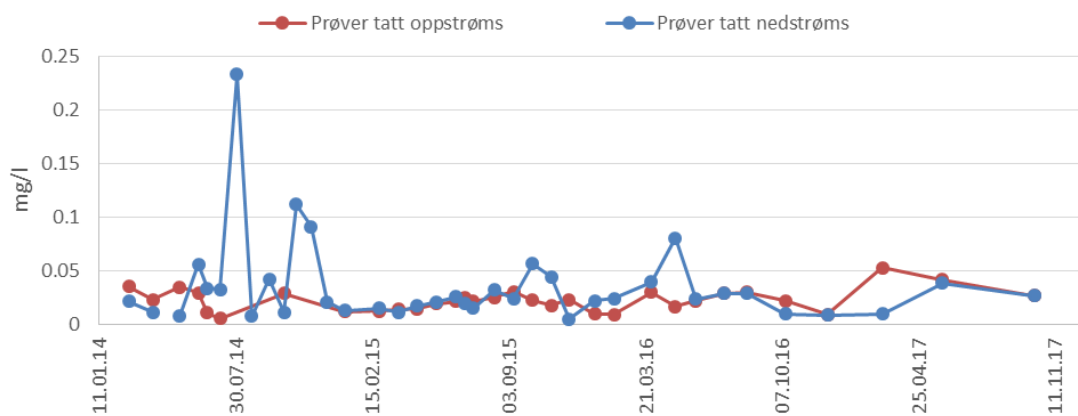
Typisk for området nedstrøms på Nordtangen er at det under anleggsperioden har vore mykje finstoff som er blitt frakta med i bekken som følge av hogst, opent landskap, bekkeomlegging og gravearbeid i tillegg til anna aktivitet på open flate. I diagram for suspendert stoff i bekken, var det episodar med høgt SS før det utjamna seg vår 2015. Ved bekkeomlegginga eroderte bekken i jorda.

Innhald av jern i vassprøvene nedstrøms var forhøga på nokre tidspunkt, men utfelte jernsambindingar vil ikkje synast i vassprøvene, sidan vatnet var filtrert før metallanalysen. Jernutfellingane er sannsynlegvis ei følgje av anleggsarbeida og flytting av bekken, og truleg har drenering i svart leirskifer ei rolle. Slike utfellingar var imidlertid også tilstades før anleggsarbeida starta i oppstrøms område og kan også oppstå når myrområder blir drenerte. Tabell 37 viser ei analyse av sigevatnet på Nordtangen, der vi observerte jernutfellingar. Det var mykje Organisk materiale (TOC 6,5 mg/l) og mangan i vatnet. U (13,4 µg/l), Ni (9,9 µg/l) og As (1,3 µg/l), var forhøga (tilsvarende klasse 3 for Ni og As), medan andre metall som Cd, Co, Cr, Pb og Zn var låge med tilstandsklasse 1 og 2.

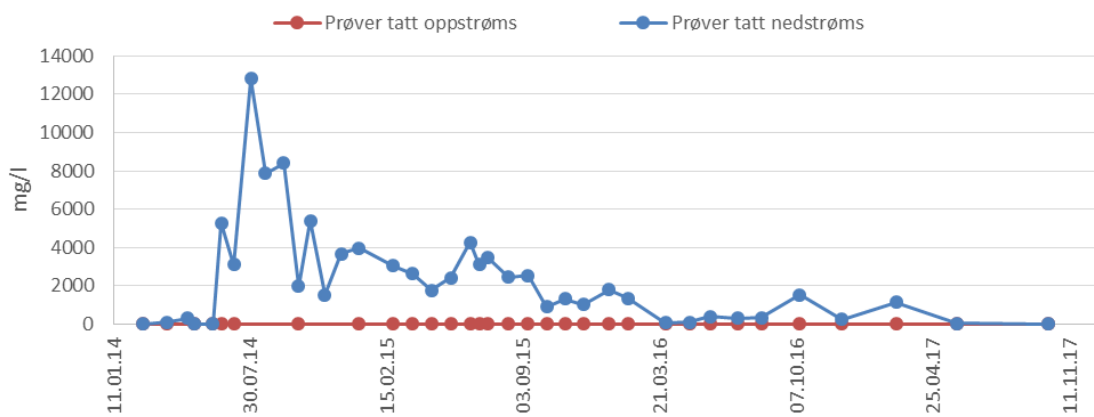
Tabell 37. prøvetaking av sigevatnet i nedkant av Nordtangen mellomlager av massar.

ELEMENT	eining	Utløp fylling Nordtangen			
			Ba (Barium)	µg/l	124
			Cd (Kadmium)	µg/l	0.0153
TOC	mg/l	6.46	Co (Kobolt)	µg/l	3.12
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	6.82	Cr (Krom)	µg/l	0.0648
Ledningsevne	mS/m	65.4	Cu (Kopper)	µg/l	0.153
Suspendert stoff	mg/l	19.2	Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002
S (Svovel)	mg/l	13.8	Mn (Mangan)	µg/l	5660
Klorid (Cl-)	mg/l	10.1	Mo (Molybden)	µg/l	8.88
Sulfat (SO4)	mg/l	34	Ni (Nikkel)	µg/l	9.93
pH		7.27	Pb (Bly)	µg/l	<0.01
Ca (Kalsium)	mg/l	129	Sr (Strontium)	µg/l	731
Fe (Jern)	mg/l	0.0683	Zn (Sink)	µg/l	1.19
Mg (Magnesium)	mg/l	10	U (Uran)	µg/l	13.4
As (Arsen)	µg/l	1.32			

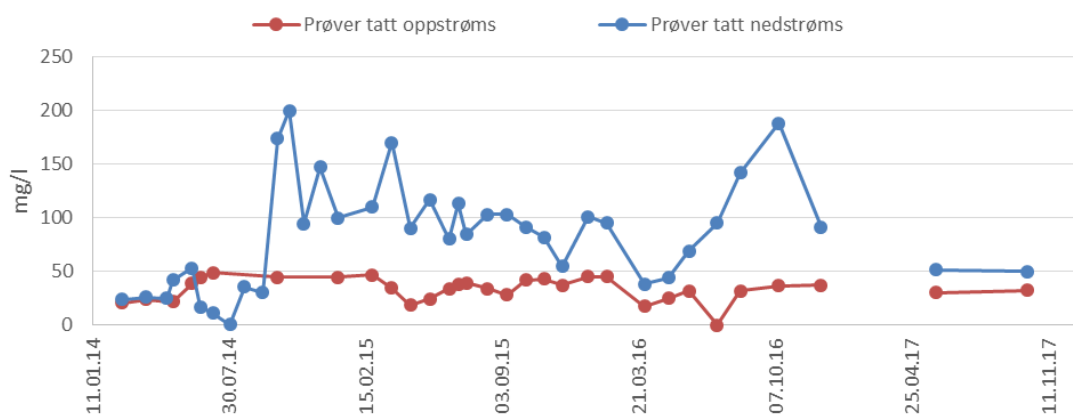
Jern (Fe) i Nordtangen-bekken



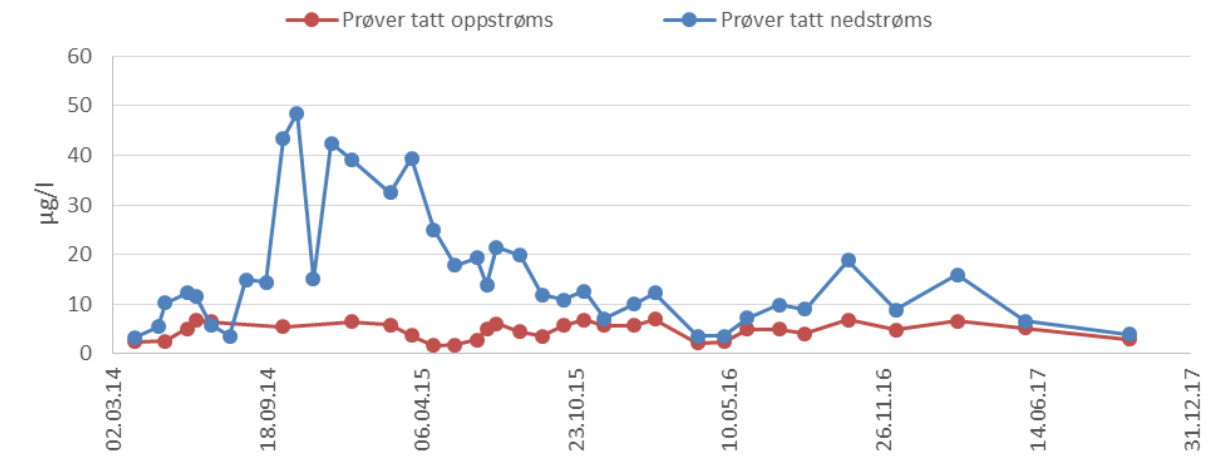
Mangan (Mn) i Nordtangen-bekken



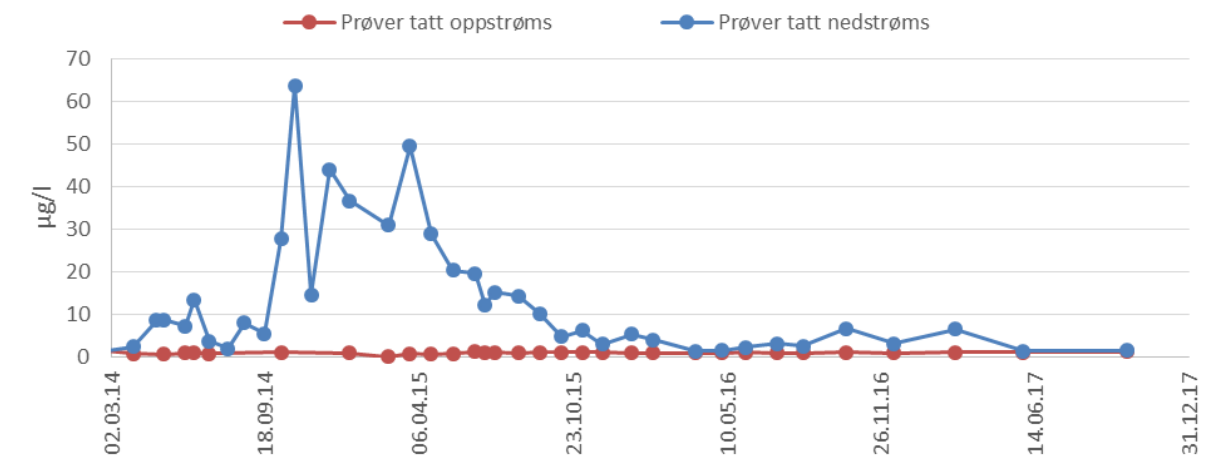
Sulfat (SO4) i Nordtangen-bekken



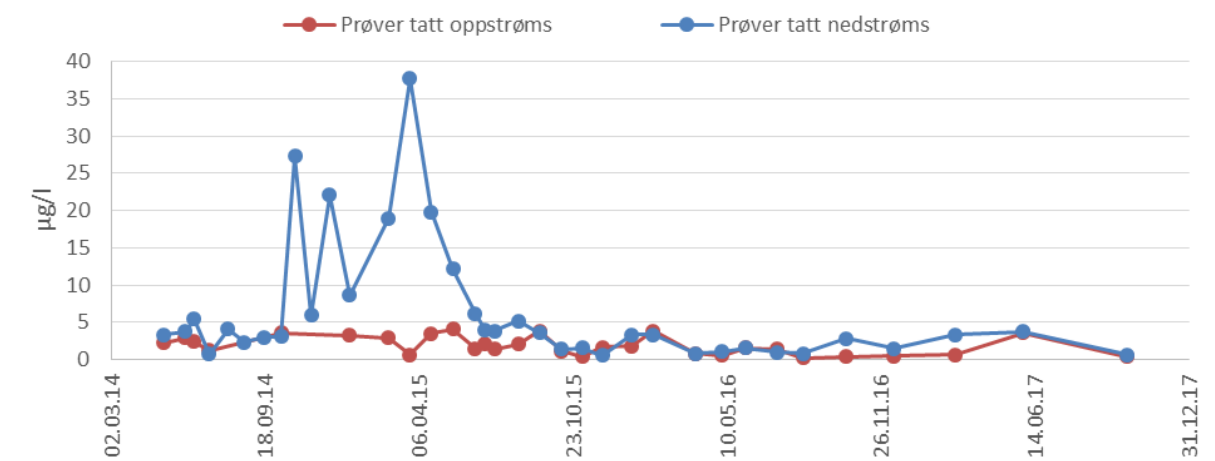
Uran (U) i Nordtangen-bekken



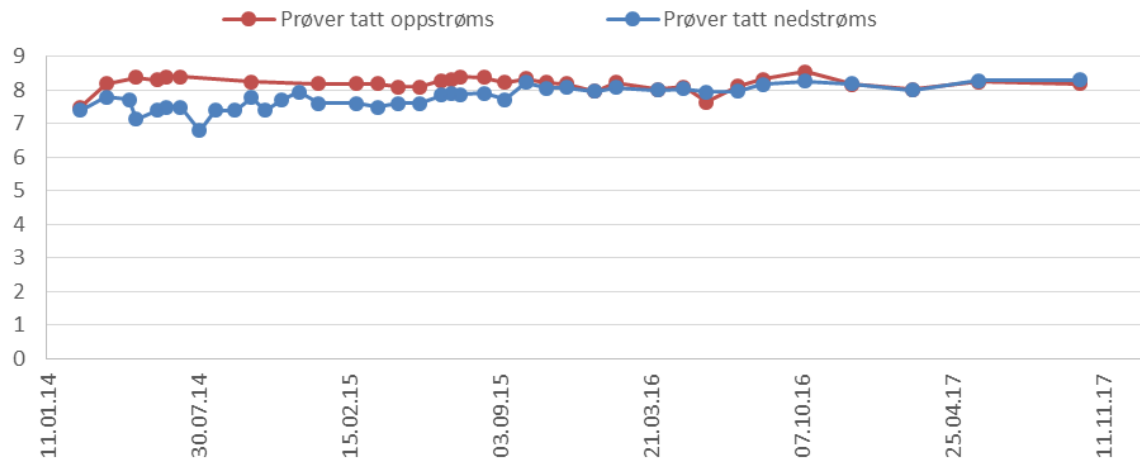
Nikkel (Ni) i Nordtangen-bekken



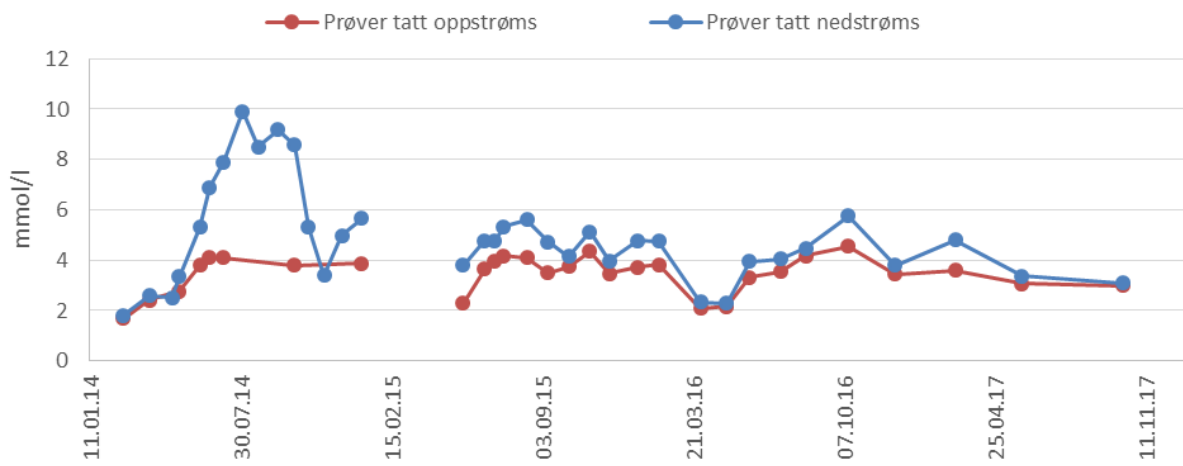
Sink (Zn) i Nordtangen-bekken



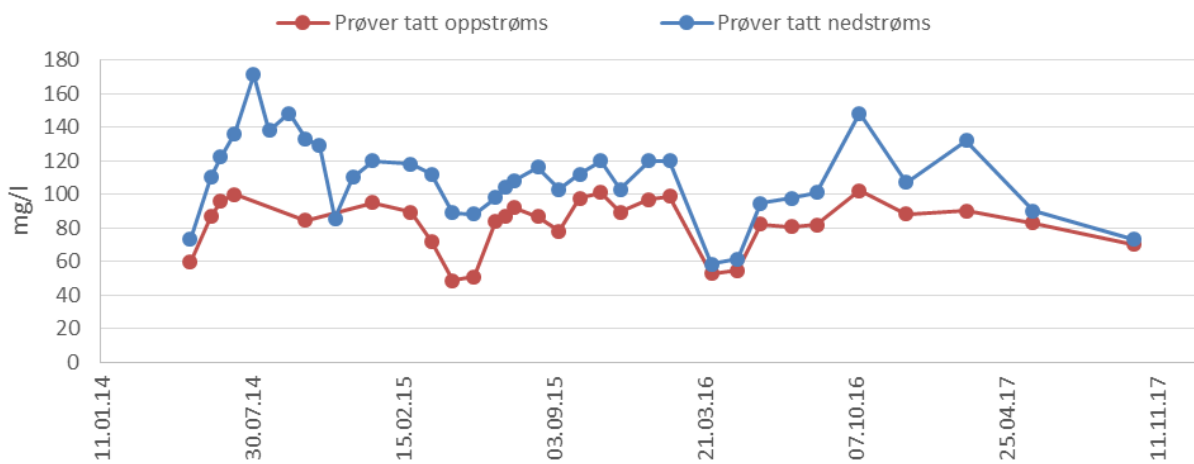
pH i Nordtangen-bekken



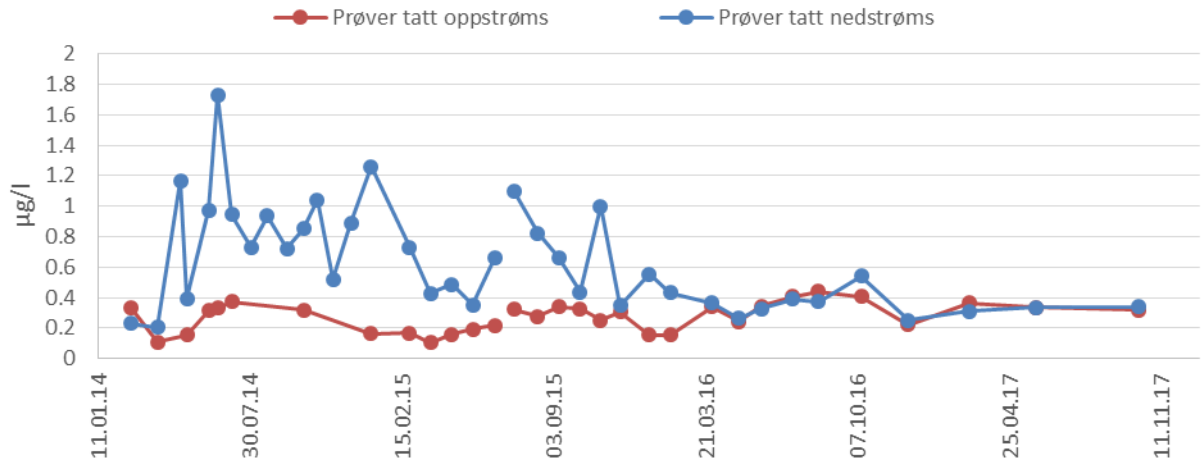
Alkalinitet pH 4,5 i Nordtangen-bekken



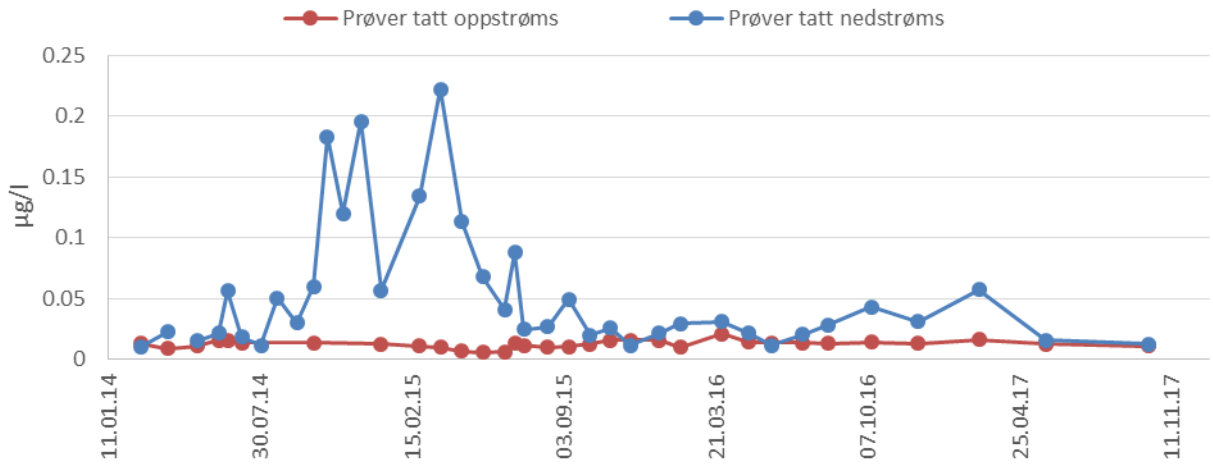
Kalsium (Ca) i Nordtangen-bekken



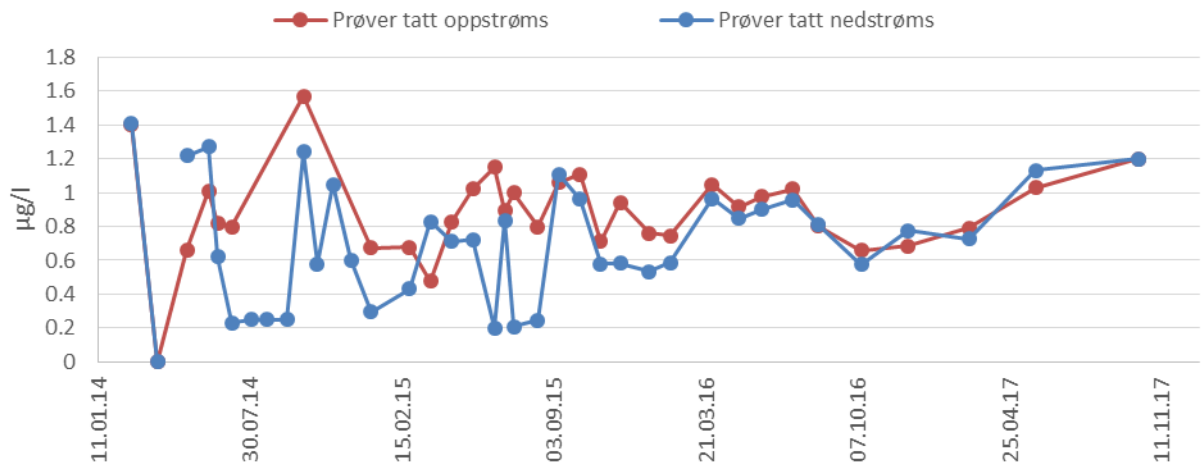
Arsen (As) i Nordtangen-bekken

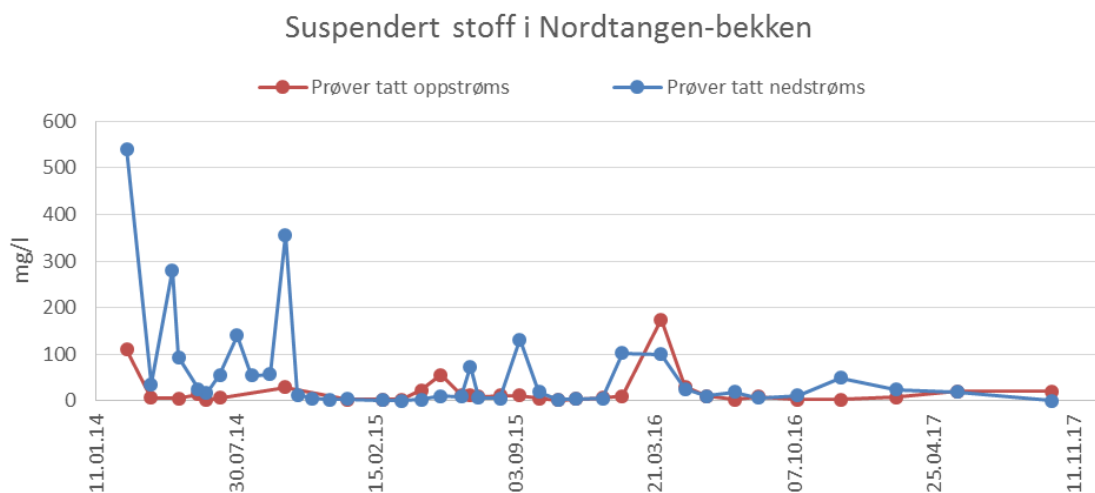


Kadmium (Cd) i Nordtangen-bekken



Kopper (Cu) i Nordtangen-bekken





Figur 143. Utvalde parameter prøvetatt i bekken på Nordtangen oppstrøms og nedstrøms frå 2014 – 2017.

10.3.3. BOTNDYR

Bekken på Nordtangen var ein av bekkane som blei prøvetatt for botndyr før og under anleggsarbeida (Engelstad, 2016). Hensikta var å kartlegge samansetjinga av ulike grupper og artar og å kartelegge metallnivåa i botndyra. Mykje finpartiklar og utfellingslag av jernoksid i bekkebotnen var ein faktor som gjorde at botndyrsamfunna var sterkt redusert ved prøvetaking sommaren 2015, samanlikna med forundersøkingane. Bekken viste auka konsentrasjonar av metall i botndyr under anleggsperioden enn før anleggsperioden. Dette tyder på det periodevis har vore dårlege forhold for botndyra i bekken medan anleggsarbeida pågjekk.

10.3.4. TOLKING/ KONSEKVEN SAR

Bekken på Nordtangen drenerer i eit område med alunskifer i grunnen og viste før byggearbeida blei igangsatt noko forhøgde konsentrasjonar av Fe, As, Co, Zn og Ni, noko som sannsynligvis er skulda påverknad frå alunskifer. Bekken på Nordtangen fekk negative påverknader i anleggsfasen. Ein viktig grunn til dette var auka suspendert stoff og at utfelling av rust dekkja botn på bekken i en periode. Den periodevise stiginga i tilstandsklassar nedstrøms anleggsområdet hang saman med anleggsaktiviteten. Rustutfellingane forsvann etter at bekken blei lagt om anleggsområdet, og ut ifrå dei siste vassprøvane tatt i 2017 ser det ut til at bekken gradvis har kome tilbake til opphavelig tilstand nedstrøms, dvs. metall og pH varierer mindre mellom oppstrøms og nedstrøms lokalitet.

I etterkant av anleggsarbeida skal bekken følgast opp med vassprøvar for å følgje med på tilstanden.

10.4. Bekk i Horgenmoen (forskjering nordre tunnelpåhogg)

10.4.1. HISTORIKK

Bekken som renn gjennom området for nordre tunnelportal er naturleg prega av alunskifer i grunnen oppstraums anlegget. Tidligare målingar før anleggsperioden viste verdiar heilt opp i 90 µg/l for U (sjå vedlegg 6). Bekken har hatt låg vassføring, spesielt om vinteren og sommaren med lite tilsig av vatn. Både oppstraums og nedstraums i bekken har det vore observert jernutfellingar gjennom prøvetakingsperioden (sjå figur 144), og ofte hatt ei dårleg lukt ved både oppstraums og nedstraums prøvepunkt.

Bekken på Horgenmoen blei prøvetatt regelmessig frå mars 2014, då anleggsarbeida starta opp i dette området. I starten av prøvetakinga blei det kun tatt prøver nedstraums vegen, og ikkje på oppstraums prøvepunkt, som skal vere upåverka av anleggsarbeida. Frå 17.09.14 starta prøvetakinga på oppstraums punkt. Dermed manglar det bakgrunnsdata/samanlikningsgrad for prøvane som er tatt før 17.09.14

Prinsipielt skal all alunskiferhaldig masse ha blitt fjerna frå gravearbeida. Slik masse blir imidlertid pulverisert og fragmentert under sprenging og graving. Derfor vil det ligge igjen noko som det er svært vanskeleg å lokalisere og samle opp igjen. Dette vil vere vanleg for alle anleggsarbeid der ein er i kontakt med alunskifer. Alunskifer blei fjerna ned til traub, dvs. der vegkroppen startar. Det betyr at det fortsatt finst alunskifer i dette området som ikkje er gravd i under anleggsarbeida og som derfor ikkje blei fjerna.

Hausten 2015 var grunnarbeida her ferdig, og det pågjekk vidare arbeid med tunnelportalen.



Figur 144. Horgenbekken oppstrøms (til høgre) og nedstrøms (til venstre) anleggsområdet for ny veg. Det er jernutfellingar i botnen på begge lokalitetane. Bilder er tatt 1. juli 2015.

10.4.2. VASSPRØVAR

Tabell 38 og figur 145 viser oversikt over vassprøver som blei tatt oppstrøms og nedstrøms i bekken som kryssar vegen i røyr forbi Horgenmoen. Bekken viste ei auke for uran- og sulfatverdiar då anleggsaktiviteten inkluderte sprenging og graving i berggrunnen frå sommaren 2014. Maksverdi for U nedstrøms var på 333 $\mu\text{g/l}$ i juni 2014, då det pågjekk grunnarbeid i området. Bekken blei lagt i røyr kort tid etter, og verdiane blei deretter redusert for kvar vassprøve (14 dagars mellomrom) med unntak av ein vassprøve tatt 27. oktober 2014 (figur 145). Det blei tatt fleire vassprøvar oppstrøms anleggsområdet, og prøvane viste at utsprengt område hadde ei viss utlekking som blei fanga opp nedstrøms i bekkestrengen. Dette er sannsynlegvis relatert til auka mengder av fragmentert skifer etter sprengingsarbeida.

Sprenging og fjerning av masse for tunnelportal nord frå vinter 2015 til mai/juni 2016 gav igjen utslag på uranverdiane nedstrøms i bekken, og var på det høgste 150 $\mu\text{g/L}$ i august 2016 (konsentrasjonar av uran var frå 50 – 77 $\mu\text{g/L}$ oppstrøms i bekken). På dette tidspunktet var gravearbeida ferdig i området. Samtidig blei også den høgste konsentrasjonen av nikkelpåvist på 116 $\mu\text{g/L}$ (tilstandsklasse 5), då var oppstrømsverdien 31 $\mu\text{g/l}$ (klasse 3). Det er uvisst kva denne aukinga kom av, då vegarbeid hovudsakleg var over på dette tidspunktet. At konsentrasjonar av uran og andre metall som nikkelpå og sink er høgare om sommaren kan ha med mindre vassføring å gjere, som

gjere at metall kan bli oppkonsentrert i vatnet. I tillegg kan høgare temperaturar til ein viss grad gjere at forvittringsreaksjonane i berget går fortare.

I 2017 har uranverdiane gått gradvis nedover på nedstraums lokalitet, men er fortsatt noko høgare enn oppstraums. Vi antar at dette kjem av at det fortsatt er finstoff av alunskifer i området, men at det også er ei følge av at det naturleg finst alunskifer i området mellom nedstraums og oppstraums prøvetaking, og ei auking frå dette området er derfor forventta. Vassprøven frå 12. oktober 2017, viste urankonsentrasjonar på 68 µg/L nedstraums og 50 µg/L oppstraums i bekken. Anleggsarbeidet har også til ein viss grad endra drenering og vassføring i området, så det kan og ha blitt eit litt endra nedslagsfelt nedstraums enn oppstraums.

pH-området for Horgenmoen var under heile anleggsperioden høgare nedstraums enn oppstraums (mellom 7 og 8,4 oppstraums og frå 7,8 – 8,5 nedstraums). Samtidig var sulfat høgare nedstraums enn oppstraums gjennom heile prøvetakinga (gjennomsnittsverdi på 137 mg/l nedstraums samanlikna med 95 mg/l oppstraums).

For metalla As og Cd var det generelt liten forskjell i konsentrasjonar nedstraums samanlikna med oppstraums verdiar, og konsentrasjonane var hovudsakleg i tilstandsklasse 2 eller 3 på begge prøvepunkt. Cu, Pb og Cr viste same trend, og hadde låge konsentrasjonar både oppstraums og nedstraums, som tilsvarte tilstandsklasse 1 og 2. Ni førekom i høge konsentrasjonar både oppstraums og nedstraums, og var som regel noko høgare nedstraums enn oppstraums. Maksverdiar på begge punkt var i klasse 5, medan dei lågaste verdiane var i klasse 3.

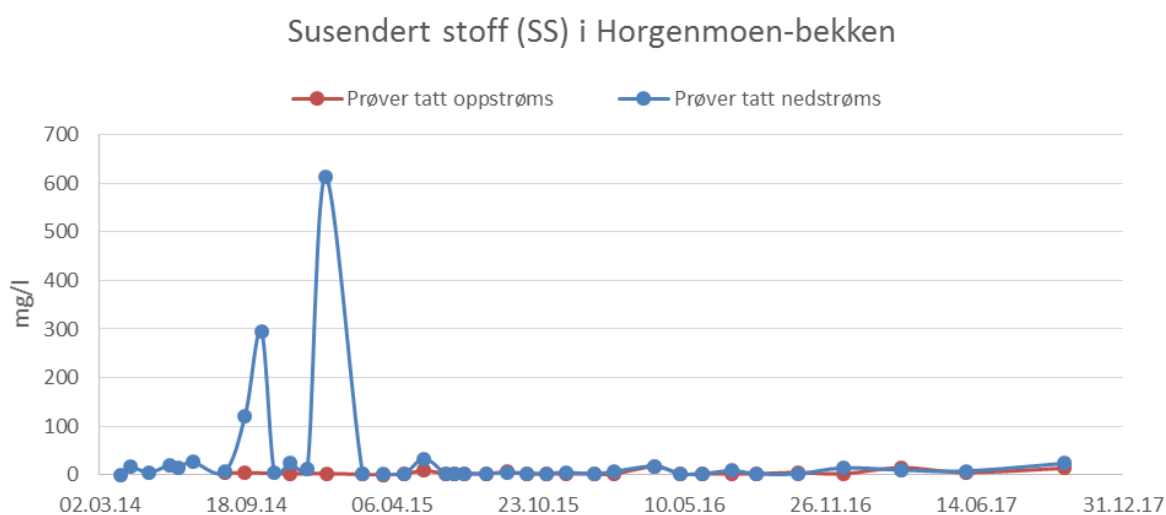
Gjennomsnittsverdiar for sink var i klasse 3 både oppstraums og nedstraums gjennom anleggsperioden. Maksverdiar var på 64 µg/l oppstraums og 54µg/l nedstraums, noko som tilsvare klasse 4. Zn-verdiane var høgare oppstraums enn nedstraums.

Finstoff i vassprøvane var ved tre tilfeller (sept, okt 2014 og jan 2015) svært mykje høgare nedstraums enn oppstraums, og var mellom 100 og 600 mg/l. Utanom dette var verdiane stort sett låge i bekken (frå 0,5 – 30 mg/l).

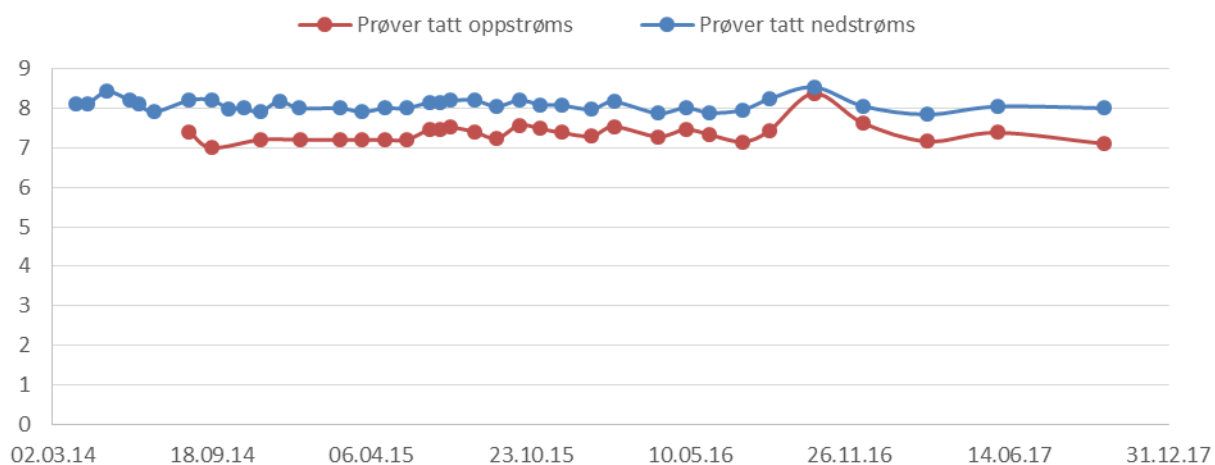
NORWAT tok prøver av sedimentet i Horgenbekken i 2015, og resultatane viste dei høgste sedimentkonsentrasjonane av Cd, U og Ni, samanlikna med dei andre bekkane på Gran. Urankonsentrasjonane var mellom 17 og 29 mg/kg. Horgenbekken blei imidlertid ikkje prøveatt i forundersøkingane til NORWAT.

Tabell 38. Inndeling i i tilstandklassar for klassifisering av tilstand oppstraums og nedstraums i Horgenmoenbekken (Miljødirektoratet, 2016). Det finst ikkje nasjonalt gjeldande grenseverdiar for uran, suspendert stoff eller sulfat. Konsentrasjonar er gitt i µg/l, bortsett frå SS og SO₄ som er mg/l.

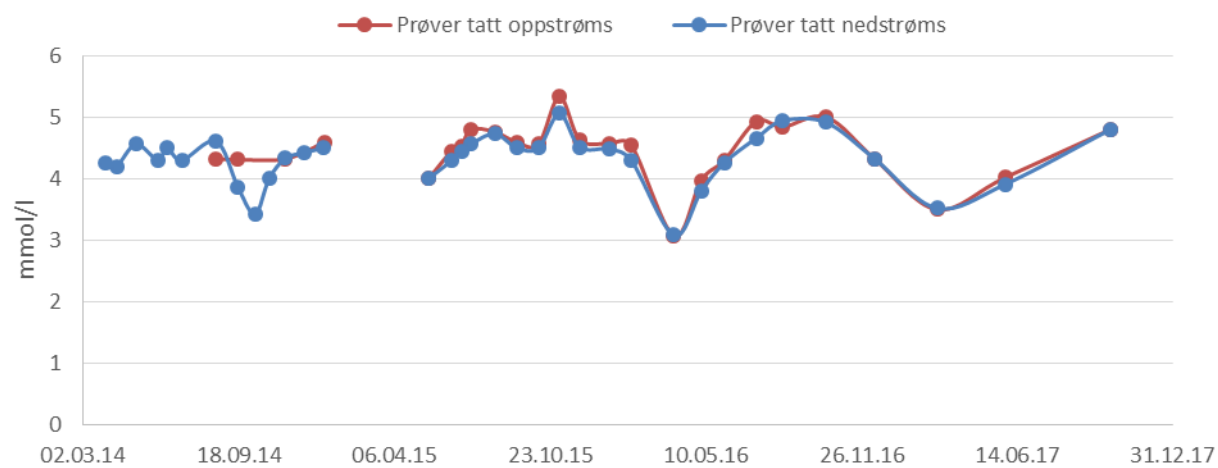
Metall		Minimumsverdi	Maksimumsverdi	Gjennomsnitt	Tilstandsklasse
As	Oppstraums	<0,06 (LOD)	0,71	0,29	1-3
	Nedstraums	<0,06 (LOD)	2,23	0,30	1-3
Cd	Oppstraums	0,01	1,30	0,26	2-3
	Nedstraums	0,01	0,83	0,22	2-3
Cr	Oppstraums	LOD (0,01)	0,11	0,03	1-2 (hovuds 1)
	Nedstraums	LOD (0,01)	0,12	0,03	1-2 (hovuds 1)
Cu	Oppstraums	LOD (0,2)	1,32	0,50	1-2
	Nedstraums	LOD (0,2)	3,01	0,64	1-2 (hovuds. 2)
Ni	Oppstraums	16	79	37	2-5 (1 i 5)
	Nedstraums	23	116	50	2-5
Pb	Oppstraums	<0,01	0,03	0,01	1-2 (kun to i 2)
	Nedstraums	<0,01	0,66	0,03	1-2 (kun to i 2)
Zn	Oppstraums	11	63	31	2-5 (hovuds 4)
	Nedstraums	2,5	54	17	2-4 (hovuds 4)
U	Oppstraums	38	79	56	
	Nedstraums	54	333	109	
SS	Oppstraums	LOD (1,0)	18	4,3	
	Nedstraums	LOD (0,02)	613	37	
SO ₄	Oppstraums	59	127	96	
	Nedstraums	79	236	137	



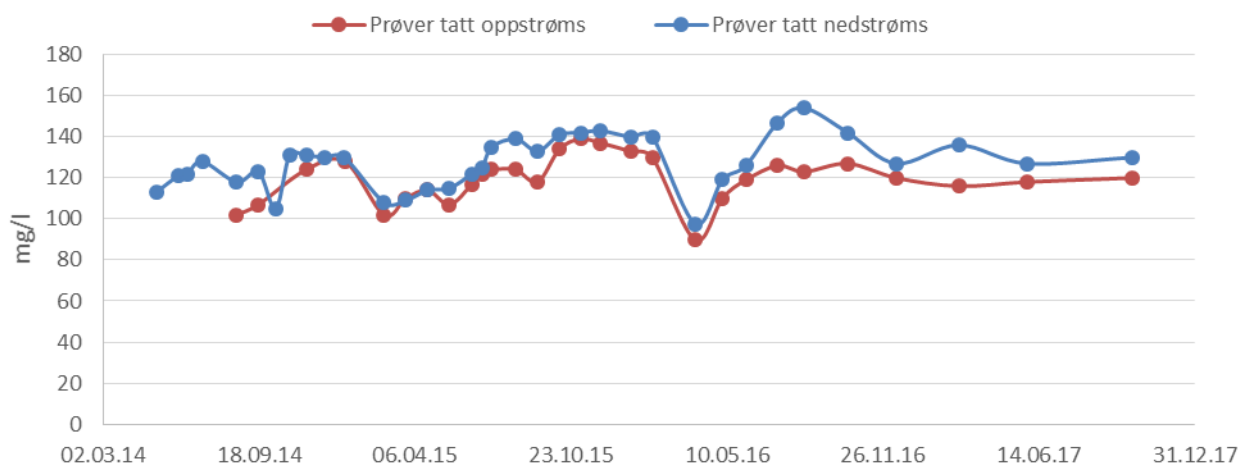
pH i Horgenmoen-bekken



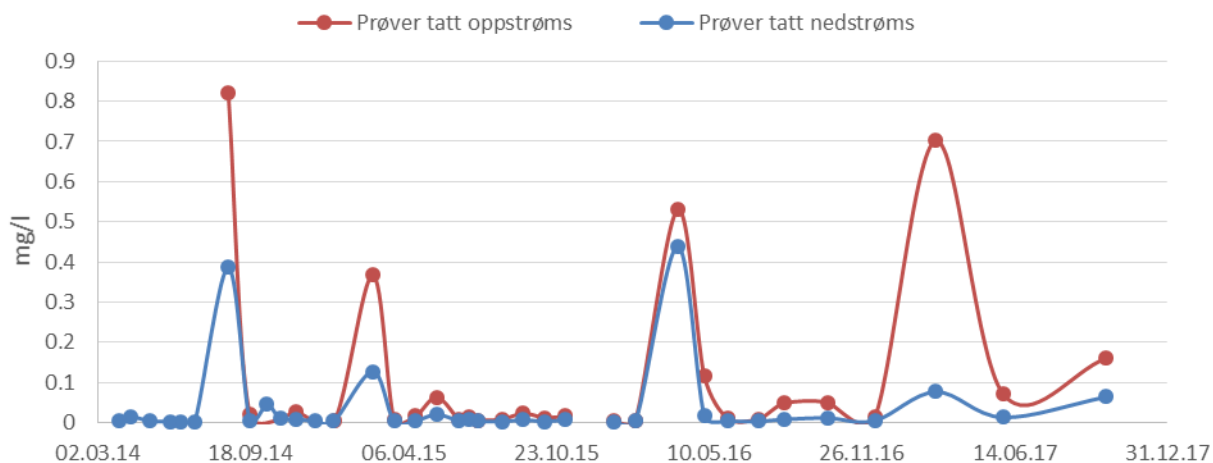
Alkalinitet pH 4,5 i Horgenmoen-bekken



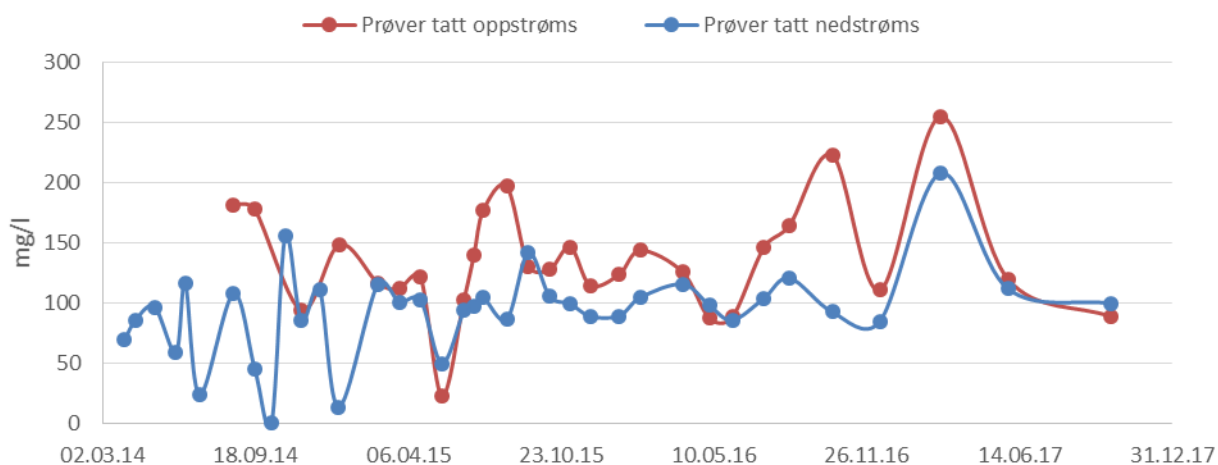
Kalsium (Ca) i Horgenmoen-bekken



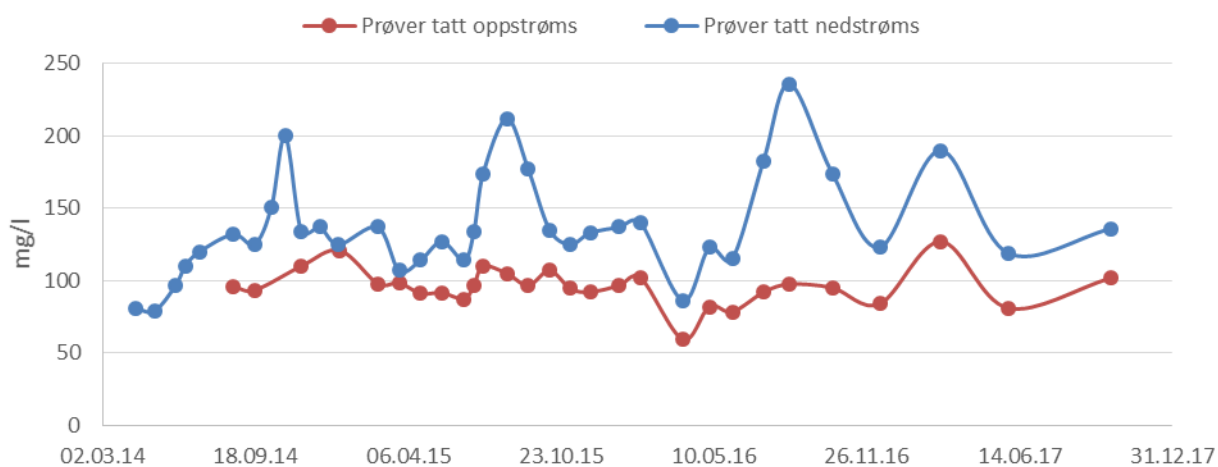
Jern (Fe) i Horgenmoen-bekken



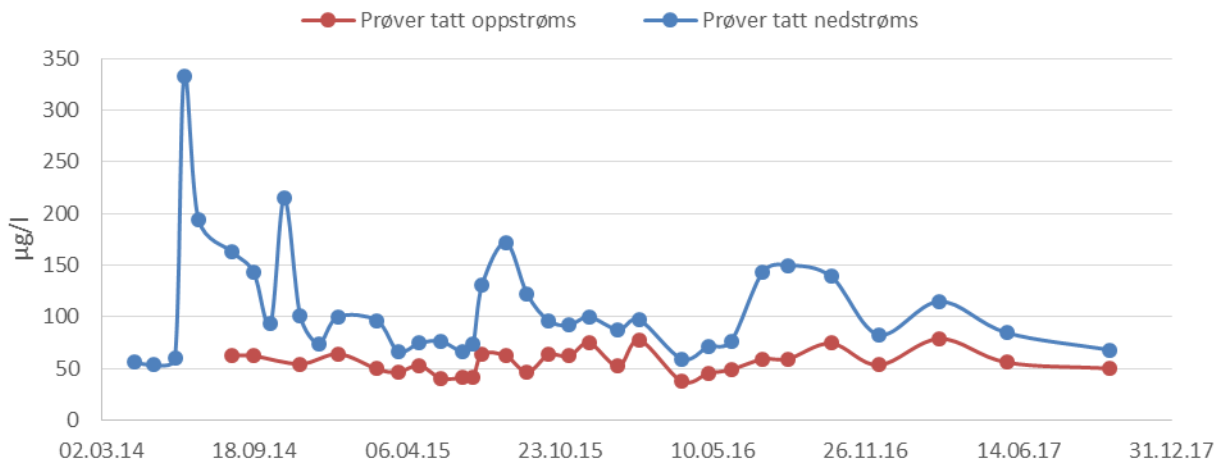
Mangan (Mn) i Horgenmoen-bekken



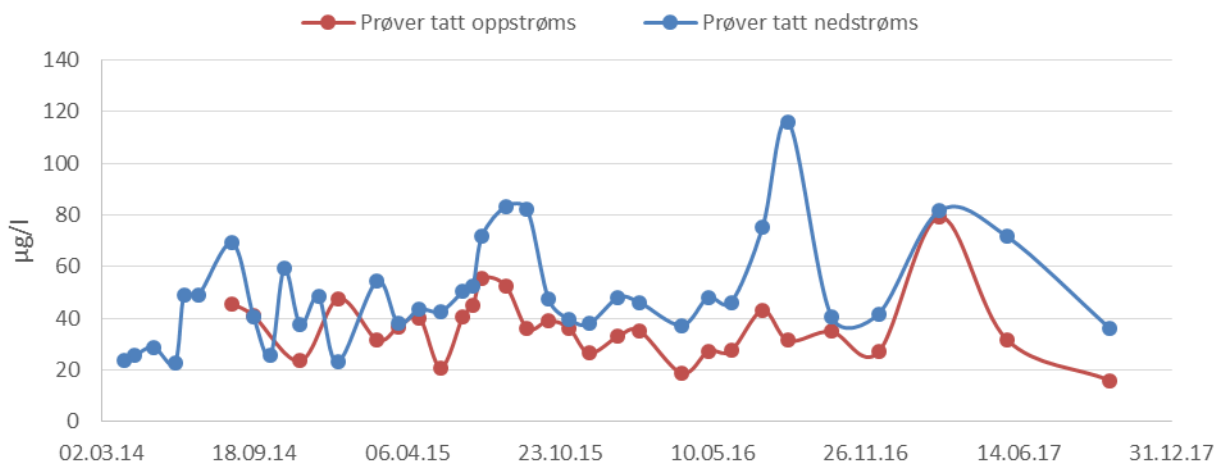
Sulfat (SO4) i Horgenmoen-bekken



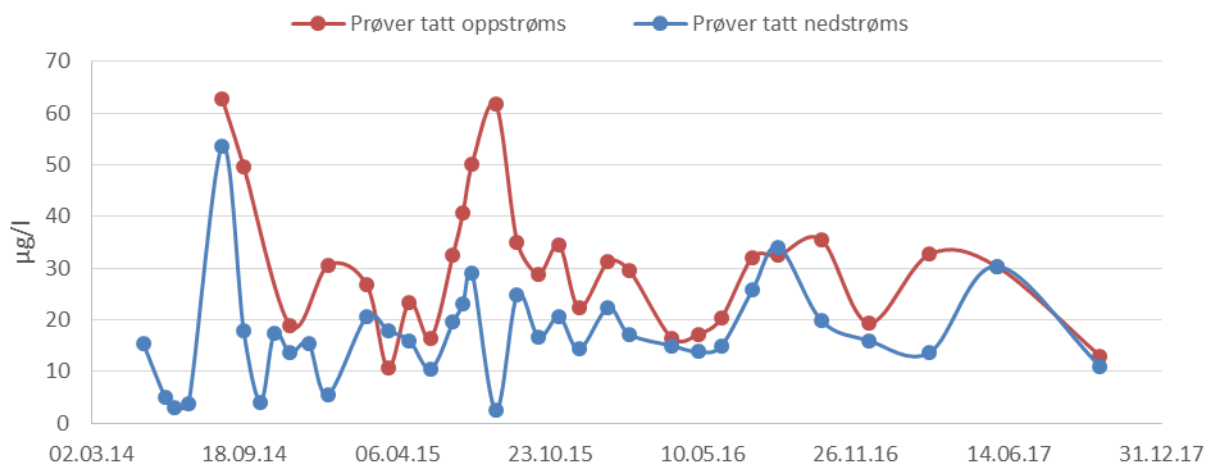
Uran (U) i Horgenmoen-bekken

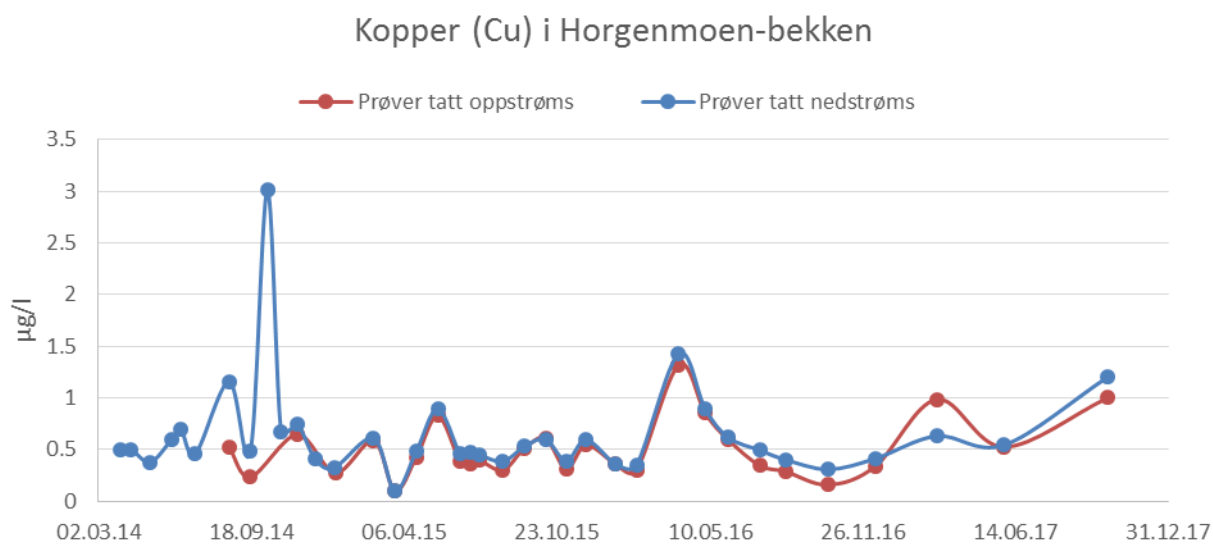
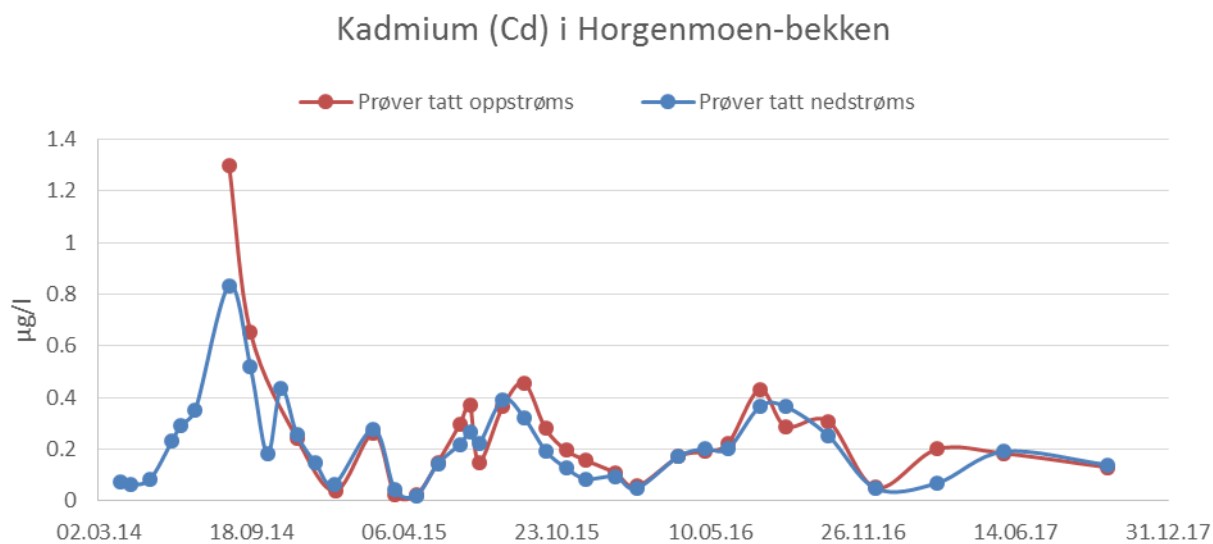
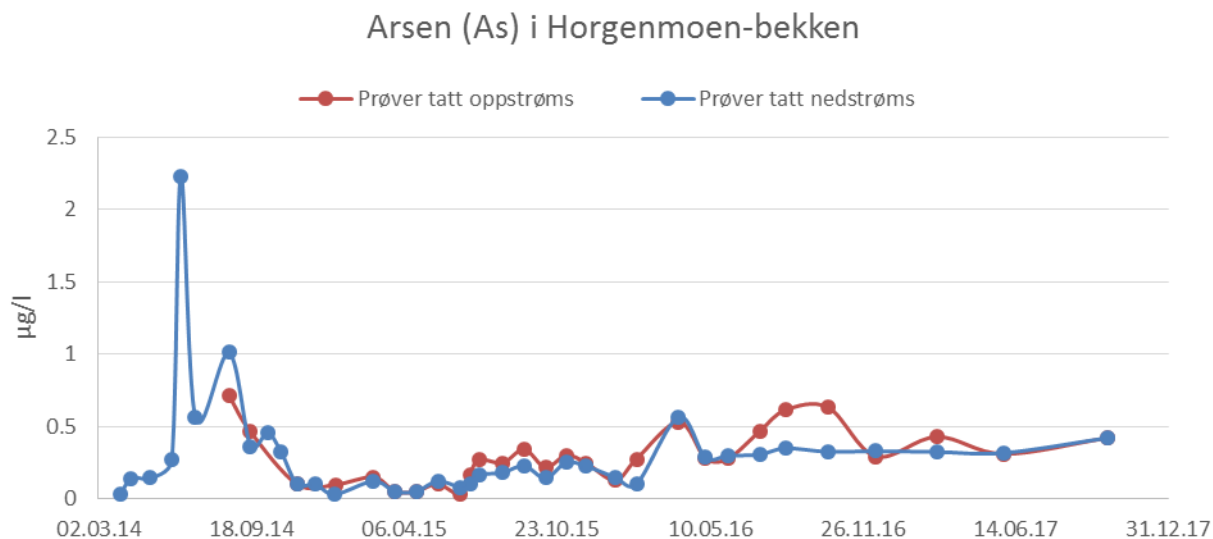


Nikkel (Ni) i Horgenmoen-bekken



Sink (Zn) i Horgenmoen-bekken





Figur 145. Utvalde parameter prøvetatt i bekken på Nordtangen oppstrøms og nedstrøms frå 2014 - 2017.

10.4.3. TEST AV ABSORBENT

Det blei vurdert å utføre tiltak i Horgenbekken ved å teste ein adsorbent bestående av jernhaldig sand. «Harpet rødmull» blei lagt som ein barriere nedstraums i bekken (sjå figur 146). Dette blei skaffa frå B-sjiktet frå grustak og skulle fungere som sorpsjonsmateriale for uran og eventuelle andre miljøproblematiske metall. Harpet rødmull blei lagt ut 15. desember 2014, og vassprøvar blei tatt nedstraums barrieren i starten av januar 2015. Sjø resultat frå prøvetakinga i vedlegg 22.2. Prøvane viste ubetydelege forskjellar og truleg var utlegging/design for dårlig med tanke på retensjonstid, samtidig som at årstida ikkje var gunstig med tanke på temperatur. Vi fortsette derfor ikkje med dette forsøket, men same type materiale blei vurdert under etatsprogrammet NORWAT.



Figur 146. Jernmold i striesekkar blei lagt ut nedstraums ved utløpet i Horgenbekken ved utløpet til Jarevatn.

10.4.4. TOLKING/ KONSEKVENSAAR

Horgenbekken viste dei høgste konsentrasjonane av uran og mange andre metall som ein kan vente i eit alunskiferområde, samanlikna med Vigga og Nordtangen-bekken. Bekken har ikkje hatt god vasskvalitet verken oppstraums eller nedstraums, ut i frå

Miljødirektoratets rettleiar for klassifisering av ferskvatn, med konsentrasjonar av nikkel i klasse 5 og Zn i klasse 4 på det høgaste på begge lokalitetar. Horgenbekken var imidlertid også påverka av alunskifer før vegarbeida starta opp, noko som blei vist ved Statens vegvesen prøvetaking i forundersøkingane (sjå vedlegg 6.1). Dei auka konsentrasjonane av sulfat, U og Ni nedstraums i anleggsfasen er sannsynlegvis ein konsekvens av anleggsaktiviteten, som medførte fragmentert skifer i området etter sprengningsarbeida.

Etter slutført anleggsaktivitet har konsentrasjonane blitt redusert ved nedstraums prøvepunkt, men nokre parameter er fortsatt noko forhøga samanlikna med oppstraums. Vi antar at dette er ei følgje av at det naturleg finst alunskifer i området mellom nedstraums og oppstraums prøvepunkt. Vassprøven tatt 12. oktober 2017 viste urankonsentrasjonar på 68 µg/L nedstraums og 50 µg/L oppstraums i bekken. Prøvetaking av denne bekkestrengen vil fortsette i miljøovervakingsprogrammet for driftsfasen.

10.5. Vøienbekken

10.5.1. VASSPRØVER

Vøienbekken blei prøvetatt med vassprøver oppstraums i fire omgangar frå mars – juni 2014. Dette var referanseprøver for naturleg bakgrunnsnivå i området. Det blei ikkje tatt prøver nedstraums i Vøienbekken ved desse prøvetakingane. Vøienbekken blei igjen prøvetatt i tre omgangar i 2017 oppstraums og nedstraums, etter at utløp for drensvatn frå tunnel og dagsone blei lagt til Vøienbekken, for å overvake korleis utløpet påvirka Vøienbekken nedstraums. Resultata er vist i Vedlegg 25. NORWAT brukte også Vøienbekken (oppstraums) som eit referansepunkt ved sine feltarbeid.

Oppsummert har Vøienbekken vist god kjemisk kvalitet i tilstandsklasse 1–2 oppstraums og nedstraums ved aktuelle prøvetidspunkt.

Etter at utsleppet vart lagt til Vøienbekken, blei éin konsentrasjon av nikkel i klasse 3 (4,2 µg/l) påvist nedstraums 12.10.17 (oppstraums var Ni 1,6 µg/l). Vatnet blir etter kort tid vidare fortynna i Vigga. Uran viste ved prøvetakingane i oktober og november 2017 ei auking frå 0,9 µg/l oppstraums til henholdsvis 4,4 og 6,9 µg/l nedstraums før

utløpet i Vigga. pH i Vøienbekken har vist mellom 7,7 og 8,1. Vøienbekken er noko påverka av nitrogen og fosforavrenning, som sannsynlegvis er landbruksrelatert.

10.5.2. DGT

Det blei sett ut passive prøvetakarar (DGTar) oppstrams i Vøienbekken i totalt 8 periodar over 3 veker i 2014. Dette var referansestasjonar, som blei brukt til å samanlikne med DGTar nedstrams i Vigga. Det var låge metallkonsentrasjonar som blei tatt opp i DGTane i prøvepunktet for Vøienbekken. Meir om DGT-undersøkingane i Vøienbekken og Vigga finst i vedlegg 27.1 –27.3.

10.5.3. TOLKING/KONSEKVEN SAR

Etter at utløp for drensvatn blei anlagt ut til Vøienbekken, har nedre deler av Vøienbekken (ei strekning på ca 50 m), før utløpet til Vigga fått tilført drensvatn med noko høgare metallkonsentrasjonar, slik at nedstramsverdiar aukar. Likevel er bekken i nedre deler fortsatt i klasse 1 og 2, med unntak av ei måling av Ni på 4,9 µg/l i oktober. Nedstrams har det på det høgste blitt påvist 6,9 µg U/l. Vatnet blir etter kort tid vidare fortynna i Vigga. Bekken blir prøvetatt vidare i overvakingsprogrammet.

10.6. Jarenvatnet

Jarenvatnet er mottakande resipient for elva Vigga og dei to bekkane nord på Gran; Horgenbekken og Nordtangenbekken. Jarenvatnet har sannsynlegvis fått noko auka tilførsel av visse metall og sulfat relatert til vegbygging i alunskifer i nedbørsfeltet til vatnet. Jarenvatnet blei imidlertid ikkje prøvetatt med vassprøver i vårt faste overvakingsprogram, men i staden blei det i samband med NORWAT henta inn sedimentprøver og gjort analysar av fisk i vatnet for vurdering av miljøpåverknad.

10.6.1. SEDIMENTPRØVER

Representantar frå NORWAT tok ut sedimentprøver frå ein prøvelokalitet ved Vigga sitt utløp i Jarenvatnet og i 2013 og 2015. Generelt reflekterte konsentrasjonane av grunnstoff i sedimenta konsentrasjonene i vatnet på lokaliteten, og låg innanfor variasjonsområdet til verdiane funne i 2013 (Skipperud m.fl., 2016). Det blei i tillegg tatt ut sedimentkjerner frå det nordlege og sørlege bassenget i Jarenvatnet i november 2014

(Sørli, 2015). I sedimentkjernene blei det ikkje funne særskilde spor etter vegprosjektet, inkludert fyllingane som blei anlagt i forbindelse med riksveg 4. Jarenvatnet har sannsynlegvis også tilbake i tid vore påverka av avrenning frå områder med skifer ettersom resultata i undersøkinga viste at det var høgare verdier av svovel på 1800-tallet samanlikna med verdier på 2000-tallet. Studien viste vidare at bassenga følgjer same utvikling frå 1800-tallet fram til rundt 1960 – 1970-tallet. Fra då av viser nordleg basseng ei anna utvikling samanlikna med sørleg basseng, med generelt høgare verdier for organisk materiale, klorofyll a og svovel. Dette indikerer at nordleg basseng blir påverka av ei meir lokal drivkraft, som er antatt å vere urbanisering med ikkje tilstrekkeleg infrastruktur for kloakkhandtering. Med ein lang periode med menneskeleg aktivitet i nedbørsfeltet (m.a. jordbruk og gruvedrift) vil det vere urealistisk å etablere eit uttrykk for ein referansetilstand utan menneske (Sørli, 2015). Sedimentkjernene frå 2014 vil vere viktige referansemålingar som seinare kan brukast ved undersøkingar av eventuelle endringar framover i tid.

10.6.2. ANALYSAR AV FISK

Mort, abbor og gjedde blei fanga med garn i Jarenvatnet ved utløpet av Vigga i 2015, og blei analysert med hensyn på ulike spormetall i ulike organ (Skipperud m.fl. 2016). Det blei dokumentert U og Cd i organ til mort og abbor i Jarenvatnet, og dette kan vere eit resultat av opptak av metallet via næringskjeda. Det blei imidlertid ikkje tatt prøver av fisk frå denne lokaliteten før anleggsarbeida starta, slik at det ikkje er mogleg å samanlikne med før-prøvar. Analysane kan likevel brukast som samanlikningsgrunnlag ved endringar i sediment- eller vassprøvar framover i tid.

11. VURDERING AV MILJØPÅVERKNAD

11.1. Vurdering av miljøpåverknad i vassdrag

Både analysar av opptak av metall i fisk, og passive prøvetakarar i Vigga viste at det var låg risiko for negative skadeverknader av opptak av metall i vasslevande organsimar.

Grenseverdiane for metall i utsleppsløyvet for anleggsfasen (Fylkesmannen i Oppland) tilsvarte verdier i klasse 3 (KLIF, 2012). Til tider overskreid utsleppet av det reinsa

tunneldrivevatnet grenseverdiane for turbiditet pH, ammoniakk (NH₃) og metalla Cr, Cu, Ni og Zn. Det førte til ei viss auke i Vigga, men konsentrasjonane var likevel låge, i tilstandsklasse 1 og 2.

Makskonsentrasjonane av Cu, Ni, Pb og Zn var i forundersøkingane for vassprøvetaking av brønnar i myra allereie over den gitte utsleppsgrenser i utsleppsløynet for anleggsvatn (t.d. Zn der 13 av 53 prøvar oversteig 11 µg/l, Ni der 4 av 52 oversteig 34 µg/l). Dette viser at området naturleg var påverka av berggrunnen i området (Elnes leirskifer), og at utsleppsgrensene var sett konservativt.

For utslepp av vatn frå byggegropa i masselageret var det enkelte overskridelsar av Cd, Ni og Zn. Dette førte ikkje auka tilstandsklasser i Vigga. Det var ikkje sett utsleppsgrense for uran, men vi baserte oss på at utsleppet ikkje skulle ha negative konsekvensar for vassmiljøet i Vigga (d.v.s. over 15 µg/l etter Canadian Council of Ministers of the Environment, 2011). Høgste målte urankonsentrasjon i Vigga var rundt 5 µg/l, noko som er ansett som ikkje miljøskadeleg. Samtidig gjer karbonat-innhaldet i Vigga at uran er mindre toksisk (antatt over 100 mg CaCO₃/L tilseier PNEC-verdi for uran på mg-nivå i følgje Skipperud m.fl. (2016).

Dei passive prøveatakarane i Vigga (DGTar) kunne ikkje fange opp metallkonsentrasjonar som var skadelege for fisk. NORWAT dokumenterte også låge konsentrasjonar av tungmetall i organa på fisken (brunørret) både før og etter ferdig anleggsarbeid, og nivåa var betydeleg lågare enn det som kan gi negativ effekt. I tillegg hadde fisken ein normal kondisjonsfaktor. Resultata frå undersøkelsen viste ingen effektar på fisken som var samla inn som kunne relaterast til anleggsverksemd.

Sannsynlegvis utgjorde periodevise overskridingar av suspendert stoff frå utløpet for reinsa tunneldrivevatn den største potensielle negative påverknaden på Vigga gjennom anleggsperioden. Dette kan ha bidrege til kortvarige lokale negative effektar, ved tilslamming av elvebotn, men vil bli spylt vekk ved neste flaum (sjå rapportar frå NIBIO i vedlegg 26).

Bekkane på Nordtangen og Horgenmoen fekk begge påvist varierende grad av auke i metall nedstraums samanlikna med oppstraums verdiar. Horgenbekken hadde høge verdiar av uran, som kan vere skadelege for organismar i bekken. Bekken var imidlertid

påverka før anleggsarbeida starta; det er ikkje ein bekk for fisk og sannsynlegvis er det lite botndyr som har tilhald her.

Det oppstod rustutfellingar i bekken som gjekk gjennom anleggsområdet på Nordtangen. Dette var noko som forsvann etter å legge om bekken utanfor anleggsområdet. Kanskje kunne denne bekken blitt lagt i røyr eit større strekke for å unngå negativ påverknad i anleggsperioden.

Bekkane på Nordtangen og Horgenmoen har etter avslutting av anleggsarbeida vist lågare innhald av tungmetall. Prøvetakinga i oktober 2017 viste at bekken på Nordtangen hadde tilnærma likt kjemisk innhald nedstraums som oppstraums, medan den siste målinga i februar 2018 viste at U-konsentrasjonane var noko høgre nedstraums (13 µg/l) enn oppstraums (6 µg/l). Bekken på Horgenmoen hadde i oktober 2017 fortsatt noko høgre konsentrasjonar av U og Ni nedstraums enn oppstraums (auke med 20 µg/l), medan Zn, As, Cd og Cu var på same nivå oppstraums og nedstraums. Bekkane blir prøvetatt vidare i det treårige overvakingsprogrammet.

Konsentrasjonane av uran i sediment frå lokalitane frå feltarbeidet til NORWAT (inkludert Vigga og bekk på Nordtangen) i 2015 var mellom 2,3 – 8,9 mg U/kg og låg innanfor variasjonsområdet til verdiane funne i 2013, og det var derfor ikkje mogleg å sjå ein påverknad frå tunnelarbeidet. Bekken på Horgenmoen hadde høgare konsentrasjonar av uran i sedimentet ved prøvetaking i 2015 (mellom 17 og 29 mg/kg), men blei ikkje prøvetatt for dette i forundersøkingane.

NORWAT gjorde ei screening av forventade doserate for dei ulike resipientane (Skipperud m.fl., 2016). For lokalitetane *Vigga utløp i Jarevatnet* og *Nordtangenbekken* var forventade doserate <10 µGy/t for alle målte radionuklidar for alle inkluderte organismar ($p < 0.05$), og sannsynet for ein negativ radiologisk effekt var liten. Horgenbekken, som naturleg har høge urankonsentrasjonar hadde forventade doserate 17 µGy/t for insektlarver (botndyr) og zooplankton, 26 µGy/t for blautdyr (sniglar og skjell) og 10 µGy/t for karplanter. Konservativ doserate for krepsdyr og reptiler på 10 µGy/t blei forventade overskrida. Vi kan altså ikkje utelukke radiologiske effektar på lokal biota ved Horgenbekken.

11.2. Vurdering av masselagerets tilstand

I løpet av arbeida med masseutskiftinga var det ulik grad av oksygentilgang til massane som blei lagt i myra, noko som kan ha ført til ein viss grad av oksidasjon av sulfid i massane. Dette viste seg ved at sulfatkonsentrasjonane i vatnet auka i perioden etter utlegging av skifer. Vi har følgd med på masselagerets tilstand etter ferdigstilling ved å overvake grunnvatnet i masselageret. Etter at masselageret blei ferdigstilt har oksygentilgangen blitt redusert. Vi har sett reduserande forhold med Eh-verdiar ned til -200 Mv både i den grunnaste og i den djupaste brønnen. Det er likevel ennå eit stykke igjen til optimale Eh/pH-forhold. Eh-verdiane blir redusert jo djupare i masselageret ein måler.

Oppsummert frå dei siste prøvetakingane ser vi den ønska effekten med låg, negativ Eh i dei djupare delane av masselageret. I øvre deler er det meir oksygentilgang og Eh er høgre. Brønnane B1–B3 har også låge konsentrasjonar av nitrat og høg eller høgare konsentrasjon av ammonium, noko som tyder på reduserande forhold. Brønn B1 og B2 har større konsentrasjonar av Ni, U og sulfat enn brønn B3, noko som kan tyde på at oksidasjonsprosessen har verka i brønn B1 og B2. Likevel har konsentrasjonane av mellom anna Cd og U gått vesentleg ned sidan 2016 både i B1 og B2. Alkaliniteten i brønnane har halde seg stabilt høg ved siste prøvetakingar i november 2017 og februar 2018, noko som er positivt. Det blir viktig å følgje med på korleis alkaliniteten og sulfatkonsentrasjonen varierer i prøvene framover. Variasjonar i Eh og vasskjemi skal framover sjåst i samanheng med variasjonar i grunnvassstand, temperatur og årstidsvariasjonar. Dette vil gi ein indikasjon på om masselageret er tilstekteleg tett.

Nokre av brønnane nedstraums (BO2, BO3 og BO4) har auka innhald av sulfat og metall (mellom anna uran og nikkel). Også utløp av drensvatn (TUN–UT) frå området har høge metallkonsentrasjonar, utan at dette vatnet er venta å ha ein direkte samanheng med vatnet i masselageret. Sidan det delvis er brukt svart leirskifer i oppfylling av ramper og anna utfylling av området, så vil også noko diffus avrenning kome herifrå. Brønnane nedstraums er spesielt påverka av vegsalt; Det er målt høgt kloridinnhald i brønn BO1 og BO2. Også utløpet for drensvatn frå veg og tunnel (TUN–UT) har høg konduktivitet og ser ut til å vere saltpåverka.

Oppfølginga i den neste treårsperioden vil gi fleire data, og vil gi eit større grunnlag for å vurdere mekanismane som skjer i tilknytning til masselageret. Det vil vere spesielt viktig å følgje med på mengde vatn og vasskjemie på det vatnet som kjem ut frå masselageret under vegbana og blir transportert via dreneringa. Vi er klar over at lekkasje inn i masselageret og vasstransport ut er størst i periodar med snøsmelting og mykje nedbør. Viss dette er forhold som over tid ikkje er akseptable må ein sjå på avbøtande tiltak.

12. OPPFØLGING VIDARE

12.1. Overvakingsprogram

NIBIO er engasjert for å følge opp det tre-årige miljøovervakingsprogrammet for masselageret i driftsfasen. Plan for prøvetaking er lista opp i tabell 39. NIBIO starta overvakinga i oktober 2017, og har per 23. april 2018 utført 4 prøvetakingsrundar. I tillegg til vassprøvetaking har grunnvasstand og Eh/pH blitt målt i nokre av brønnane. Figur 119 i kapittel 8.2.2.2 viser prøvetakingspunkt i tilknytting til masselageret.

Framover blir det viktig å følgje med på om buffer (CaCO_3) blir brukt opp (ved at alkaliniteten søkk) og om pH endrar seg. Konsentrasjon av løyste metall som Ni, Zn og U må også overvakast i masselageret og i nedstraums område. Samtidig er vassbalansen viktig å ha oversikt over, for å studere strøymingsforholda og grunnvasstanden i området. NIBIO skal rapportere funna årleg. Etter tre år skal det utarbeidast ein rapport med overvakingsresultat og diskusjon av vidare oppfølging. Denne rapporten skal føreligge innan utgangen av 2020. Det vil bli lagt vekt på å dokumentere vasskvaliteten i Vigga.

Tabell 39. Oversikt over prøvetakingspunkt for treårig overvåkingsprogram for masselageret 2017–2020. * = brønnar som gir informasjon om kjemisk tilstand og vassbalanse.

Prøvetakingspunkt	Frekvens	Kommentar
Masselager		
* Brønn B1 myr (5 m)	6–8 pr år (SVV)	Må avdekke årstidvariasjonen, kanskje færre pr./år etter 2018. Vassprøve, automatisk logging av Eh/pH, vasstand, temperatur
* Brønn B2 myr (9m)	6–8 pr år (SVV)	Må avdekke årstidvariasjonen, kanskje færre pr./år etter 2018. Vassprøve, automatisk logging av vasstand
* Brønn B3 myr (15m)	6–8pr år (SVV)	Må avdekke årstidvariasjonen, kanskje færre pr./år etter 2018. Vassprøve, automatisk logging av Eh/pH, vasstand, temperatur
*) Brønn BO1 – BO6 nedstrøms/oppstraums masselager	4 pr år (SVV)	Vassprøve og vasstand
*) Brønn 13	4 pr år (SVV)	Vassprøve og vasstand
Vigga/Vøien		
Vigga oppstraums	4 pr år (SVV)	Nytt målepunkt frå 20.02.16. Oppstraums utløp Vøienbekken. Vassprøve
Vigga nedstraums	4 pr år (SVV)	30 meter nedstraums Vøienbekken, alternativt ved Haslerudgutua (HAS). Vassprøve
Oppstraums i Vøienbekken	4 pr år (SVV)	Vassprøve
Nedstraums i Vøienbekken	4 pr år (SVV)	Vassprøve
Utløp tunnelvatn og dreinsvatn (til Vøien)	4 pr år (SVV)	Vassprøve
Bekk 1 Horgenbekken		
Horgen oppstrøms	4 pr år (SVV)	Vassprøve. Etter første år kan det vurderast å redusere prøvetakingsfrekvens.
Horgen nedstrøms	4 pr år (SVV)	Vassprøve. Etter første år kan det vurderast å redusere prøvetakingsfrekvens.
Bekk 2 Nordtangenbekken		
Nordt. oppstrøms	4 pr år (SVV)	Vassprøve. Etter første år kan det vurderast å redusere prøvetakingsfrekvens
Nordt. nedstrøms	4 pr år (SVV)	Vassprøve. Etter første år kan det vurderast å redusere prøvetakingsfrekvens
Pumpesump tunnel		
I pumpesump	2 pr år (SVV)	Vassprøve. Prøvar av dreinsvatn.
Ved tunnelvask (heilvask)		
Pumpesump	v/tunnelvask 1/år	Skal gjerast dei første gongene tunnelen blir vaska: Prøve i vaskevassmagasinet før utslepp til utjammingsmagasinet
Vigga oppstrøms og nedstrøms	v/tunnelvask 1/år	Skal gjerast dei første gongene tunnelen blir vaska: Vassprøvar skal takast i Vigga samband med utslepp av tunnelvaskevatt

12.2. Hensynssoner

Statens vegvesen sendte eit brev til Gran kommune i mars 2017, med kopi til Fylkesmannen i Oppland og NVE, der vi la fram forslag til hensynssoner for området rundt masselageret for kommuneplanens arealdel.

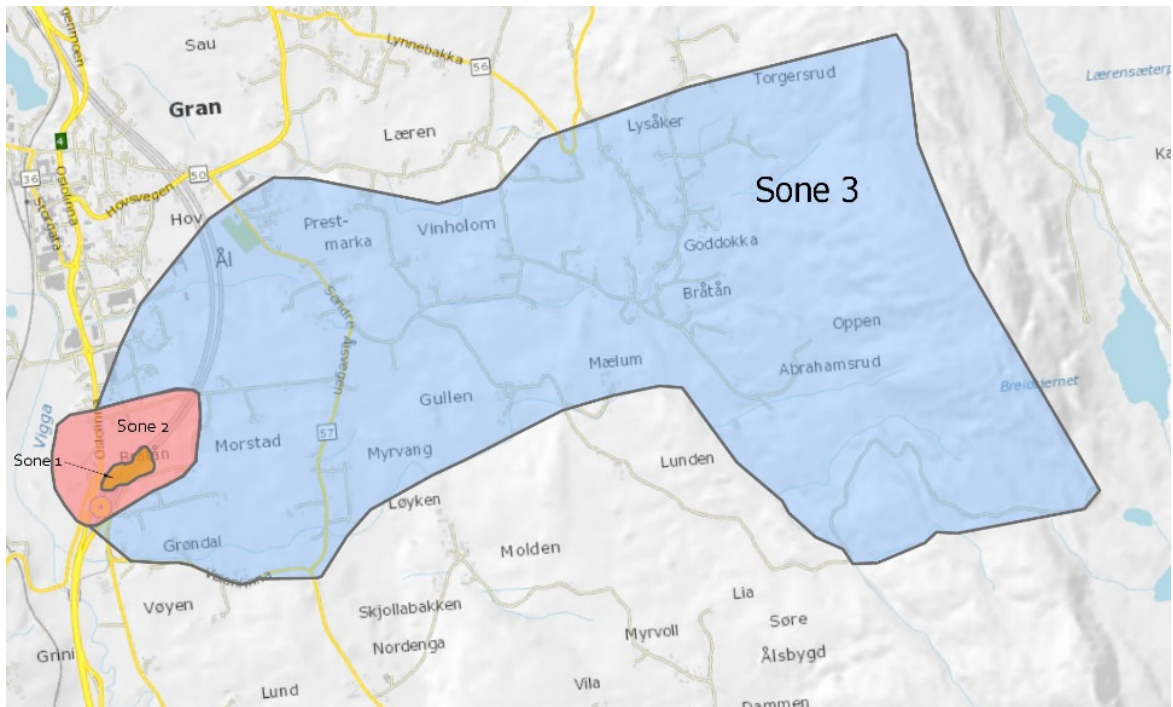
Sjølv om det ikkje er lovleg å gjere tiltak som senkar grunnvatnet, så anbefalte Statens vegvesen at det skulle opprettast tre hensynssoner for å sikre området (sjå kart i figur 147 for forslag til avgrensing):

Sone 1 er sjølve masselageret. Restriksjonsnivået her vil vere direkte knytta til å redusere faren for endring av grunnvassforholda.

Sone 2 utgjer ei sone der vi antar at ei grunnvassenking vil gi ein muleg senking av grunnvatnet i masselageret. Området kan byggjast ut på visse vilkår, så framt at det ikkje påverkar grunnvassforholda.

Sone 3 utgjer eit utvida nedbørsfelt til sone 1 og strekkjer seg opp mot Svartbråtåberget. Mykje av nedbøren går i dag til direkte avrenning i to bekkesystem og mindre til infiltrasjon. I denne sona må det visast aktsemd mot tiltak som kan redusere infiltrasjon av overvatn ned i grunnen, då redusert infiltrasjon på sikt vil kunne påverke grunnvasstanden.

Hensynssonene med dei tilhøyrande reglane blei tatt inn i tråd med vår anbefaling, men planen er fortsatt ikkje sluttbehandla. Lågare grunnvasstand enn det svartskifer er lagra på (kote 203 moh) er og lite truleg, då elva Vigga ligg på om lag på same kote forbi masselageret.



Figur 147. Forslag til hensynssoner i tilknytning til masselageret til Kommuneplanens arealdel.

DEL 4 ERFARINGAR FRÅ GRAN

13. FORUNDERSØKINGAR

13.1. Geologisk og geotekniske undersøkingar

I område med alunskifer og svartskifer er det viktig å utføre geologisk kartlegging ekstra tidleg i planprosessen for å finne det mest eigna trasévalget og førebu nødvendige tiltak. Det er alltid nødvendig å utføre eiga geologisk kartlegging i detaljert målestokk for å knytte førekomst av potensielt forureinande berg i grunnen til berggrunnsgeologiske kart som viser kva bergart som er i overflata. For dette prosjektet var det særskild viktig å utføre ei detaljert kartlegging (målestokk 1:1000) av alle bergartane som grunnlag for ei realistisk tolking av geologien på tunnelnivå. Bergartane var folda og med teikn til overskyving, noko som kunne tenkast å føre til at alunskifer kunne dukke opp på meir enn eitt område. Det geologiske profilet vi tolka oss fram til viste seg å fange opp det vesentlege, noko som hadde store fordelar for bl.a. anleggslogistikk og om massane kunne brukast i veglinja eller om dei måtte køyrast til masselageret. Det er generelt nødvendig å knytte bergartstypene til pelenummer som grunnlag for prising, logistikk og masseberekning. Svart leirskifer, inkludert alunskifer, er svake bergartar som kan gjennomgå ei rask forvitring. Feltkartlegging og registreringar må legge vekt på forvittringsomfang og fragmenteringsegenskapar. Stor overdekning med lausmassar er ofte eit problem, og det må tidleg settast i gang eit boreprogram med opphenting av prøver og borekaks for vidare analysar med tanke på forureiningspotensial for dei ulike massetypane. Over svarte leirskifrar vil det ofte vere eit forvittringsprofil (kan vere potensielt forureinande) som lett blir tolka som morenemassar ved geotekniske sonderingar. Også korttransporterte lausmassar (forvittringsjord, mjøsmorene m.m.) bør undersøkast i felt, både visuelt, med kjemiske analysar og mineralidentifikasjon (XRD), både med tanke på forureiningspotensialet og naturlege bakgrunnsverdiar, for å avklare deponeringsalternativ ved bortkøyring til godkjend deponi eller lokale løysningar.

I samband med planlegging av tunnelar med uttak av berg med potensiale for forureinande utlekking, er det særleg viktig med detaljerte geologiske og geofysiske

undersøkingar for sikker tolking av korleis dei ulike svarte, grå og kalkrike leirskifrane har utstrekning i grunnen.

På Gran hadde vi ved kartlegginga god nytte av ein kombinasjon av kjerneprøver og kaksprøver frå fjellkontrollboringar. Prøvene må analyserast for å karakterisere skiferen, dette inneber m.a.

- Identifisere og karakterisere type svart, grå og kalkrik leirskifer som kan påtreffast.
- Avdekke kjemiske og mineralogiske variasjonar som kan påverke potensiale for avrenning (kjemisk analyse jfr M310 og mineralanalysar (XRD))
- Avdekke kva for tungmetall som er knytt til svovelforbindelsar (mineralkjemisk analyse og mineralidentifikasjon, XRD)
- Avdekke kva for mineral dei radioaktive elementa (uran og thorium) er knytt til. Dette gjeld særleg for uran, som er mobilt. Thorium er stort sett ikkje mobilt.
- Avdekke bufferevna i skiferen (innhald av kalsiumkarbonat m.m.)
- Vurdere frigjering av tungmetall, inkludert uran, ved nøytrale pH-verdiar (Neutral Rock Drainage).
- Etablere ein detaljert geologisk lengdeprofil i tiltaksområdet. Dette forutset at ein har identifisert kvar ein er i kambro-silurlagrekka.

Det kan vere nyttig å utføre utlekkingsstestar på dei aktuelle skifrane i området, for å gjere ei vurdering av potensiale for avrenning på kort sikt. Det er ein vanlig oppfatning at det primært er utvikling av avrenning med låg pH som skal takast omsyn til, men ein må og vurdere potensialet for frigjering av tungmetall som eksempelvis nikkel, molybden, kadmium, uran og sink ved nøytrale pH verdiar.

Det er og viktig å vere bevisst på at miljørisiko og det forureinande potensialet for alunskifer og andre svarte og mørkegrå leirskifrar avheng av korleis massane blir handtert og lagra. Dette gjeld og deler av jordprofilet/lausmasseprofilet oppå svarte leirskifrar. Viss lokal løysing for lagring er mest eigna, er det ekstra viktig å involvere miljømyndighetene tidleg. Tungmetall, uran og aluminium er naturlege element i naturen. Det er i kva konsentrasjon ein finn dei i, eller dei blir frigjort i, som avgjer om dei kan utgjere ein risiko for miljøet. Eit svært viktig moment i vurderingane er då kva bakgrunnsverdiar (konsentrasjonar) som er representative for eit område.

13.2. Hydrologiske og vasskjemiske undersøkingar

Det er viktig å kartlegge overflatevatn og grunnvatn, og strøymingsmønsteret i grunnen i det influensområdet ein antar kan bli påverka av inngrepet. Føremålet er å få ein god dokumentasjon av førsituasjonen både i område der ein planlegg å ta ut svartskifer og lausmassar som kan vere deponipliktige, og i område som kan nyttast som lokale lager. Ved lokal lagring er det ein fordel å legge til rette slik at ein minimerer transport og mellomlagring.

Som ein del av plan for ytre miljø inngår kartlegging av moglege resipientar og ei verdivurdering av vassdrag. Det må fokuserast på sårbare og verdifulle resipientar når ein skal planlegge overvakinga.

Avrenninga vil alltid vere påverka av hydrologiske og hydrogeologiske forhold, det er derfor svært viktig å skaffe oversikt over nedbørsfelt, vassbalansen og nedbørstatistikk for tiltaksområdet. Om nødvendig kan ein sette opp ein eigen vêt-stasjon der meteorologisk institutt har dårleg dekning. Variasjonar i grunnvatn i lausmassar og fjell bør overvakast i god tid før anleggsstart, gjerne i fleire år slik at ein får ei god forståing av årstidsvariasjonar og kor raskt grunnvatnet responderer på nedbør.

Kartlegging av overflatevatn blei på Gran utført ved å ta vassprøver frå bekkar og vassdrag innanfor antatt influensområde. Dei første vassprøvene som blir tekne i et område bør analyserast med omsyn på eit breitt spekter av parameter for å kartegge vasskemi og bakterieinnhald, for å få gode referanseverdiar og informasjon om naturlege bakgrunnsverdiar. Ein bør alltid måle inn med kartkoordinatar til stader det blir tekne prøver, då eit anleggsområde endrar seg over tid. Endringar i strøymingsbiletet kan og endre den kjemiske samansettinga i vatnet i tilgrensande grunnvassbrønner. Private drikkevassbrønner innanfor influensområdet bør undersøkast både med omsyn til grunnvasskemi og kapasitet.

Dei fleste bekkar og vassdrag er prega av flaum og påverknad frå jordbruk eller andre forureiningskjelder gjennom året. God kunnskap før oppstart om dette og årsvariasjonar i prøveresultat vil vere til god nytte for å kunne tolke resultata raskare og betre under anleggsarbeidet. Det er og viktig for å kunne dokumentere at eventuelle endringar er innanfor dei krav som er sett.

For å undersøke grunnvatn må det settast ned brønner. Det er viktig å vere klar over skilnaden på grunnvatn i lausmassar som har eit samanhengande grunnvass-spegel og grunnvatn i berg der vatn først og fremst blir transportert via sprekkesystem i bergmassane. For å avdekke eventuelle samanhengande vassførande lag i lausmassane kan ein gjennomføre ein pumpetest. På Gran blei det pumpa vatn frå brønner med filter i ulike lag, både i lausmassar og i fjell. Registrering av senketrakta i pumpebrønnen og observasjonsbrønnane rundt gav nyttig informasjon om strøyming og strøymingsgradientar.

13.3. Lagringsmetode

Ein kvar lagringsmetode har som mål å oppnå:

- geoteknisk stabilitet
- geokjemisk stabilitet (tilpassa stabiliteten til mineral som kan frigje tungmetall og syre ved oksidasjon)
- hydrogeologisk stabilitet (mest mogleg statiske forhold)

Svart leirskifer og spesielt alunskifer har potensiale for ei forvitring som kan føre med seg frigjering av tungmetall, uran og aluminium. Når omfang av overskotsmassar av svarte leirskifrar er så stort at levering til godkjent deponi vil utgjere ein vesentleg del av totaløkonomien i prosjektet, bør ein vurdere om lokal lagring er økonomisk, praktisk og miljømessig forsvarleg. Det bør tilstrebast å prosjektetre løysingar som ikkje set krav til forvaltning i ettertid.

Parallelt med at ein avdekkar forholda i det aktuelle området bør ein ha ein prosess med Fylkesmannen og kommunen som forvaltar lovverket. Ein slik prosess må startast tidlig. I vårt tilfelle blei ansvaret for behandlinga av søknaden overført til KLIF (Miljødirektoratet) frå Fylkesmannen i Oppland. Statens strålevern må og ha eigen søknad. Søknadsprosessen tok ca. 2 år.

Når ein etter grundige forundersøkingar har kartlagt og vurdert overskotsmassane, må det undersøkast om ein kan nyttiggjere seg av dei. Ny Rv. 4 på Gran var lagt over eit myrområde der ein uansett måtte gjere tiltak for å oppnå ei vegstrekning med tilstrekkeleg stabilitet og setningsutvikling. Aktuelle tiltak var masseutskifting, bygge veg på flåte eller myrbru. Andre måtar for nyttiggjering alunskifer kan vere å fylle igjen eit sidetak i anleggsområdet dersom tilgang til god stein er ein mangelvare i prosjektet.

Kvar løysing og kvart område vil ha sine utfordringar, først og fremst for å avgrense tilgang til oksygen eller vatn (at det oppstår forvitring), men og med tanke på praktisk gjennomføring undervegs, og eventuell overvaking av slike masselager i etterkant.

For masseutskifting i myra på Gran var det viktig å dokumentere:

- Topografiske forhold og tilgjengeleg lagringsvolum, type massar som vart liggande inn mot masselageret.
- Hydrologi og hydrogeokjemi, spesielt interaksjonane mellom dei utlagde massane og grunnvatn.
- Vassbalanse for området. Korleis vasskjemien og vasstransporten var gjennom området, og avklare om det var mogleg å oppnå anoksiske forhold for kjemisk stabilisering av alunskifer.. Sørge for tiltak for avskjering og drenering av oksygenrikt vatn i overflata.
- Kontroll på grunnvasstand og på eventuelle konsekvensar ved endringar.
- Metode for masseutskifting og driftsopplegg. Fokus på potensiale for å bevare massane mest mogleg uforvitra (fortrenging, utgraving, kort mellomlagring etc.)

Overvaking av grunnvasstand og vasskjemi før, under og etter masseutskiftinga var spesielt sentralt på Gran sidan konseptet for lagringa av massane var eit oksygenfattig miljø i ei myr.

14. UNDER ANLEGGSDRIFTA

14.1. Klassifisering av svartskifer med XRF i anleggsdrifta

14.1.1. VIKTIGHEITA AV XRF-BRUK

Bruk av handheldt XRF var heilt avgjerande for å få ei god og trygg handtering av massane som blei produsert i løpet av anleggsdrifta. Analysar på kjerneprøver i opp til 100m framfor tunnelstuff og prøver frå kvar tunnelstuff, bidrog til ei effektiv anleggsdrift. Det gav føreseieleg driftsopplegg for entreprenøren, og byggherre hadde god kontroll på svartskiferen frå tunnel og dagsone, som etter løyvet frå MD skulle lagrast i masselageret.

Lokalt anvendelig utstyr og etablering av enkle rutinar for analyse gjorde at byggherrepersonalet på tunnel kunne gjennomføre ei rask vurdering og identifisering og klassifisering av bergartane. Sortering av massane fortløpande på stoff var avgjerande både for å lukkast med anleggsgjennomføringa, og for å sikre rask lagring i oksygenfattig miljø.

14.1.2. GRENSEVERDIAR – BEHOV FOR MINERALOGISK ANALYSE I KVART PROSJEKT

Grenseverdiar som blei nytta på Gran var tilpassa for dei gjeldande forholda på Gran. Dei same grenseverdiane er ikkje nødvendigvis anvendelige på andre prosjekt. Årsaka til dette er at totalkjemien ikkje aleine reflekterer potensialet for utlekking. Det er løysingsevna til minerala, saman med fragmenteringsegenskapane, som reelt styrer over dei kjemiske reaksjonane som kan fører til auka konsentrasjonar og mogleg forureining. Utan bakgrunnskunnskap frå mineralogisk analyse (type sulfid og innhald av karbonat) i forprosjektet ville det ha vore vanskelegare å gi ei riktig tolking av totalkjemi basert på handheldt XRF. Mineralogisk analyse er med andre ord ein føresetnad for å sette opp interne grenseverdiar i det einskilde prosjekt.

Grenseverdiane for svovel og kalsium tok utgangspunkt i at svovel i hovudsak var bunde i sulfid (potensielt syreproduserande svovelkis) og at kalsium var bunde i kalsiumkarbonat (kalsitt, som verkar som pH buffer). Dette var på førehand verifisert med mineralogisk analyse ved røntgendiffraksjon (XRD) på fleire prøver av alunskifer og andre svartskiferar. Innhald av kalsiumkarbonat kan og påvisast ved syretest (kvalitativ metode), som vi testa jamleg på kjerneprøver frå Granstunnelen. I andre situasjonar vil derimot kalsiuminnhaldet vere knytt til feltspat og andre tyngre løyselege mineral som ikkje er effektive som pH buffer. Total svovel kan representere svovelkis, som på Gran, samt eksempelvis innslag av nikkelsulfid, sinksulfid og kopparsulfid. Derimot vil totalinnhaldet av svovel i alunskifer i Oslo reflektere både svovelkis og magnetkis. Magnetkis kan raskare enn svovelkis sette i gang forvitring som reduserer pH, og som difor kan gjere alunskiferen vesentleg meir reaktiv og kan auke potensialet for danning av syre- og utlekking av tungmetall.

Klassifiseringsrettleiaren frå Miljødirektoratet som kom i 2015 (NGI, 2015) legg opp til å kartlegge det syredannande potensialet ved hjelp av svovelinnhaldet (syredannande potensial), totalt organisk karbon (TOC) og totalt uorganisk karbon (TIC), som

representerer karbonatinnhaldet (nøytraliseringspotensial). Deretter er jern/svovelforholdet relevant for å finne ut om jern er bunde i sulfid. Rettleiaren framheld også viktigheita av å identifisere ulike stratigrafiske nivå i den geologiske lagrekka. Dette er framstilt i ulike trekantdiagram som hjelpemiddel for klassifiseringa. Ein kan knytte nokre viktige kommentarar til klassifiseringsrettleiaren:

- Systemet er svært nyttig for å skilje mellom ulike kambro–siluriske sedimentære bergartar, inklusive forskjellar og likskapar mellom alunskifer og andre svarte skifrar (grunnlag for å samanlikne nye analysedata med tidlegare erfaringar).
- AP–NP–diagrammet er utvikla basert på analysar av TIC (total Inorganic Carbon). Dette kan ikkje analyserast med handheldt XRF.
- Rettleiaren er ikkje tilrettelagt for sikker klassifisering av svovelførande gneisbergartar med stort syrepotensial, fordi mineralogien og måten dei førekjem på har eit stort spenn og er i tillegg svært forskjellig frå kambro–siluriske sedimentære bergartar (Hagelia og Fjermestad 2016).
- Rettleiaren er ikkje berekna på å kunne identifisera alle typar forureinande bergartar. Ein må generelt undersøke mineralogien i både uforvittra og forvittra deler av bergmassen, kornstorleiken til potensielt forureinande mineral, forvitringstilstanden (overflatenær eller omfattande djupforvitring?) og fragmenteringsegenskapar.

På Gran nytta vi i tillegg til analyser av svovel og kalsium også grenseverdier for utvalde metall som indikatorar for å påvise svartskifer med potensiale for utlekking av forhøga konsentrasjonar. Fleire metall kan vere høge i bergartar som ikkje nødvendigvis er syredannande. Dette bør takast omsyn til ved val av grenseverdier. På Gran vart derfor ein sum av fleire metall nytta som grenseverdi, der enkelte av dei var ekstra viktige. Eit sikkert metall for å identifisere svartskifer frå alunskiferformasjonen er normalt uran. Ved høge uranverdier over 50 mg/kg er det sannsynleg at det er alunskifer i grunnen.

14.2. Samarbeid byggherre og utførande entreprenør

Eit godt samarbeid mellom alle aktørar er nøkkelen for ei god gjennomføring. På Gran nytta entreprenøren i stor grad eigne tilsette og maskinpark i tunneldrivinga, medan utgraving og utkøyring av massar i masselageret først og fremst blei utført av

underentreprenører. God koordinering av ulike arbeidsoppgåver som gjekk føre seg samtidig var viktig, og rask og riktig klassifisering var avgjerande for at ein unngjekk forstyrrande inngrep i anleggsdrifta. Kjerneprøver frå stuff på opp mot 100 m lengde blei derfor bora på helg eller om natta, og prøvetaking og analyse for kvar salve vart gjort saman med normal kartlegging på stuff. Analysane gjorde at det blei meir føreseieleg om massane måtte leggest i masselageret under vegkroppen, eller om dei kunne nyttast til vegbyggingsformål som øvrige massar. I periodar med stor aktivitet blei det gjennomført jamlege møter med formenn frå entreprenøren, kontrollingeniørar og fagressursar frå byggherre for å sikre god kvalitet og koordinering.

Det var mykje utskifting av entreprenørens YM-ansvarlege. Gjennom anleggsperioden var det til saman fem personar som stod som ansvarleg for ytre miljø, og dette var uheldig. Oppfølgingsarbeidet måtte difor i stor grad gjerast av byggherrens ressursar.

I ettertid ser vi at ein i utforming av kontrakt og tildelingskriteria kunne ha lagt større vekt på kunnskap om-, og handtering av alunskifer. Sjølv om det var stilt krav om YM-koordinator, så meiner vi at kommunikasjonen kunne ha blitt endå betre dersom entreprenøren hadde hatt eigen miljøgeologisk ekspertise innan emnet i prosjektorganisasjonen. YM-koordinatorar har ofte ikkje tilstrekkeleg kunnskap om dette. Dessutan er det fleire tekniske val i samband med prosjektering som ikkje blir fanga opp av YM då konsekvensar/risiko ikkje er openbare. Dette vil vere særleg viktig å tydeleggjere som krav i prosjekteringsfase for totalentreprisar og OPS-kontraktar, då denne kunnskapen enno er mangelfull i bransjen.

14.3. Redusering av miljørisiko

14.3.1. MILJØOVERVAKINGSPROGRAM

På førehand var det gjort ei kartlegging av resipientane som kunne bli påverka i anleggsperioden, og registrering av naturlege bakgrunnsverdiar. Måleopplegget og kva parameter ein skal overvake må tilpassast dei lokale forholda. En må og analysere relevante grunnstoff og forbindelsar som er knytt til forvitring og frigjering til ei vassfase, i tillegg til parameter som avdekkar forureining frå anleggsdrifta. Prøvane bør analyserast både filtrert og ufiltrert for å sjå kva som er på ioneform. Dette er spesielt viktig for aluminium.

Miljøovervakingsprogrammet på Gran var særst omfattande sidan det var eit pilotprosjekt og det var usikkerheit knytt til kva som skulle krevjast. Overvakinga var gjort for å kunne dokumentere situasjon før byggestart og ein eventuell miljøpåverknad i størst mogleg grad, men også for å få meir kunnskap om korleis inngrep i svartskifer påverkar lokale vassdrag.

Vi tok i bruk fleire overvakingmetodar, og opplevde at dei på kvar sin måte kunne gje oss informasjon om eventuelle påverknader i vassresipientane. Det viktigaste var vassprøver oppstraums og nedstraums i elver og bekkar i tilknytning til anlegget, og frå eigne inspeksjonsbrønner i både fjell og lausmassar.

Jamlege uttak av vassprøver gjev gode indikasjonar på effekt av tiltaket på det aktuelle tidspunktet, og gjer det mogleg å observere trendar i endringar i konsentrasjonar over tid. Samtidig kan ein knytte resultata opp mot gjeldande tilstandsklassar for vassdrag. Dei passive prøvetakarane var eit nyttig supplement for å dokumentere og vurdere konsentrasjonar av metalliske grunnstoff over tid, og derav økologisk risiko for vasslevande organismar. Kontinuerleg nettbasert overvaking i Vigga av pH, turbiditet, leiendingsevne og vasstand var eit godt verktøy for å kunne følgje med på variasjonar i Vigga og eventuelle hendingar med utslepp av suspendert stoff.

14.3.2. TILTAK MOT SPREIING AV FORUREINING

Dersom det er mogleg bør det gjerast tiltak for å unngå at bekkar drenerer i nærleiken av utsprengde svartskifermassar. Eitt tiltak kan vere å midlertidig legge om bekkar eller legge bekken midlertidig i røyr forbi det aktuelle anleggsområdet.

Det er vanskeleg å få fjerna finfragmentert materiale heilt frå anleggsområdet etter sprenging. Slikt finstoff er det mest reaktive og kan føre til ei diffus avrenning med auka metallkonsentrasjonar frå området. Ved etablering av skjeringar i alunskifer og andre svarte leirskifrar bør ein heilt unngå djupsprenging og underboring, og generelt legge opp til sprenging som gjev lite finstoff. I vegnormalane N200 er det krav til ikkje å undersprengje i svake bergartar, men dette må følgast opp spesielt då kunnskapen om svake bergartar, slik som svarte leirskifrar er noko mangelfull. Undersprenging i svart leirskifer kan og medføre auka miljørisiko og auka risiko for setningssskadar grunna forvitring. For å gje minst mogleg grunnlag for forvitring og finstoffproduksjon i

skjeringar med skifer bør ein vurdere saumboring og forsiktig sprenging, eller eventuelt vurderer saging. Tildekking med sprøytebetong gjev og god sikring mot forvitring.

Det bør gjerast vurderingar på førehand på moglege reinsetiltak for vatn som er påverka av svartskifer. Å reinse vatn med løyste metall kan vere utfordrande, og det er ofte vanskeleg å få god effekt på reinseanlegga. Dei omfattande reinsetiltaka på Gran hadde i praksis låg grad av effekt på løyste metall.

På Gran vart det registerert at det oppstod ei naturleg flokkulering i vassoverflata når skiferen vart lagt i myra. Finstoff frå massane som blei lagt ut samla seg på vassoverflata og utvikla seg til større samanhengande einingar som flaut på grunn av danninga av gassfylte lommer. Denne prosessen, saman med naturleg sedimentering av partiklar i masselageret, bidrog til at vatnet som blei pumpa ut var relativt klart, og at reinseløysingar basert på kunstig flokkulering ikkje fungerte spesielt bra. Det er alltid viktig å ta prøver av vatnet før og etter det har passert reinseanlegget, for å dokumentere reinseeffekten til anlegget.

Gjennom tiltaket på Gran blei det gjennomført vitenskaplege undersøkingar av ulike sorbentar for fjerning av uran (Alvarenga m.fl., 2016; Ahmad, 2015). Resultata viste mellom anna at torv kunne brukast som naturleg sorbent for opptak av uran, molybden og nikkel. Det viste seg at 10 g torv per liter kunne ta opp 99% av uranet i testvatnet, medan 4 g torv/l tok opp 90 % (basert på 24 timars kontakttid) (Ahmad, 2015). Torv hadde ikkje effekt for opptak av svovel og arsen. Bruk av torv som reinsemetode blei ikkje testa i praksis på Gran. Fleire sorbentar blei testa i samband med NORWAT-prosjektet og nemnt i Skipperud m. fl. (2016). Bentonitt blanda med diatomitt (DB-12P-HP) hadde høg sorpsjonskapasitet for uran og andre metall ved pH 7,5.

Tiltak for å unngå sur avrenning har ofte vore kalking. På Gran vart det utført kalking i nokre områder. Dette gjekk vi likevel vekk frå etter kvart, både fordi pH i vatn frå området heldt seg på nøytrale verdiar gjennom heile anleggsperioden og fordi ein fekk erfaring med at vanleg jordbrukskalk ikkje var eigna. I utlekkingsforsøka med utsprengt svartskifer frå tunnel og dagsona på Gran (Fjermestad, Hagelia & Thomassen, 2017), vart det gjort forsøk med tilsetjing av kalk på nokre av pallane, men det viste seg at kalken som vart nytta faktisk førte til ei auka utlekking av uran.

15. VIDARE UTVIKLING

15.1. Lokal lagring

Lokal lagring av alunskifer har mange fordelar, både samfunnsøkonomisk og med tanke på miljøomsyn. Ein unngår transport over lengre avstandar og alunskiferen blir lagra i eit område med økosystem som allereie er tilpassa ein berggrunn av naturleg førekommande svartskifer. Det er fleire store utbyggingsprosjekt på austlandet der ein finn alunskifer og andre svarte skifrar. Å legge til rette for meir nyttiggjering av massane i anlegget, eller opne for fleire lokale deponiløysingar kan vere eit godt alternativ til bortkøyring til dei 3 eksisterande godkjende deponia på austlandet. For å lukkast bør fleire statlege byggherrar som Bane NOR, Statsbygg og Statens vegvesen, saman med miljøinstansane, sjå på moglege løysingar. Til dømes bør det vurderast om avgrensa fyllingar, sidetak, nedlagde steinbrot eller sjødeponi kan vere moglege framtidige tilpassa løysingar for plassering av massane. Sidan oppfølging og drift av eit framtidig masselager ligg på sida av byggherreverksemd i regi av staten, kan ei løysing vere å få med private samarbeidspartnarar. Det bør fokuserast på å finne robuste løysingar for lagring som ikkje gjer det naudsynt med krav til langvarig forvaltning.

15.2. Klassifisering av svartskifer

Ulike svarte leirskifrar har ulike forvitringsegenskapar og bergmekaniske eigenskapar. Rettleiaren for identifisering og karakterisering av svarte leirskifrar har det som grunnleggjande idé at når ein har identifisert ein type leirskifer, så har ein og informasjon om desse eigenskapane. Ein har då og fått grunnlag for å vurdere dei nærliggjande bergartane i den kambro-siluriske lagrekka. Dette var spesielt nyttig for dette prosjektet, då det er eit spenn i kjemisk samansetting og mineralinnhald innanfor dei svarte leirskifrane. Med systematisering av desse analysane vil det gje bransjen auka kunnskap om dei ulike svarte og grå leirskifrane. AP-NP diagrammet i Miljødirektoratets rettleiar gir saman med Fe-S diagrammet nødvendig informasjon. Meir detaljert informasjon kan ein få ved å undersøke relative mengder av grunnstoff. Eller ein kan arbeide vidare med å utvikle metodar for å enklare sette grenseverdiar for klassifisering av ein meir detaljert differensiering av potensielt syredannande og forureinande bergartar.

Bruk av XRF eller anna handheldt måleinstrument er godt egna for bruk i anleggsdrifta, og fastsetting av grenseverdier som er tilpassa bruk av denne type verktøy bør difor vektleggast i det vidare arbeidet. Analysane utført ved handheldt XRF kan også enkelt overførast til rekneark for vidare bearbeiding. XRF krev opplæring og ei viss forståing av apparatets verkemåte.

Samtidig bør det leggst vekt på å utvikle ein god metodikk for prøvetaking for å sikre representative prøver gjennom anleggsdrifta. Spesielt i dagsona kan det vere vanskeleg å få til systematisk prøvetaking og kontroll av massane, viss det ikkje er godt planlagt.

Vurderingar av når ei salve er deponipliktig er og eit stort spørsmål, sidan variasjonane i kvar enkelt salve kan vere store. På Gran hadde vi ikkje noko tidlegare eksempel å vise til, men fekk aksept for at berre salver med meir enn 10% alunskifer var deponipliktig. Med ei slik tilnærming vil ein diverre deponere svært mykje anna bergmasse unødig, men å skilje ut alunskifer frå anna berg er ikkje alltid praktisk mogleg. Med god planlegging og forundersøkingar bør likevel ein meir stadstilpassa tilnærming kunne nyttast. Eit tiltak er at ein må avklare tidleg (i planleggingsfasen) om andre bergartar i salva har naturleg bufferevne. I tillegg til bakgrunnsverdiene, er det og viktig å auke kunnskapen om tålegrensene i det aktuelle nedslagsfeltet der skiferen er tenkt nytta, og utarbeiding av ein metodikk for å setje slike tålegrenser. Kor stor del av ei salve som gjer at den eventuelt har potensiale for avrenning med forhøgde verdier vil normalt variere frå stad til stad.

Ei av det største utfordringane med tanke på grenseverdier og tålegrenser er å finne fornuftige prøvetakingsfrekvensar for uran. Både kva grenser som er relevante, og korleis ta prøver i eit område for å avdekke volum over 1 Bq/ gram. Statens vegvesen tar gjerne del i eit samarbeid med Statens strålevern om å utvikle rutiner for å oppnå reell representativ prøvetaking. Generelt vil ei nedknusing av materialet til < 250 µm og preparering av prøva før måling gje sikrere analyseresultat.

15.3. Tålegrenser i vatn

Det er svært viktig å kartlegge og definere naturlege bakgrunnsverdier i vassdrag. Deretter bør det gjerast betraktningar av tålegrenser i vatn i det aktuelle området, slik som vist til i førre avsnitt.

Nokre parameter finst i Miljødirektoratets rettleiar for å definere tilstandsklasse til vassdrag. Uran er derimot ikkje på den lista, og vi har i mangel av nasjonale retningslinjer lagt til grunn den canadiske grenseverdien for langtids eksponering av akvatisk liv i ferskvatn (15 µg/l). Heller ikkje molybden har nasjonal grenseverdi/ tilstandsklasse for ferskvatn.

For å enklare kunne vurdere forureiningsrisiko i resipientar burde miljømyndighetene arbeide for å etablere nasjonale retningslinjer for tilstandsklassar for dei aktuelle stoffa som manglar i rettleiaren. Det kan vere mange og varierte kjelder til ureining i eit vassdrag, og det bør utarbeidast ei fagleg vurdering på kva som er nok prøver for å gjelde som grunnlag for å definere naturlege bakgrunnsverdiar og tålegrenser i eit område.

15.4. Reinsing av vatn

Det bør jobbast vidare med å utvikle metodar for å reinse vatn frå svartskifer best mogleg. Ulike sorbentar kan fungere til ulike føremål, og det er nyttig å samle meir kunnskap om dette. Det viser seg ofte at produkt som fungerer på lab ikkje alltid har same effekt ved bruk i større skala. Derfor vil det vere nyttig å hauste erfaringar om praktisk bruk av ulike sorbentar som reinsemetode i nye prosjekt i svartskifergrunn. Det er spesielt viktig å rette søkelyset mot avrenning av metall ved nøytrale pH-verdiar. Metalla føreligg ofte som løyste sambindingar i vatnet, noko som gjer dei vanskelegare å reinse ut.

15.5. Vidare bruk av data frå Gran

I samband med tiltaket på Gran med påfølgjande overvaking har det blitt samla inn eit stort geokjemisk og hydrologisk datamateriale. Dei innsamla data er enten utgjevne i egne offentlege rapportar undervegs, eller lagt ved i vedlegg til denne sluttrapporten. Alle XRF-målingane frå klassifiseringa av skifer vil bli tilgjengelege i ein eigen datarapport seinare. Ei rekke funn og prøvetakingar har vore med på å auke kunnskapen omkring tiltak i svarte leirskifrar og påverknad på miljøet, men sjølv om mykje er gjort, er det framleis eit stort potensial for å nytte eksisterande data vidare i andre FoU-prosjekt. Ved ønske om tilgang til meir detaljert grunnlagsmateriale kan ein kontakte forfattarane bak denne rapporten.

16. REFERANSAR

- Ahmad, M. (2015). Immobilisation of uranium as a function of peat content. Master thesis, NMBU, Ås.
- Alvarenga, E. (2016). Applicability of Natural Porous Materials and Lime with Conditioning and Sorption Properties for Wastewater Treatment, PhD Norwegian University of Life Sciences, 2016, Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Ås, Norway.
- Appelo C.A.J. og Postma D. (2005): Geochemistry, ground water and pollution (2nd Ed.) A.A. Balkema Publishers, Leiden 649 s.
- Bastiansen, R., Moum, J. & Roseenqvist, I.Th. (1957): Bidrag til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifere. NGI Publikasjon nr 22.
- Bioforsk (2013) Rv4 Gran. Vannprøver og måling av miljøkjemiske parametere in-situ i observasjonsbrønner 10.04.13
- Bjørlykke, K (1974). Depositional history and geochemical composition of lower palaeozoic epicontinental sediments from the Oslo region. NGU Bulletin 24, Nr 305.
- Børresen, HS. (2017). Geochemical and mineralogical evaluation of mineral-water reactions and leaching potential in a black shale depot. Masteroppgåve, Universitetet i Oslo.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2011). Scientific Criteria Document for the Development of the Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Uranium. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- COWI. (2016). Sluttrapport overvåkning av Vigga ved bruk av DGT.
- Elvebakk, H. 2001: Borhullsinspeksjon RV 4, Roa-Jaren, Gran og Lunner kommune. Oppland. Rapport nr. 2001.063. Norges geologiske undersøkelse.
- Engelstad, J. G. (2016). Ecological Implications of Road Construction in an Alum Shale Bedrock Area – A State Highway (Rv4) Case Study. Master thesis, NMBU, Ås.
- Endre, E (2010). Karakterisering av svartskifer ved Nye Hadeland VGS. Notat nr: 20100465-00-5-TN. NGI.
- Endre, E (2012). Vurdering radioaktivitet i tunnelmasser. NGI-Teknisk notat, 1 oktober 2012.
- Endre, E (2013 a). Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i tunneltraséen. NGI-rapport, 20120110-01-R. 22. februar 2013.
- Endre, E (2013 b). Bearbeida analyseresultat frå borkjernene BH1-BH4 med geokjemisk stratigrafi E-post. 25.02.2013.
- Erstad, L-A (2017). Leaching of uranium and heavy metals from acid producing black shales. Experiments and modeling study. Masteroppgåve, Universitetet i Oslo.

Fjermestad, H. (2013). Mobilitet av uran og andre metall i bergartar i nye vegtrase på Gran, Hadeland. Masteroppgåve. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.

Statens vegvesen. (2017). Svar på forespørsel fra Statens strålevern om tilsyn i forbindelse med avslutning av vegprosjektet Rv. 4 Gran. Statens Vegvesen, 35.

Fjermestad, H., Hagelia, P. & Thommassen, T. (2017). Utlekkingsforsøk med svartskifer fra Rv 4, Hadeland. Statens vegvesens rapporter Nr. 665.

Fylkesmannen i Oppland. (2013). Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for Statens vegvesen Region øst. Tillatelse.

Geokart AS (2005), Riksvei 4 Roa-Jaren. Undersøkelser av borekaks (I. Rui & B. Funke) rapport 12.07.2005.

GeoPhysics (2004). Rv 4 Roa - Jaren. Tunnel Gran sentrum. Refraksjonsseismiske undersøkelser. Oppdrag 04101.

Hagelia, P. (2005). Undersøking av alunskifer, mørk kalkstein og mørk skifer langs Ny Rv 4 Gran. Førebels notat til Prosjekt Vestoppland v/E Sloreby. Statens Vegvesen Vegvesen - Tunnel og betongseksjonen.

Hagelia, P. (2011). Alunskifer Rv 4 Gran - Jaren. Vegoppbygging - avrenning og eksponeringsklasse for betong. Statens vegvesen - Tunnel og betongseksjonen, Notat 12.01.2011.

Hagelia, P (2013a). Mineralogisk & kjemisk undersøking av alunskifer, mørk skifer og kalkstein; Statens vegvesen , Tunnel og betongseksjonen. 14 sider.

Hagelia, P. (2013b). Mineralogisk og kjemisk undersøking av torv, marin leire og silt for å avdekke eigenskapar som kan verke inn på utlekking og sorpsjon i samband med deponering av alunskifer. Statens Vegvesen - Tunnel og betongseksjonen, Laborierapport til Etatsprogrammet NORWAT, 20.03.2013.

Hagelia, P. (2014a). Utbetring av reinseanlegg for tunnelvatn Grantunnelen - Ny Rv 4 Gran grense - Jaren. Statens vegvesen - Tunnel og betongseksjonen, Notat, 2014-02-03.

Hagelia, P. (2014b). Handtering av alunskifer på R4. Forundersøkingar, nødvendige løyve og tverrfagleg vinkling i prosjektet (foredrag). Miljøringens temamøte - juni 2014 massehandtering - aktuelle løysninger og fremtidige perspektiver

Hagelia, P. & Fjermestad, H. (2016). Bruk av XRF på bergartar for vurdering av miljørisiko. Eksempel frå Rv 4 Gran og E18 Grimstad - Kristiansand. Statens vegvesens rapporter Nr. 516.

Helmers, T.A. (2013). The mobility of uranium from U-containing bedrock materials as a function of pH: Implications for tunnel construction. Master thesis. Norwegian University of Life Sciences, Ås.

Helmers, T.A. (2014). Sequential Extraction of Peat Moss Core (utlekkingsstest på torv og marin silt/leire frå deponiområdet på Gran). CERAD rapport – 6. juni–2014, NMBU–Ås, 31 sider.

Hjulstad, M. (2015). Leaching, uptake and effects in Brown Trout (*Salmo trutta*) of radionuclides and metals from black shales and sulphur bearing gneiss. Master thesis, NMBU, Ås.

IFE (2014). Bestemmelse av naturlig radioaktivitet i alunskifer. Oppdragsnr. 2014–1545 (brev til Statens vegvesen).

Iversen, E. & Klüver, B.H. (2001). Rv 4 Roa – Jaren. Plan for geologiske undersøkelser. Oppdrag E–234 Rapport nr. 1. Vegteknisk avdeling.

Iversen, E. (2001). Rv 4 Roa – Jaren. Vurdering av tunnelalternativer. Oppdrag E–234 Rapport nr. 2. Vegteknisk avdeling.

Kitterød, N-O. (2013). Resultater fra pumpetest på Gran, Hadeland, utført av Statens vegvesen i perioden 11.04 – 27.06. 2013.

KLIF. (2012). Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota. KLIF.

Leikanger & Roseth (2013). Miljøovervåkning i Vigga i perioden 30.04.13 – 18.09.13. Bioforsk– Notat 25.09.13.

Leikanger, E. (2015, 02 09). Sensitivitetsanalyse. E-post. Bioforsk.

Markich, S. (2002). Uranium Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems: An Overview. *TheScientificWorldJOURNAL*, ss. 707–729.

Miljødirektoratet. (2016). Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Miljødirektoratet.

Miljødirektoratet (2013). Ny riksveg 4 gjennom Hadeland – Tillatelse til graving i alunskifer og bruk av alunskifermasse til oppbygging av veg. Ref. 2013/6357. Oslo 27.09.2013.

Miljødirektoratet (2014). Inspeksjonsrapport ved by Rv. 4 på Hadeland (alunskifer tunnel). Kontrollnummer: 2014.003.U.miljødir.

Multiconsult (2010). Kreativ fase. Objekt tunnel. Rapport nr. 121027–SI–RIG–RAP–00001.

Multiconsult (2011–1). Premissnotat tunnel. Notat nr. 121027_SI–TUNNEL–NOT–00001. Multiconsult.

Multiconsult (2011–2). Alunskifer – Vurdering av mengde i tunnel og skjæringer. Notat nr. 121027–SI–RIG–NOT–00003. Multiconsult.

Multiconsult (2011–3). Rv 4. Gran grense – Jaren. Prøvegraving i myrområder. Oppdrag/Rapportnr. 121027SI–RIG–NOT–00004

Multiconsult (2011–4). Ny riksvei 4 Gran – Jaren grense. Alunskiferproblematikk. Tiltaksplan for håndtering av sprengstein av alunskifer.

Multiconsult (2013). Rv 4 Gran grense–Jaren, Granstunnelen. Ingeniørgeologisk rapport (Rev 02). Oppdrag/Rapport nr. 1 21027SI–RIG–RAP–00003.

NIBIO (2017) Grantunnelen – Vurdering av miljørisiko ved utslipp av vaskevann til Vigga og forslag til nye grenseverdier. Notat, saksnr 10689.

NGI (2014) ERT–målinger Granstunnelen. Teknisk notat dokumentnr 20140554–01–TN.

NGI (2015). Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for Miljødirektoratet. M310–215.

NGU (2003). Overvåking av grunnvann. Rapport nr 1/2003. Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) Norges vassdrags– og energidirektorat.

NGU (2017). Berggrunn N50. http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/: NGU.

Nordisk vannteknikk. (2014, april). Youtube. Henta frå <https://www.youtube.com/watch?v=J-lrRTslfRQ>

Rambøll (2005). Rv 4 Roa – Jaren, forprosjekt tunnel ved Gran. Oppdragsnr. 4042086A

Roseth (2006). Prosjektskisse: Alunskifer/svartskifer – miljøproblemer og tiltak ved vegbygging og massedeponering. Planlagt utbygging av Rv4, Rv3 og E6 gjennom områder med alun/svartskifer. Bioforsk– Notat, 30. august 2006.

Roseth (2011). Rv 4 Gran grense – Jaren. Vurdering av tiltaksplan for håndtering av sprengstein fra alunskifer. Bioforsk– Notat, 18. oktober 2011.

Roseth, R & Leikanger, E (2014). Utslippstillatelse rensed anleggsvann fra tunnel Rv4 Gran grense til Jaren – revidert vurdering av grenseverdier for tungmetaller og ammoniakk, innspill. Bioforsk– Notat, 12. februar 2014.

Roseth, R. m.fl. (2014) On–line målinger av vannkvalitet i vegutbyggingsprosjekter – erfaringer. Bioforsk Jord og miljø. Statens vegvesen rapport 291.

Salbu, B., & Alvarenga, E. (2013). Task 5: Tiltak: Utprøving/vurdering av relevante tiltak for beskyttelse av det akvatiske miljøet. Institutt for plante– og miljøvitenskap. Universitetet for miljø– og biovitenskap.

Santos, S. H. (2014). Potential Mobility of Radionuclides and Trace Elements in Bedrock Materials and in the Deposition Area at a Tunnel Construction Site RV4 Gran, Hadeland. Master thesis, NMBU.

Saunes, H. (2016). Bruk av passiv prøvetakning (DGT) i miljøovervåking av vassdrag under anleggsdrift. Erfaringsnotat. COWI

Skipperud, L., Alvarenga, E., Lind, O.Chr., Teien H–Chr., Tollefsen K.E., Salbu, B. & Wærsted, F.M. (2016). Effekter og miljørisiko knyttet til inngrep i områder med sulfidrike mineraler. Rapport frå CERAD – NMBU. Statens vegvesens rapporter Nr. 651.

Statens strålevern (2013). Oversendelse av tillatelse etter forurensningsloven til virksomhet som kan medføre forurensning – disponering av alunskifer. 10. desember 2013. Ref. 12/00861/330.1

Statens strålevern (2014). Oversendelse av endret tillatelse etter forurensningsloven til virksomhet som kan medføre forurensning – disponering av alunskifer. 4 juli 2014. Ref. 12/00861/330.1

Statens vegvesen. (2014). Endringsøknad for utslippstillatelse til Rv. 4 Gran gr. – Jaren for drive- og vaskevann fra anleggs- og driftsfasen av Grantunnelen datert 19.11.2013. Søknad.

Statens vegvesen. (2015). Sluttrapport utslippstillatelse for midlertidig renseanlegg Grantunnelen. Statens vegvesen.

Statens vegvesen (2012). Søknad om fravik fra forurensningsforskriftens § 2–5 ved nyttiggjøring av utsprengte alunskifermasser til masseutskifting av myr. Brev til KLIF dagsett 15 mai 2012 (ref nr 2010/164703–142).

Statens vegvesen (2013). Tillatelse til graving i alunskifer og bruk av alunskifermasser til oppbygging av veg – svar på vilkår i brev datert 27. september 2013. Brev til Miljødirektoratet (Ref nr 2010/164703–203)

Statens vegvesen (2014) Tillatelse til disponering av alunskifer ved masseutskifting av myr i forbindelse med anleggelse av rv. 4 for Gran sentrum på Hadeland – svar på vilkår i brev datert 10. desember 2013. Brev til Statens strålevern (ref nr. 2010/164703–215)

Statens vegvesen (2017) Rv. 4 Gran grense – Jaren – Søknad om endring av utslippsgrenser for vaskevann fra Grantunnelen. Brev til Fylkesmannen i Oppland (15/207043–190)

Sørli, M. (2015). Utvikling av vannkvalitet i en innsjø med ulike påvirkningsfaktorer studert ved sedimentanalyser – med eksempel fra Jarenavatnet med hovedfokus på biologiske analyser. Master thesis, NMBU, Ås.

Terefe, D. (2016). Swelling properties of Alum Shale as a function of its mineralogy. Master thesis, Faculty of Mathematics and natural Sciences, Department of Geosciences. University of Oslo.

Toresson, Björn. 2011. Refraksjonsseismiska Mätningar för Rv 4 Gran grense – Jaren, tunnel förbi Gran centrum. Rapport. Impakt geofysikk. Göteborg.

Weideborg, M., Storhaug, R., Vik, E., Roseth, R., & Tveiten, V. (2009). Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg. Norsk forening for fjellsprenningsteknikk.

17. VEDLEGG

Vedleggsnr.	Namn på vedlegg	Sidetal
1.1	Kaksborepunkt over tunnelen 2005	1
1.2	Rv 4 alun skjeringar i 2005 - volum	2
2	Referat frå oppstartsmøte feb 2011	9
3.1	Geologisk profil	12
3.2	NGI – Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i trasé	13
4	NIVA analyserapport 2005	56
5.1	NGI – Vurdering radioaktivitet tunnelmasser	59
5.2	Bestemmelse av naturlig radioaktivitet i alunskifer, IFE	76
6.1	Vannprøvetaking på Gran 2011 og 2012	79
6.2	Vannanalyser 10.2011–09.2012	84
7	Brønner på Gran. Vassprøver 2013	85
8.1	Grunnlag for interne grenseverdier	89
8.2	Klassifiseringsmåte XRF	105
9.1	Oppsummering sørgående løp salvevurdering	107
9.2	Oppsummering_Nordgåande løp salvevurdering	110
9.3	Oppsummering dagsone salvevurdering	113
10	Deklarasjonsskjema alunskifer	114
11	Overvåkningsprogram anleggsfase	116
12.1	Vassprøver i open byggegrop i masselageret	135
12.2	Drensvatn frå mellomlager	137
13.1	Samla Eh-data frå myr	138
13.2	Samla Eh-data frå myr_korrigering av ORP til Eh	139
14.1	Vassprøver i brønn 1 2016–2017	140
14.2	Vassprøver i brønn 2 2016–2017	141
14.3	Vassprøver i brønn 3 2016–2017	142
15.1	Måling av eH_pH i brønn 1	143
15.2	Måling av Eh_pH i brønn 2 og 3	144
16	ORP/Eh, O2 og PH i brønner i masselager 2018	145

17	Resultat vassprøver –utløp tunnel/drensvatn	146
18.1	Vassprøver i brønn BO1–BO6	149
18.2	Vassprøver i brønn 13 2013 og 2017	150
19.1	Sluttrapport utslippstillatelse for midlertidig renseanlegg Grantunnelen	151
19.2	Vekeblandprøver frå Renseanlegg tunnel	171
20	Vassprøver frå utpumpa vatn frå masselager	175
21	Estimering urankonsentrasjon i Vigga	176
22.1	Horgenbekken	178
22.2	Test rødmull	182
23	Vassprøver Nordtangenbekken	183
24.1	Vassprøver Vigga 2014–15	186
24.2	Vassprøver Vigga 2016–17	190
25	Vassprøver Vøienbekken	193
26.1	Bioforsk RAPPORT 10 (32) 2015 Miljøovervåking av Vigga	194
26.2	NIBIO rapport 1(86)2015 Miljøovervåking i Vigga 2015	217
26.3	NIBIO_RAPPORT_15.06.17 Resultater fra overvåking av vannkvalitet i Vigga 2016	237
27.1	Rapport overvåking Vigga 2014_COWI	261
27.2	Rapport overvåking Vigga 2015_COWI	277
27.3	Sluttrapport overvåking Vigga _COWI 2016	295
27.4	Erfaringer med DGT i overvåking av Vigga_COWI	319



Statens vegvesen
Region øst
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

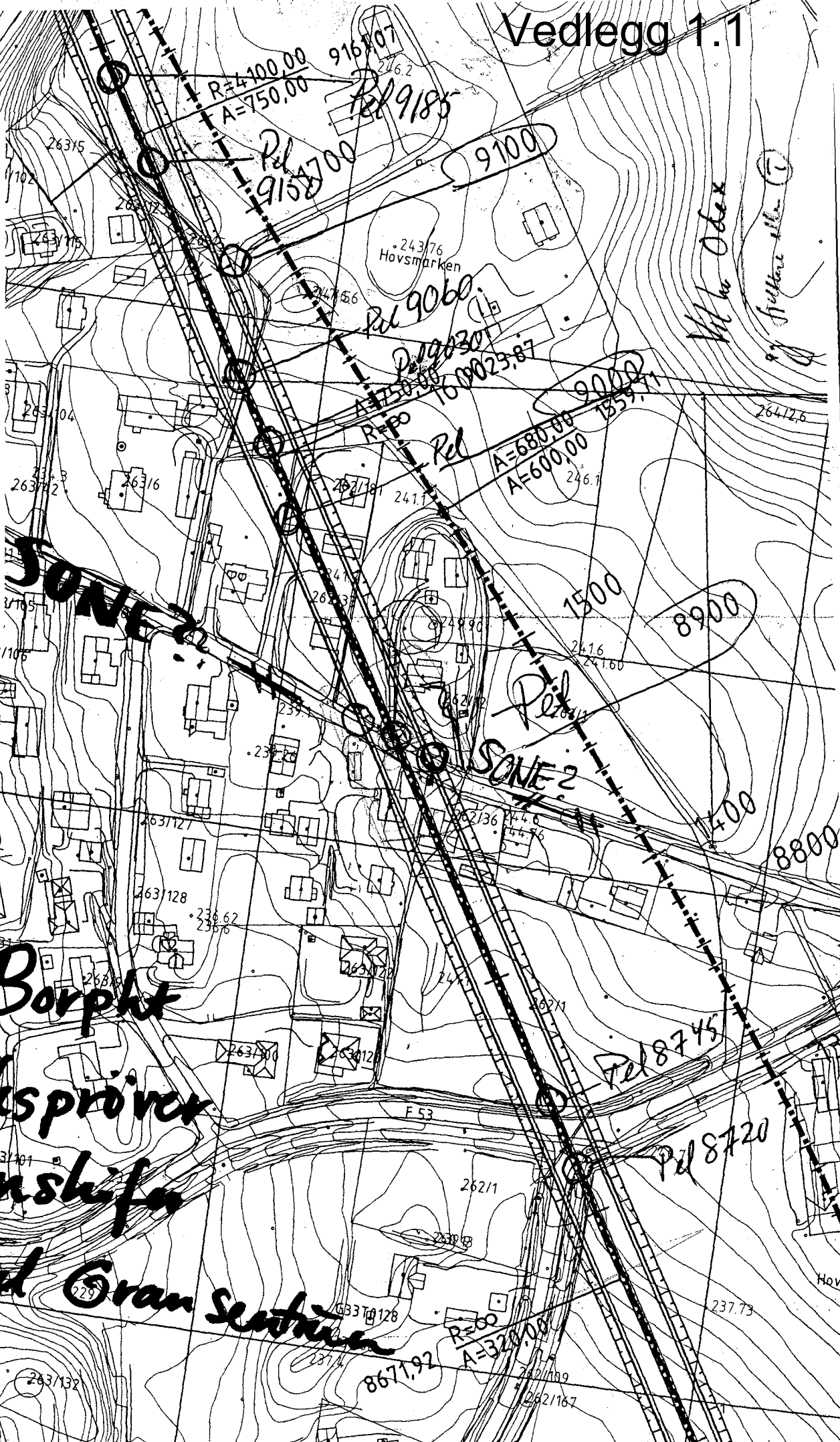
Trygt fram saman

Telefax

To/To **E. SLOREBY**
Fra/From **P. HAGELLA**

Date/Date **18/4-05** Antall sider/No. of pages **1**

ESSELITE 83074



SÖNE 1

SÖNE 2

AI Borpht
Kakspröver
Ålänshäls
Tunnel Gran section

Fra: Sløreby Erik
Sendt: 11. april 2005 13:06
Til: Olderkjær Vidar; Iversen Edvard
Kopi: Robøle Steinar
Emne: Rv4 Roa-Jaren Overbygningmasser

Det er utført en god del undersøkelser i et område 1-1,8 km nord for nordre tunnelpåkagg. Vi har tatt opp kaksprøver som er vaska og sikta og vurdert visuelt. Bergartene her er camptonitt, mænaitt, sandstein og alunskifer. Det er et topplag av camptonitt/mænaitt/sandstein med tykkelse som varierer mellom 2 og 11 m. Gjennomsnittlig tykkelse er 5,6 m. I dette topplaget er innslaget av alunskifer så lavt at det sannsynligvis ikke er til hinder for at vi kan ta ut overbygningmasser. Videre nedover er innholdet av alunskifer for høgt til at det er interessant til overbygningmasser.

Vi har så langt ikke sprengt ut noen prøver med tanke på Los Angeles eller fallprøver.

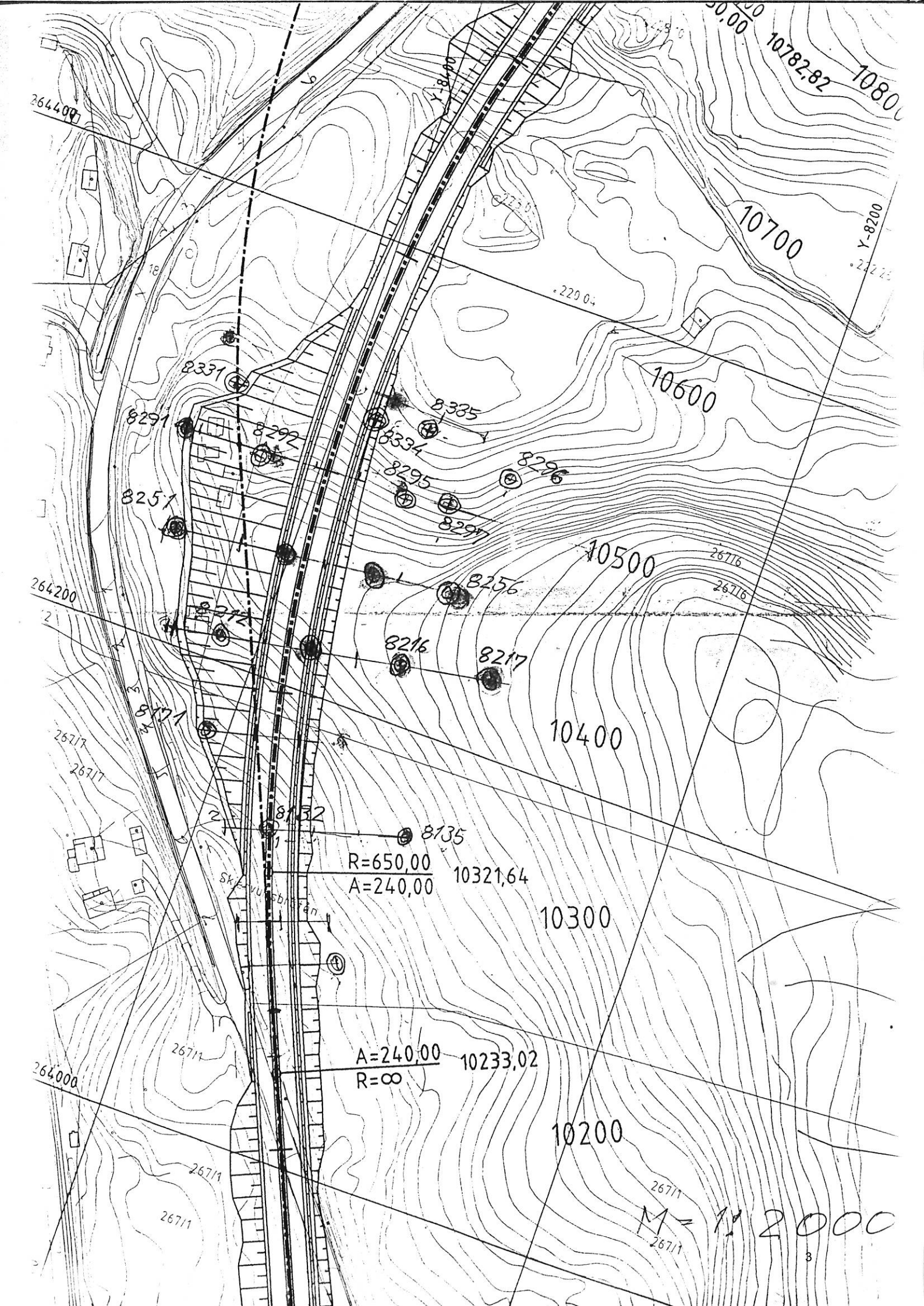
Vi må nå vurdere hva vi skal gjøre videre:

- Er tykkelsen på topplaget stort nok til at det er interessant å fullføre undersøkelsen i dette området?
- Kan det være muligheter til å finne tykkere lag av gode masser lengre nordøst i nærheten av vegtraseen?
- Og kan det være aktuelt å undersøke der?
- Skal vi se oss om etter andre områder, for eksempel i Grua-området?

Jeg sender nå kart og profiler pr fax. Innhold av alunskifer er vist med skravur og tall i prosent. Innhold under 30% er ikke vist.

Jeg ringer for å avtale nærmere hvordan vi skal gripe dette an.

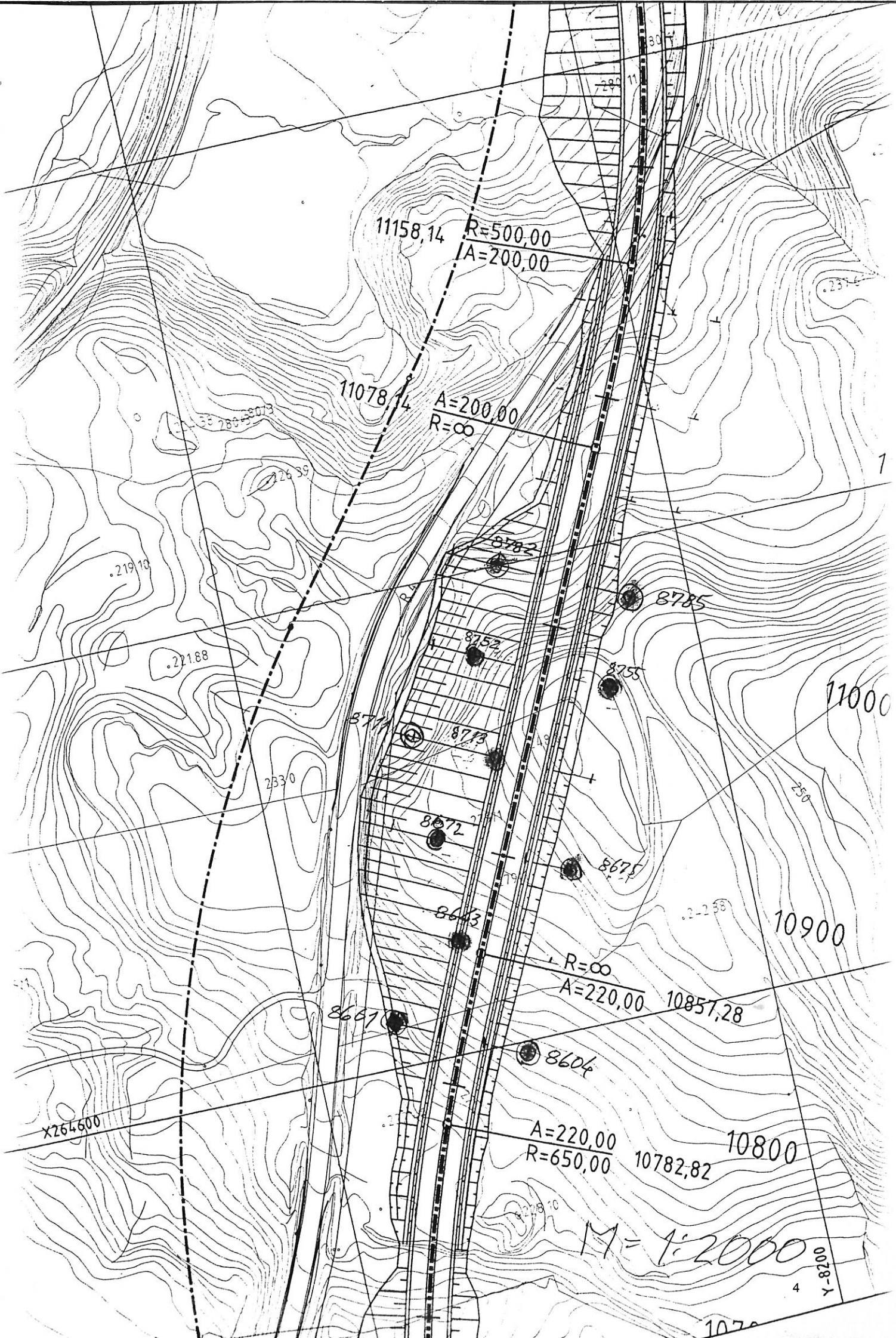
Hilsen Erik

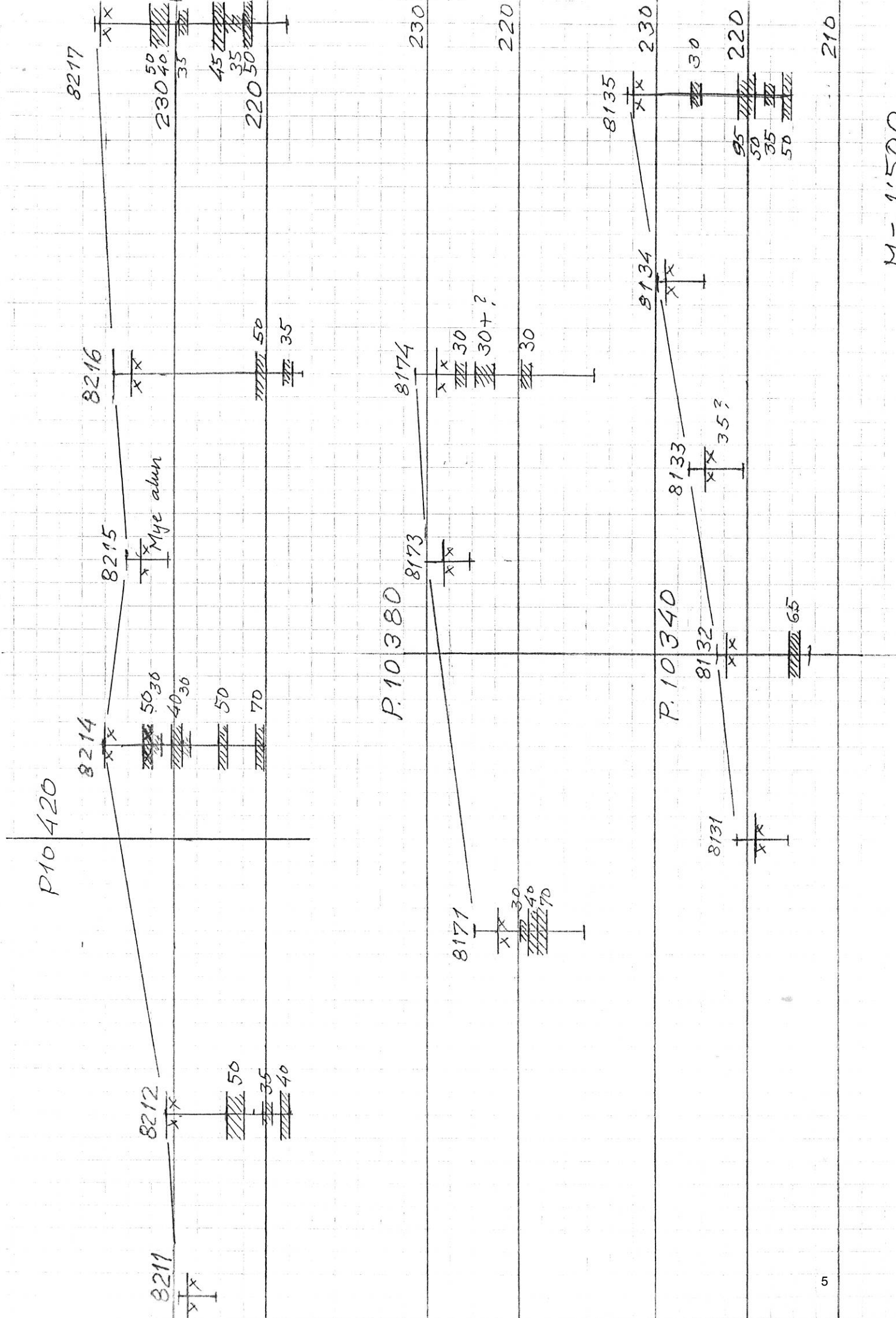


$R=650,00$
 $A=240,00$ 10321,64

$A=240,00$ 10233,02
 $R=\infty$

$M=1:2000$



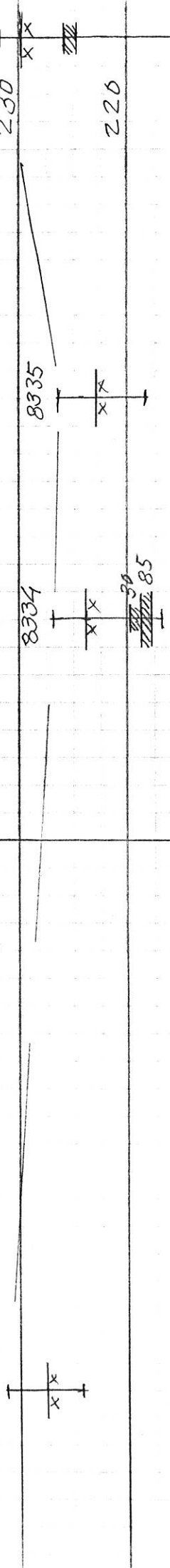


M = 1:500

" P. 10 540 "

8331

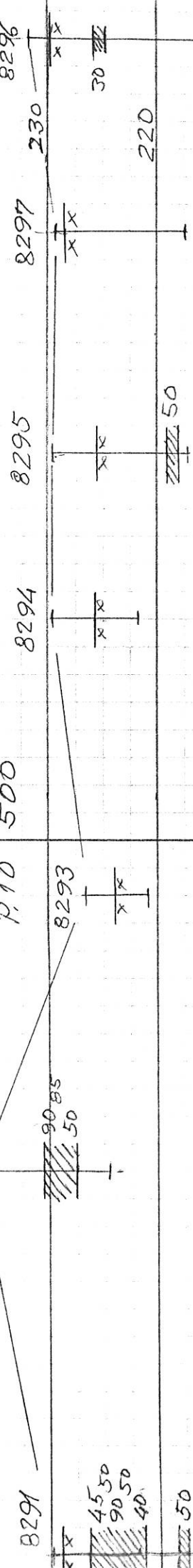
8296



P. 10 500

8292

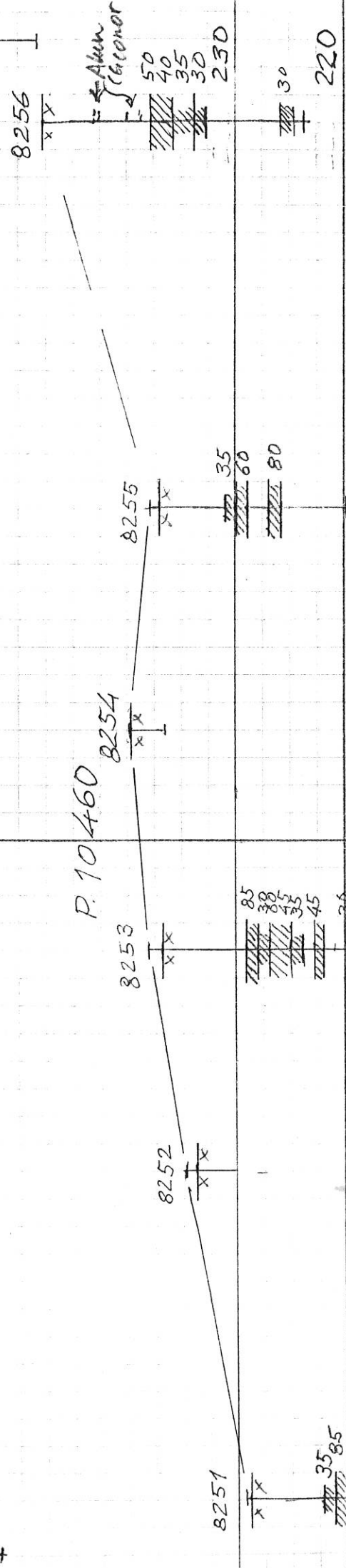
8296



P. 10 460

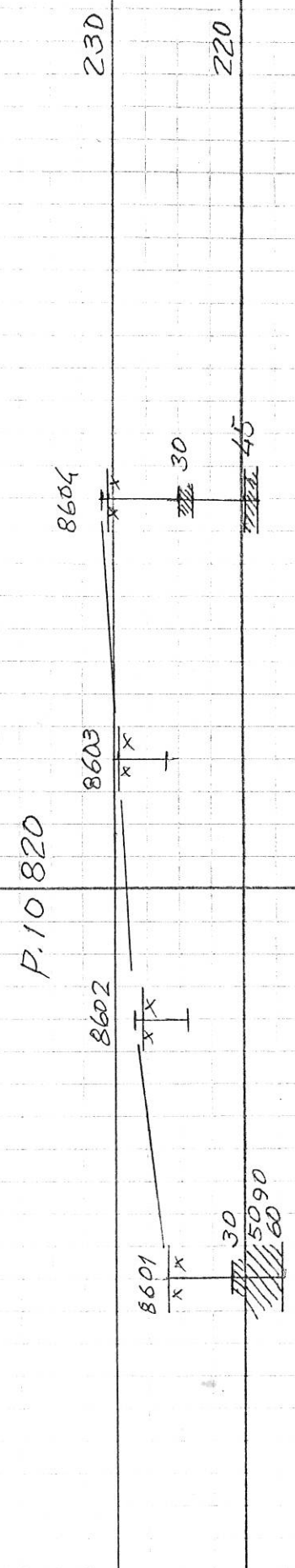
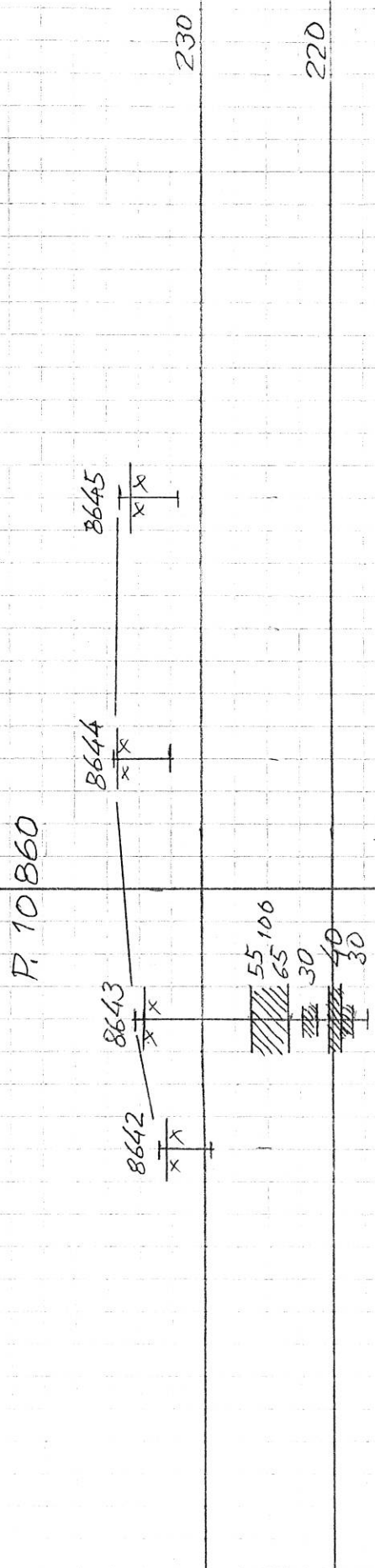
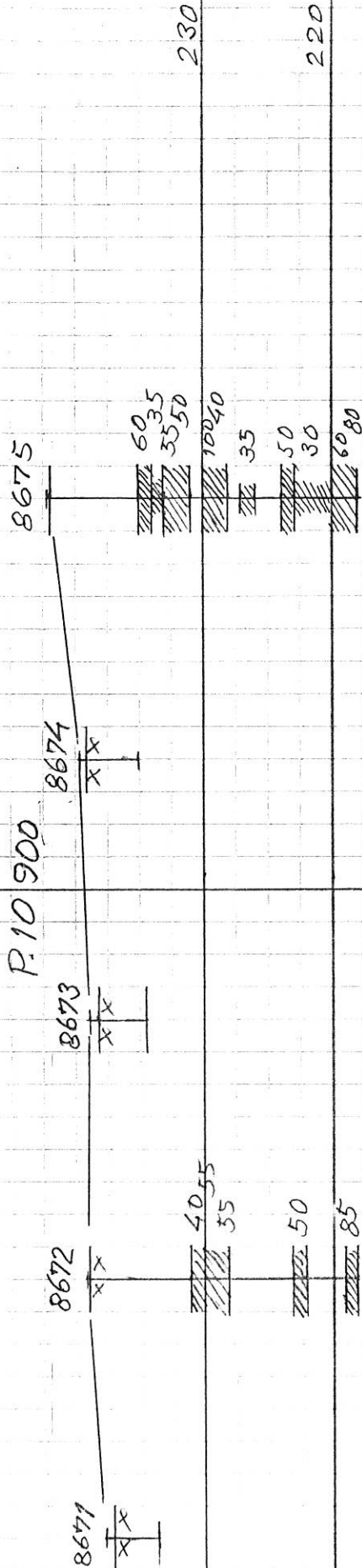
8254

8256



Feil niva? ↗

M = 1:500



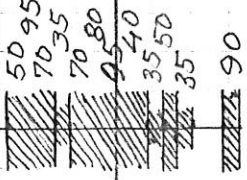
M = 1:500

240

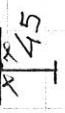
230

P.11020

8785



8784



8783

8782



8781



240

230

P.10980

8755

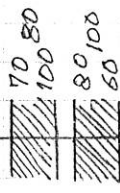
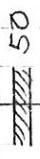
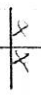
8754

8753

Usikkert nivå

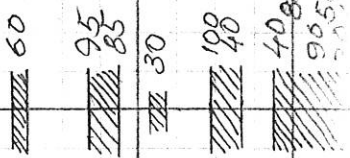
8751

8752



8712

8713



8714

8715

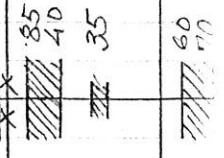


240

230

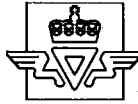
P.10940

8711



220

M: 1: 500



Statens vegvesen

Referat

Dato: 09.02.2011
Tid: 0900 - 1100
Referent: Jon Kvisberg

Saksbehandler/innvalgsnr:
Jon Kvisberg - 61137261
Vår dato: 10.02.2011
Vår referanse:

Rv4 Gran grense - Jaren, Tunnelmasser (alunskifer, mørk kalkstein mm) og overbygning. Oppsummering

Møte nr: Tunnelmasser nr 1
Sted: Oslo, Østensjøvegen 34
Møteleder: Jon Kvisberg
Til stede: Multiconsult: Lars Mørk, Trygve Dekko, Kjetil Moen, Wenche Aalberg, Statens vegvesen: Per Hagelia, Fredrik Moen, Live Hesthagen, Helge Hamar, Jon Kvisberg
Forfall: Marius Meland
Kopi til: Statens vegvesen: Vidar Olderkjær, Anne Brit Moen
Multiconsult: Morten Alstad

	Ansvar / frist
1. Kort orientering om rv4 Gran grense - Jaren Status og fremdrift for prosjektet. Forventet byggestart er i 2013.	
2. Presentasjon av deltagere på møtet.	
3. Oppsummering av diskusjon/muligheter	
<u>Lokale løsninger:</u> Trygve Dekko redegjorde for at det bør være realistisk å håndtere tunnelmassene lokalt. <ul style="list-style-type: none">• Massene bør deponeres under vann, uten oksygen (myr)<ul style="list-style-type: none">○ Framgangsmåte må detaljeres og det krever rask håndtering for å unngå at massene reagerer med luft.○ Alunskifter må under permanent grunnvann• Massene kan ikke mellomlagres i deponi• Det må avklares om det finnes dype nok myrer i området og eventuelle	

Postadresse
Statens vegvesen
Region øst
Postboks 1010
2605 Lillehammer

Telefon: 815 22 000
Telefaks: 61 25 74 80
firmapost-ost@vegvesen.no
Org.nr: 971032081

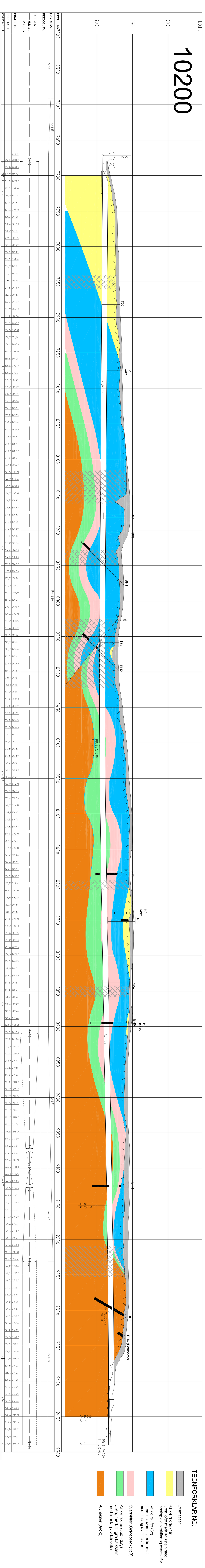
Kontoradresse
Storgt. 12
2806 GJØVIK

Fakturaadresse
Statens vegvesen
Regnskap
Båtsfjordveien 18
9815 VADSØ
Telefon: 78 94 15 50
Telefaks: 78 95 33 52

	Ansvar / frist
<p>verneinteresser knyttet til disse må avklares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det kreves minimum 0,5m myr over massene for å opprettholde oksygenfritt miljø. Det må sikres at myra opprettholdes, dvs. at det ikke gjennomføres grøfting etc. <p><u>Gjennomgang av arbeidet som ble utført i 2005.</u> Per Hagelia redegjorde for arbeidet. Oppsummering av hans arbeid/debatt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det vil neppe bli sur avrenning under bygging • Det er ganske lite sovel totalt sett, og det kan se ut som at vi har med en relativt "lite reaktiv" alunskifter å gjøre. Man kan likevel ikke konkludere med at alunskiferen er ufarlig for betong. • Det finnes trolig fremdeles kaksprøver som kan undersøkes for ytterligere dokumentasjon. • Det er ikke gjennomført undersøkelser av kaksprøver for skjæring nord for tunnel. Multiconsult vurderer om dette skal gjennomføres ifm pågående grunnundersøkelser • Mænaitt og camptonitt bør kunne benyttes i vegoverbygning. • Vi kan ikke vite detaljert massefordeling (alunskifer kontra svartskifter etc) før byggestart <ul style="list-style-type: none"> ○ Må følges opp på stuff ○ En mulig måte å skille alunskifter fra svartskifter utover å se etter vanlige kjennetegn, kan være bruk av røntgenfluorescens. Dette er et håndholdt instrument. 	<p>Hagelia</p> <p>Multiconsult</p>
<p><u>Overbygning/Frostsikring:</u> Fredrik Moen redegjorde for mulig bruk av tunnelmasse ifm frostsikring. Oppsummering av gjennomgang/debatt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ny 018 skjerper kravene → vi må sikre øss mot frost • Det er fare for telehiv i område. Uten frostsikring vil total overbygning fort bli 1,8 meter • Frostsikring bør kunne løses med tunnelmasser • Forsterkningslag vil da kunne reduseres betydelig (kanskje ned mot 0,5 meter, telegroupe T2) • Alunskifer kan ikke benyttes som frostsikring <ul style="list-style-type: none"> ○ Krever at man finner en løsning på å skille masse fra hverandre ○ Røntgen – stråling en mulighet? (Uran, tung metaller) 	
<p>4. Videre fremdrift</p> <p>Multiconsult påbegynner arbeidet med tiltaksplan. Denne skal i henhold til bygge- og graveforskrift behandles av Gran kommune (som kan videresende til Fylkesmann → KLIF → Miljøverndep).</p> <p>Momenter i forbindelse med tiltaksplan/videre arbeid:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det må "skaffes" nok myr til værste scenario (mye alunskifer) • Vi må være prinsipielle i løsningsvalgene <ul style="list-style-type: none"> ○ Endelig massefordeling blir kjent i fm anlegget 	<p>MC</p> <p>MC/SVV</p> <p>MC/SVV</p>

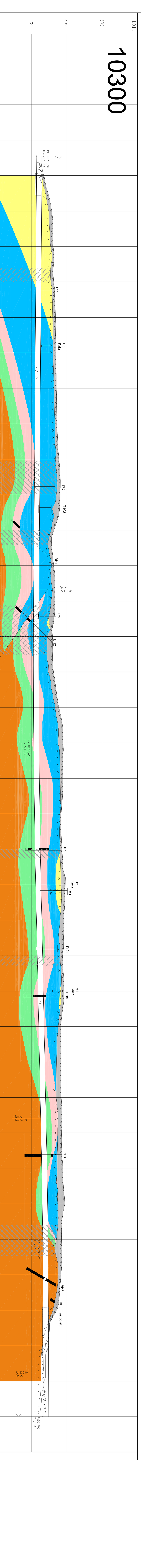
	Ansvar / frist
• Gran kommune kontaktes i forhold til mulig deponi	SVV
• I forkant av beskrivelse må prosjektet få kartlagt/forklart kvaliteten på leirskiferen. Kan den benyttes til frostsikring?	MC/SVV
• Behov for supplerende prøvetakinger?	MC
• SVV etterlyser logg fra tidligere borprøver	SVV
• Det må utføres sluttdokumentasjon etter ferdig anlegg. Hva er gjort	
• Tiltaksplan må ses i sammenheng med utslippstillatelse	MC

10200



- TEGNFORKLARING:**
- Løsmasser
 - Kalkstein (1a)
 - Uren, ofte mørk kalkstein med innslag av leirskifer og svartkifer
 - Kalkstein (3c)
 - Uren, sørsatt til grå kalkstein med innslag av leirskifer
 - Svartkifer (Galgenberg) (3b)
 - Kalkstein (3ba - 3ay)
 - Uren, mørk til grå kalkstein med innslag av leirskifer
 - Alusulfider (3aa-2)

10300



PROFIL NR 5/00		7550	7600	7650	7700	7750	7800	7850	7900	7950	8000	8050	8100	8150	8200	8250	8300	8350	8400	8450	8500	8550	8600	8650	8700	8750	8800	8850	8900	8950	9000	9050	9100	9150	9200	9250	9300	9350	9400	9450	9500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
PROFIL H.	K.A.B.K.	277.53	277.33	277.13	276.93	276.73	276.53	276.33	276.13	275.93	275.73	275.53	275.33	275.13	274.93	274.73	274.53	274.33	274.13	273.93	273.73	273.53	273.33	273.13	272.93	272.73	272.53	272.33	272.13	271.93	271.73	271.53	271.33	271.13	270.93	270.73	270.53	270.33	270.13	269.93	269.73	269.53	269.33	269.13	268.93	268.73	268.53	268.33	268.13	267.93	267.73	267.53	267.33	267.13	266.93	266.73	266.53	266.33	266.13	265.93	265.73	265.53	265.33	265.13	264.93	264.73	264.53	264.33	264.13	263.93	263.73	263.53	263.33	263.13	262.93	262.73	262.53	262.33	262.13	261.93	261.73	261.53	261.33	261.13	260.93	260.73	260.53	260.33	260.13	259.93	259.73	259.53	259.33	259.13	258.93	258.73	258.53	258.33	258.13	257.93	257.73	257.53	257.33	257.13	256.93	256.73	256.53	256.33	256.13	255.93	255.73	255.53	255.33	255.13	254.93	254.73	254.53	254.33	254.13	253.93	253.73	253.53	253.33	253.13	252.93	252.73	252.53	252.33	252.13	251.93	251.73	251.53	251.33	251.13	250.93	250.73	250.53	250.33	250.13	249.93	249.73	249.53	249.33	249.13	248.93	248.73	248.53	248.33	248.13	247.93	247.73	247.53	247.33	247.13	246.93	246.73	246.53	246.33	246.13	245.93	245.73	245.53	245.33	245.13	244.93	244.73	244.53	244.33	244.13	243.93	243.73	243.53	243.33	243.13	242.93	242.73	242.53	242.33	242.13	241.93	241.73	241.53	241.33	241.13	240.93	240.73	240.53	240.33	240.13	239.93	239.73	239.53	239.33	239.13	238.93	238.73	238.53	238.33	238.13	237.93	237.73	237.53	237.33	237.13	236.93	236.73	236.53	236.33	236.13	235.93	235.73	235.53	235.33	235.13	234.93	234.73	234.53	234.33	234.13	233.93	233.73	233.53	233.33	233.13	232.93	232.73	232.53	232.33	232.13	231.93	231.73	231.53	231.33	231.13	230.93	230.73	230.53	230.33	230.13	229.93	229.73	229.53	229.33	229.13	228.93	228.73	228.53	228.33	228.13	227.93	227.73	227.53	227.33	227.13	226.93	226.73	226.53	226.33	226.13	225.93	225.73	225.53	225.33	225.13	224.93	224.73	224.53	224.33	224.13	223.93	223.73	223.53	223.33	223.13	222.93	222.73	222.53	222.33	222.13	221.93	221.73	221.53	221.33	221.13	220.93	220.73	220.53	220.33	220.13	219.93	219.73	219.53	219.33	219.13	218.93	218.73	218.53	218.33	218.13	217.93	217.73	217.53	217.33	217.13	216.93	216.73	216.53	216.33	216.13	215.93	215.73	215.53	215.33	215.13	214.93	214.73	214.53	214.33	214.13	213.93	213.73	213.53	213.33	213.13	212.93	212.73	212.53	212.33	212.13	211.93	211.73	211.53	211.33	211.13	210.93	210.73	210.53	210.33	210.13	209.93	209.73	209.53	209.33	209.13	208.93	208.73	208.53	208.33	208.13	207.93	207.73	207.53	207.33	207.13	206.93	206.73	206.53	206.33	206.13	205.93	205.73	205.53	205.33	205.13	204.93	204.73	204.53	204.33	204.13	203.93	203.73	203.53	203.33	203.13	202.93	202.73	202.53	202.33	202.13	201.93	201.73	201.53	201.33	201.13	200.93	200.73	200.53	200.33	200.13	199.93	199.73	199.53	199.33	199.13	198.93	198.73	198.53	198.33	198.13	197.93	197.73	197.53	197.33	197.13	196.93	196.73	196.53	196.33	196.13	195.93	195.73	195.53	195.33	195.13	194.93	194.73	194.53	194.33	194.13	193.93	193.73	193.53	193.33	193.13	192.93	192.73	192.53	192.33	192.13	191.93	191.73	191.53	191.33	191.13	190.93	190.73	190.53	190.33	190.13	189.93	189.73	189.53	189.33	189.13	188.93	188.73	188.53	188.33	188.13	187.93	187.73	187.53	187.33	187.13	186.93	186.73	186.53	186.33	186.13	185.93	185.73	185.53	185.33	185.13	184.93	184.73	184.53	184.33	184.13	183.93	183.73	183.53	183.33	183.13	182.93	182.73	182.53	182.33	182.13	181.93	181.73	181.53	181.33	181.13	180.93	180.73	180.53	180.33	180.13	179.93	179.73	179.53	179.33	179.13	178.93	178.73	178.53	178.33	178.13	177.93	177.73	177.53	177.33	177.13	176.93	176.73	176.53	176.33	176.13	175.93	175.73	175.53	175.33	175.13	174.93	174.73	174.53	174.33	174.13	173.93	173.73	173.53	173.33	173.13	172.93	172.73	172.53	172.33	172.13	171.93	171.73	171.53	171.33	171.13	170.93	170.73	170.53	170.33	170.13	169.93	169.73	169.53	169.33	169.13	168.93	168.73	168.53	168.33	168.13	167.93	167.73	167.53	167.33	167.13	166.93	166.73	166.53	166.33	166.13	165.93	165.73	165.53	165.33	165.13	164.93	164.73	164.53	164.33	164.13	163.93	163.73	163.53	163.33	163.13	162.93	162.73	162.53	162.33	162.13	161.93	161.73	161.53	161.33	161.13	160.93	160.73	160.53	160.33	160.13	159.93	159.73	159.53	159.33	159.13	158.93	158.73	158.53	158.33	158.13	157.93	157.73	157.53	157.33	157.13	156.93	156.73	156.53	156.33	156.13	155.93	155.73	155.53	155.33	155.13	154.93	154.73	154.53	154.33	154.13	153.93	153.73	153.53	153.33	153.13	152.93	152.73	152.53	152.33	152.13	151.93	151.73	151.53	151.33	151.13	150.93	150.73	150.53	150.33	150.13	149.93	149.73	149.53	149.33	149.13	148.93	148.73	148.53	148.33	148.13	147.93	147.73	147.53	147.33	147.13	146.93	146.73	146.53	146.33	146.13	145.93	145.73	145.53	145.33	145.13	144.93	144.73	144.53	144.33	144.13	143.93	143.73	143.53	143.33	143.13	142.93	142.73	142.53	142.33	142.13	141.93	141.73	141.53	141.33	141.13	140.93	140.73	140.53	140.33	140.13	139.93	139.73	139.53	139.33	139.13	138.93	138.73	138.53	138.33	138.13	137.93	137.73	137.53	137.33	137.13	136.93	136.73	136.53	136.33	136.13	135.93	135.73	135.53	135.33	135.13	134.93	134.73	134.53	134.33	134.13	133.93	133.73	133.53	133.33	133.13	132.93	132.73	132.53	132.33	132.13	131.93	131.73	131.53	131.33	131.13	130.93	130.73	130.53	130.33	130.13	129.93	129.73	129.53	129.33	129.13	128.93	128.73	128.53	128.33	128.13	127.93	127.73	127.53	127.33	127.13	126.93	126.73	126.53	126.33	126.13	125.93	125.73	125.53	125.33	125.13	124.93	124.73	124.53	124.33	124.13	123.93	123.73	123.53	123.33	123.13	122.93	122.73	122.53	122.33	122.13	121.93	121.73	121.53	121.33	121.13	120.93	120.73	120.53	120.33	120.13	119.93	119.73	119.53	119.33	119.13	118.93	118.73	118.53	118.33	118.13	117.93	117.73	117.53	117.33	117.13	116.93	116.73	116.53	116.33	116.13	115.93	115.73	115.53	115.33	115.13	114.93	114.73	114.53	114.33	114.13	113.93	113.73	113.53	113.33	113.13	112.93	112.73	112.53	112.33	112.13	111.93	111.73	111.53	111.33	111.13	110.93	110.73	110.53	110.33	110.13	109.93	109.73	109.53	109.33	109.13	108.93	108.73	108.53	108.33	108.13	107.93	107.73	107.53	107.33	107.13	106.93	106.73	106.53	106.33	106.13	105.93	105.73	105.53	105.33	105.13	104.93	104.73	104.53	104.33	104.13	103.93	103.73	103.53	103.33	103.13	102.93	102.73	102.53	102.33	102.13	101.93	101.73	101.53	101.33	101.13	100.93	100.73	100.53	100.33	100.13	99.93	99.73	99.53	99.33	99.13	98.93	98.73	98.53	98.33	98.13	97.93	97.73	97.53	97.33	97.13	96.93	96.73	96.53	96.33	96.13



Rapport / Report

Tunnel Gran-Jaren

Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i tunneltrasé

20120110-01-R
26. april 2013
Rev. nr.: 1

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGL.

Prosjekt

Prosjekt: Tunnel Gran-Jaren
Dokumenttittel: Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i tunneltraséen
Dokumentnr.: 20120110-01-R
Dato: 22. februar 2013
Rev. nr./rev. dato: 1 / 26. april 2013

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statens vegvesen Oppland
Kontaktperson: AnneBrit Moen/Jon Kviberg
Kontraktreferanse: Oppdragsbekreftelse

For NGI

Prosjektleder: Erik Endre
Utarbeidet av: Erik Endre
Kontrollert av: Arnstein Aarset/Thomas Pabst

Sammendrag

Denne rapport omtaler skiferhorisontene tolket fra fire borekjerner BH1 – BH4. Geokjemiske analyser av borekjernene er tolket og sammenliknet med geokjemiske analyser fra tilsvarende skiferhorisonter i Oslo/Slemmestad, Hokksund og Hamar. Skiferhorisonter med potensielt syredannende egenskaper er identifisert å tilhøre både Galgebergledet (3b β) i Tøyenformasjonen (3b) og øvre del av Alunskiferformasjonen (3a-2). Alunskiferformasjonen ved Gran har et lavere syredannende potensiale enn tilsvarende skiferhorisont fra Oslo/Slemmestad/Hokksund. Dette skyldes at Alunskiferformasjonen ved Gran har et lavere innhold av sulfider og organisk forkullet materiale (TOC) sammenliknet med tilsvarende nivå (3a-2) i Alunskiferformasjonen ved Slemmestad.

Analyser av de ikke syredannende skiferhorisonter (her Hagaberg leddet (3b α) i Tøyenformasjonen, Huk formasjonen (3c) og Elnesformasjonen (4a)) er sammenstilt med analyser fra Hamar og Oslo. Det kan med bakgrunn i analyser og tolkninger av analysene konkluderes med at i de fire kjerner (BH1 – BH4) er det

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20120110-R-01
Dato: 2013-04-26
Rev. nr.: 1
Side: 4

Hukformasjonen (3c) som i hovedsak representerer ikke syredannende skiferhorisonter (kalkrik skifer og leirskifer). Dette har stor betydning for praktiske forhold under driving av tunnelen da Hukformasjonen er mindre enn 30 meter mektig. Til sammenlikning er Elnes formasjonen opp til 80 meter mektig. De ulike skiferhorisontenes geokjemiske fingeravtrykk gjør det mulig å kunne forutsi skifte i skifertype under driving av tunnelen. Dette vil kunne gjennomføres ved geokjemisk analyse av borekaks på stoff ved boring av injeksjonshull og sonderhull foran stoff. Det kan også kontrolleres på ”røysa”.

Generelt er ikke leirskifre og svartskifre fra Oslo feltets kambro-silurlagrekke egnet til gjenbruk da de vil knuses ved mekanisk belastning. Alle svartskiferhorisonter kan utvikle svelletrykk gitt visse forvittringsforhold. Hukformasjonens skifer kan benyttes til å bufre syredannende skifre.

Innhold

1	Oslofeltets kambro-silur lagrekke	6
1.1	Lagrekken	6
1.2	Kort beskrivelse av aktuelle skifer formasjoner	6
1.3	Skiferhorisontene som informasjonsbærer	13
2	Geologi i tunneltrasé	13
2.1	Geologisk kart	13
2.2	Profiler som viser plassering av borekjerner	15
3	Gjennomgang kjerner – karakteristiske trekk	15
3.1	BH1	16
3.2	BH2	18
3.3	BH3	20
3.4	BH4	22
4	Grunnlag for analyser og tolkninger	23
5	Tolkninger	27
6	Mengder i tunneltraséen	28
7	Konklusjon	31
8	Forhold av betydning for tunnel	32
8.1	RQD-verdier	32
8.2	Mekanisk nedbrytning av skifer i kombinasjon med fukt i drivefasen	35
8.3	Drenert løsning i tunnel	35
8.4	Grunnvannsspeil	37
8.5	Korrosivt miljø og levetid installasjoner	37
8.6	Mulig problematisk vannkjemi ytre miljø	37
8.7	Gjenbruk av tunnelmasser	38
8.8	Identifisering av skiferhorisonter under driving og foran stuff	38
9	Deponi	39
9.1	Grunnvannsspeil	39
9.2	Grunnvannssig/hydrauliske gradienter	40
9.3	Forvittringsmekanismer i skiferen ved vannsig (hydrauliske gradienter) gjennom skiferen	40
10	Referanser	40

Kontroll- og referanseside

1 Oslofeltets kambro-silur lagrekke

1.1 Lagrekken

Det er nødvendig å ha en forståelse av oppbyggingen av skiferlagrekken for å kunne forutsi om en påtreffer kalkrik skifer, leirskifer eller svartskifer/alunskifer under driving av tunnelen. Som vist i det geologiske kartet i figur 9 er det sannsynlig at tunneltraséen vil krysse Alunskifer formasjonen, Tøyen formasjonen, Huk formasjonen og muligens Elnesformasjonen. Oppbygging av skiferlagrekken er vist i figur 1. Tabellen er en modifisert utgave fra Owen et. al. (1990). Den inkluderer også den nomenklatur som nå vanligvis benyttes i berggrunnsgeologiske kart. Gule markeringer viser skiferformasjoner med potensielt syredannende egenskaper eller sikre syredannende egenskaper.

Original numbering of stages	Oslo – Asker Formations	Hadeland	Hamar Region (Mjøsa)	NGU Groups in Geol. maps	Age
4d	Skogerholmen			Oslo	Mid 4aα to Late Ordovician (5b)
4cγ	Skjerholmen			Oslo	
4cβ	Grimløya			Oslo	
4cα	Venstøp			Oslo	
4bδ	Solvang			Oslo	
4bγ	Nakkholmen			Oslo	
4bβ	Frognerkilen			Oslo	
4bα	Arnestad	Arnestad	Arnestad	Oslo	
4aβ	Vollen	Vollen	Vollen	Oslo	
4aα	Elnes	Elnes	Elnes (Bjørge)	Oslo	
3c	Huk FM	Huk FM	Huk FM	Røyken	Early Ordovician (2c-3c)
3b	Tøyen FM	Tøyen FM	Tøyen FM	Røyken	
3aγ	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Røyken	
1 – 3aβ	Alum shale FM	Alum shale FM	Alum shale FM	Røyken	Mid Cambrian (1c – 2d)

Figur 1: Lagrekken i kambro-silurskiferne. Gule markeringer viser svartskiferhorisonter. En kan diskutere om 4a skal defineres som svartskifer i Hamar regionen. I Osloområdet har Elnesformasjonen svartskifer trekk. Skiferlagrekken er her ikke uttømmende, ei heller på alle skiferhorisonter som kan gi svelleskader og/eller miljøbelastninger ved forvitring.

1.2 Kort beskrivelse av aktuelle skifer formasjoner

Egenskaper til de ulike skiferhorisonter gjenspeiles forskjellig, og er avhengig av ved hvilke forhold de forvitrer. Dette er det viktig å være klar over, da overflateforvitring i alunskifer i dagen også kan gi en grålig strek

Alunskiferformasjonen (2-3aα-3aβ):

Egentlig skal Bjørkåsholmen (3aγ) inkluderes i Alunskifer formasjonen. Av praktiske hensyn for dette prosjektet er Bjørkåsholmen og Hagabergleddet (3bα) slått sammen i kjernematerialet. Mektighet for Alunskiferformasjonen ca 80 meter ved Hokksund (referanselokalitet ved Krekling.) Mektigheten varierer også på

grunn av de fysiske påkjenninger skiferlagene ble utsatt for ved dannelsen av den kaledonske fjellkjede (fjellkjeden i Norge er rester av denne hendelsen). Alunskiferen er meget tett laminert (fissile texture, engelsk) på grunn av at den ble dannet over svært lang tid med lite tilførsel av materiale under sedimentasjonen. Sammensetning varierer i millimeterskala.

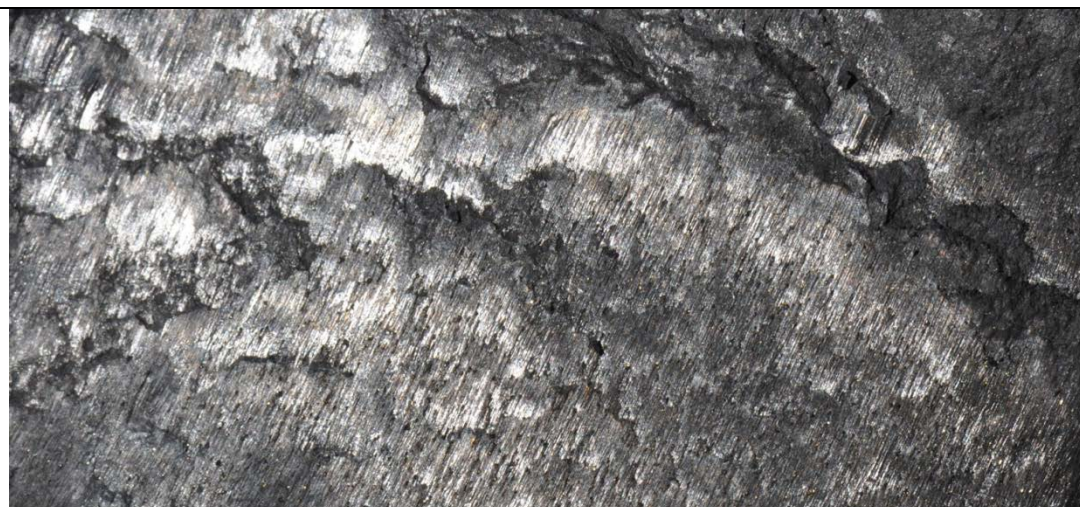


Figur 2: Alunskifer som forvittrer med tilgang på fuktig luft kan svulle til et volum som kan være 2-3 ganger opprinnelig volum. Legg merke til oppflakingen (laminering). Det er denne tette lamineringen som gjør alunskiferen så følsom for forvitring. Dette skyldes at store arealer blir tilgjengelig for oksidasjon. Høyden på bildeutsnittet er ca 5 centimeter. Intense gule farger er jernsulfater (kopiattitt). Sammenlikn disse farger med forvittringsfargene i figurene 33 – 35.

Sulfider er finfordelt i den finkornede grunnmassen (matriks). Ved forvitringen utvikles det åpne flater langs lamineringen og de mange ørsmå mineralkorn av sulfider får tilgang på fukt og oksygen (figur 2 og 3).

Den svarte skiferen i Alunskiferformasjonen er den skiferen med størst skadepotensiale både på konstruksjoner, inneklime og ytre miljø. Denne horisonten inneholder også de høyeste urankonsentrasjoner og er derfor også den mest radonproduserende bergarten i Norge.

Det er ikke uvanlig å kunne observere alunskiferen med et matt mørk grått utseende på flater som ligger utsatt for vær og vind. Dette gjelder særlig der lagdelingen er parallell med terrengoverflaten. Skjærer terrengoverflaten lagdelingen (lamineringen) vil det utvikles flakforvitring (lokalt navn: flisberg). Under gulv og særlig under frittstående gulv har denne skiferen optimale forvittringsforhold. Det er under slike forhold skadepotensialet er størst.



Figur 3: Glidespeil med ørsmå sulfidkorn (sorte prikker) finfordelt i flaten. Bredden på bildeutsnittet er her ca 20 millimeter.

Fordelingen av ørsmå sulfidkorn og den svært tette lamineringen er to viktige årsaker til hvordan denne svartskiferen oppfører seg ved forvitring (figur 2 og 3).



Figur 4: Mineralet gips (lyse uregelmessige felt) er kjent for å kunne gi svelletrykk og skader på fundamenter og konstruksjoner. Legg merke til at gipsen er dannet på flere parallelle flater. Jo mindre avstand mellom disse parallelle flatene jo større er skadepotensialet (se også fig 2).

Fordelingen av sulfidmineraler vil også påvirke hvor nye mineraler som f.eks gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dannes. Svelleskader og risiko ved slike skader bør inngå i prosjektering og valg av løsninger.

Bjørkåsholmenformasjonen (3a γ):

Denne formasjonen er ikke mektig og kan være 1 til muligens 5 meter. Overgangen fra Alunskifer fm (2 – 3a β) er normalt tydelig, mens overgang til Hagabergleddet er mindre tydelig. Karakteristisk for denne formasjonen er en forholdsvis massiv kalkbenk. Denne kan gjenkjennes på flere lokaliteter i Osloområdet. Det er i dette arbeidet ikke skilt mellom 3a γ og 3b α da det i praksis vil forutsette svært detaljert kjennskap til disse to. I tillegg er den opprinnelige (primære) kontakten forstyrret og overpreget av senere tektoniske hendelser (skjærbevegelser som utvikler nye flater i skifrene). Den vanligvis tydelige kalkbenken som utgjør en del av Bjørkåsholmen er ikke så tydelig i det analyserte kjernematerialet.

Tøyen formasjonen

Tøyen formasjonen (3b) er delt i to, Hagabergleddet (3b α), nederst og Galgebergleddet (3b β) øverst.

Hagabergleddet (3b α) som kan være > 10 meter mektig er ikke en svartskifer, den kan ha et svakt grønnskjær og kan virke mer massiv enn svartskiferen over (3b β). Den inneholder vanligvis en god del barium og er ikke en typisk karbonatskifer. I kjernematerialet er det ikke en entydig overgang mellom Bjørkåsholmen (3a γ) og Hagabergleddet. Overgangen til Galgebergleddet (3b β) er mer tydelig. I tolkningen av kjernene er det derfor ikke satt et skille mellom disse to enhetene. (Den nedre del kan utgjøre en videre utvikling av Bjørkåsholmen formasjonen til Hagabergleddet (3b α):



Figur 5: Hagabergleddet ved Slemmestad. Denne skiferhorisonten inneholder noe sulfider og karakteristisk også barium. Den kan ha en grønn-grå farge og store pyritt aggregater. Rustfarger fra jernhydroksider ($Fe(OH)_x$)

Tøyenformasjonen - Galgebergledet (3bβ):

Galgebergledet i Tøyenformasjonen er registrert på Hadeland med en mektighet som kan overstige 15 meter. Galgebergledet er en svartskifer med flere fellestrekk med Alunskiferformasjonen. Utseende kan forveksles med Alunskiferen, men det noen viktige egenskaper som skiller disse to svartskiferhorisontene fra hverandre. Galgebergledet inneholder et fossil som kalles didymograptus som er en graptolitt med et sagtannet lett gjenkjennelig utseende. Fossilet er skjørt og vil ødelegges ved tektonisk påvirkning.



Figur 6: Didymograptus fossiler som nå består av barytt ($BaSO_4$). Dette fossilet er karakteristisk for Galgebergledet og regnes som en sikker identifikasjon av denne svartskiferen. Galgebergledet sprekker ikke opp som alunskiferen og det er større avstand mellom flakene. Det har derfor ikke samme raske forvittringspotensiale som alunskiferen.



Figur 6: Galgebergledet (3bβ). Rød stiplet linje viser et opprinnelig flatt lag i skiferen og hvordan dette er bøyet og skjøvet. Rustfarget flate i toppen er Huk formasjonen. Legg merke til hvordan den stive kalkbenken har rette linjer mens Tøyenformasjonen "krøller" seg. Bildet er fra Slemmestad

Huk formasjonen (3c)

Huk formasjonen er i Oslo Gran/Hadeland inndelt i tre ledd.



Figur 7: Hukformasjonen (3c), her Hukoddenleddet (3cα) med kontakten mot Galgebergledet (3bβ) i Tøyen formasjonen (3b) Bildet er fra Slemmestad

3cα Hukodden leddet

Hukodden leddet er ved Granavollen målt til 1,6 meter mektighet. Hukodden danner et tydelig skille fra den underliggende Tøyen fm (Galgebergledet) (figur 6

og 7). Hukodden leddet er en kalkstein med tynne leirskifer lag. Mye av kalksteinen kan være dolomittisk (Mg karbonat). Det skal være mulig å se akkumulerte skjellfragmenter langs en irregulær (ujevn) lagdeling. En lagstruktur kan også være dannet fra en prosess der materialer går i oppløsning som følge av en ujevnt fordelt trykk (pressure solutions seams).

3cβ Lysaker leddet

Lysaker leddet beskrives som en kalkrik leirskifer /mergel med kalkknoller . Den beskrives som en svakere bergart enn Hukodden og Lysaker leddene, slik at mektighet kan være mer påvirket av tektoniske hendelser. Ved Granavollen er mektighet målt til 1,6 meter. Tektonisk påvirkning kan også medføre at enheten repeteres (økt mektighet) eller strekkes og tynnes.

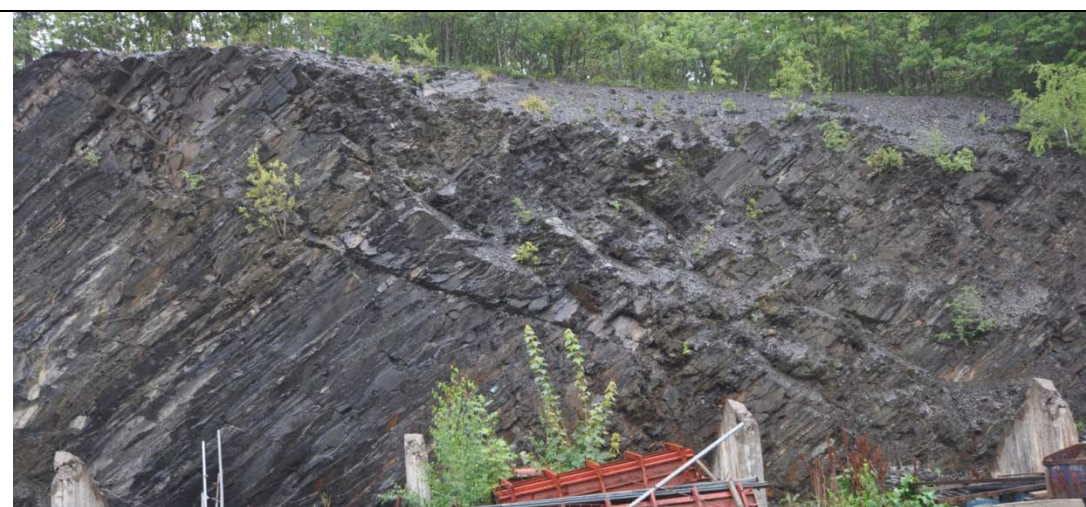
3cγ Svartodden leddet

Svartodden leddet er målt til > 4,5 meter ved Hovodden på Hadeland og skiller seg fra den underliggende enheten Lysaker leddet ved et mer massivt utseende av kalkstein. Nedre del beskrives som bioturbert med fosforrike og oolithittiske horisonter. Den øvre del skal inneholde den nautiloide cephalopoden *Cycloendocereas commune*.

I Hamar området er ikke Huk formasjonen tredelt. Her erstatter Herram leddet leddene 3cα og 3cβ. Den største registrerte mektigheten 11,5 meter for Herram leddet er beskrevet fra Snertingdal. Herramleddet er karakterisert ved grå leirstein/-skifer med lag og linser av kalkstein. I vest ligger Steinformasjonen over Herramleddet, mens i øst ligger Svartodden leddet over Herramleddet.

Elnesformasjonen (4a):

Elnes formasjonen beskrives som en mekanisk svak leirskifer, som vil påvirkes av tektonisk påvirkning. Mektigheten vil derfor være usikker. I Oslo området er den målt til ca 60 meter, i Modum området er mektigheten anslått til ca. 120 meter. Overgangen fra den underliggende Huk formasjonen beskrives som tydelig.



Figur 8: Elnes formasjonen, Slemmestad

I

Oslo – Asker området er Elnes formasjonen inndelt i fire ledd, Helskjer, Sjøstrand, Engervik og Håkavik. Sjøstrand leddet inneholder den karakteristisk graptolitt fossilet og kalles da også øvre didymograptus skifer. Galgebergledet i Tøyen formasjonen kalles nedre didymograptus skifer.

Elnes formasjonen er ikke identifisert i kjernematerialet. En kan forvente å påtreffe Elnes formasjonen fra pel 7750 og et godt stykke inn i tunnelen.

1.3 Skiferhorisontene som informasjonsbærer

De ulike skiferhorisonter har ulike fysiske og kjemiske egenskaper. Dette skyldes i hovedsak at miljøet ved dannelse av slike leirrike sedimenter var skiftende fra oksygenrike forhold til oksygenfattige forhold, og at kildematerialet varierer med avstand fra landområder, slik at sedimenter som avsettes med lenger avstand fra landområder vil inneholde større andel finere partikler, samtidig som sjøvann blir en mer dominerende kilde (marint miljø).

NGI har utviklet en metode for å kunne identifisere de ulike skiferhorisontene (egentlig formasjoner og ledd) i den kambro-siluriske lagrekken. Figur 1 viser rekkefølgen og navn på formasjoner. Formasjonene er videre delt inn i ledd. Denne inndelingen er basert på fossiler som gir entydig identifikasjon av de ulike ledd og formasjoner.

Filosofien ved metoden er å kunne identifisere skiferhorisonter på en objektiv måte og kunne knytte de ulike egenskapene (forvitring, syredannelse, mekaniske egenskaper, radon med mer) til de mange skiferhorisontene. En kan da gjenbruke informasjon fra et område/prosjekt til et annet.

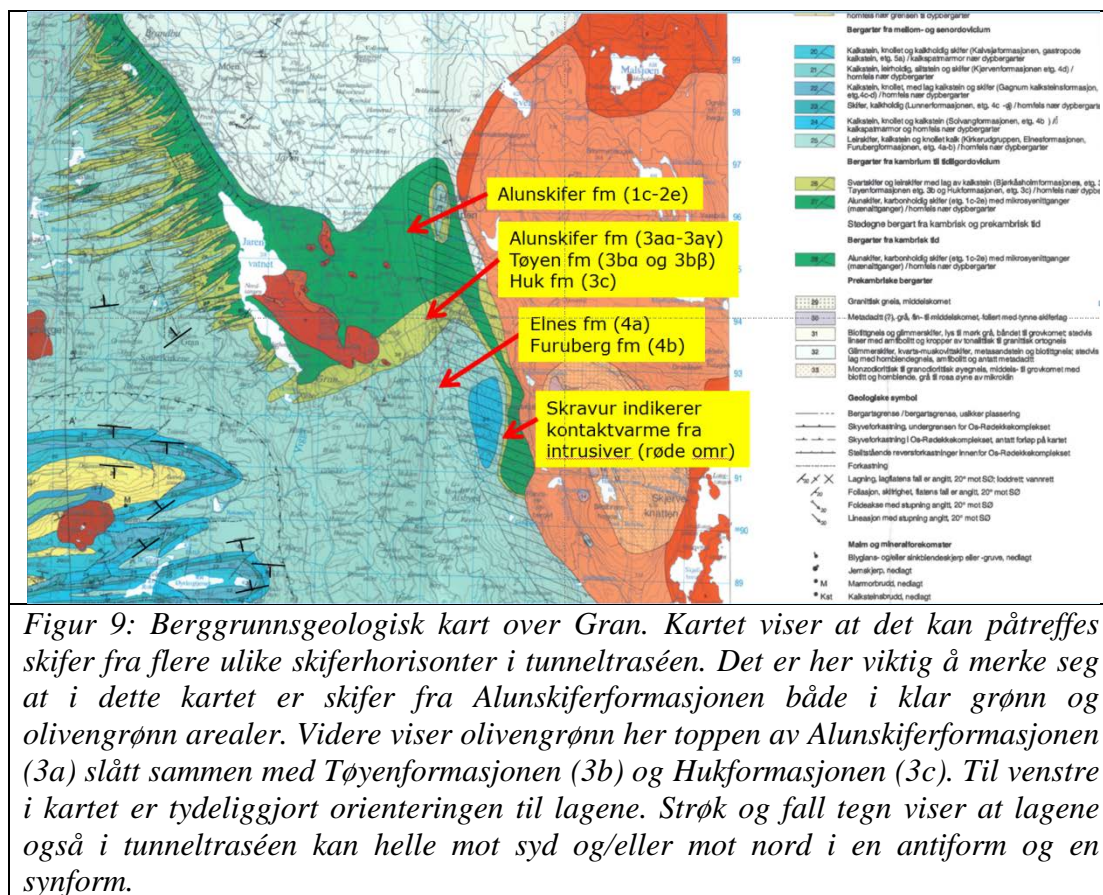
Metoden baseres på et geokjemisk fingeravtrykk. Alle bergarter inneholder en rekke grunnstoffer. NGI systematiserer forholdet mellom grunnstoffene og kan med bakgrunn i dette identifisere ulike skifertyper (her ledd og formasjoner). I tillegg gir metoden en vurdering av potensialet for forurensning ved at det syredannende potensialet vurderes. Denne informasjonen kobles med erfaringer gjennom flere prosjekt med tilsvarende skiferbergarter.

Dette har stor praktisk betydning og gir en langt bedre forutsigbarhet i prosjekter, ikke kun for deponialternativer, men for prosjektering og løsningsvalg ved bygging, massebalanse i prosjekt, logistikk, miljørisiko, levetidsbetraktninger og ikke minst kostnader.

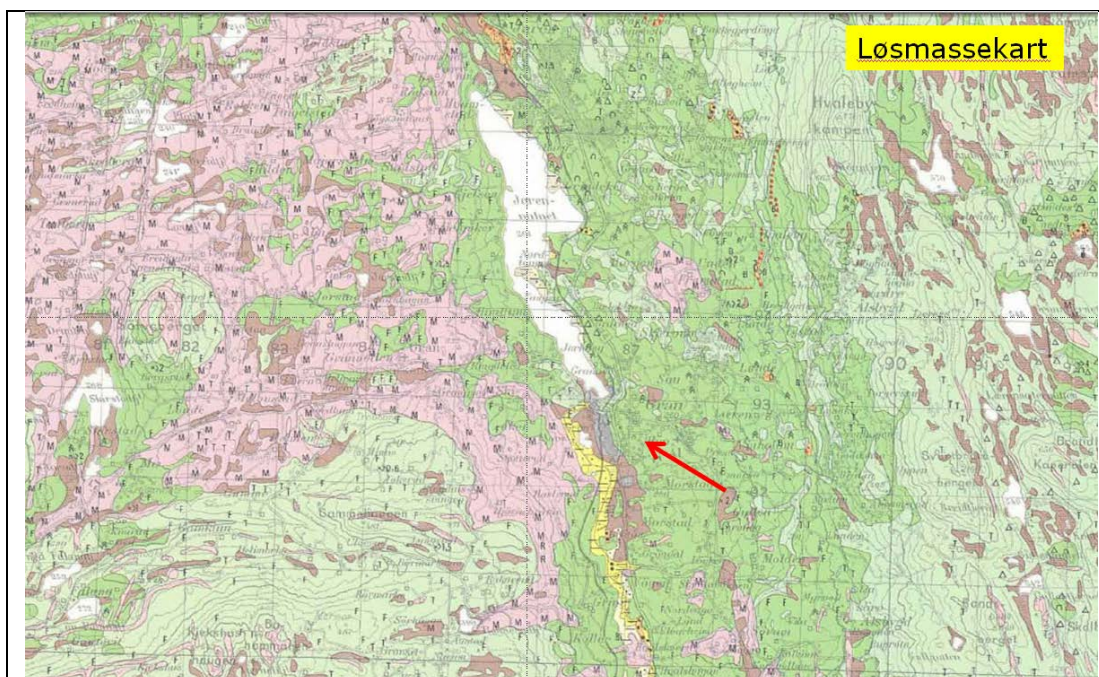
2 Geologi i tunneltrasé

2.1 Geologisk kart

Berggrunnsgeologisk kart vist i figur 9 er et utsnitt av NGU 1:50.000 Gran. Innenfor små avstander skifter bergartstypene fra Oslofeltets kambro-silur skifre, Oslofeltets intrusive permbergarter og gneiser ("grunnfjellet").



Kvartærgeologisk kart over området er vist i figur 10. Kartutsnittet er fra 1:50.000 Gran. Kartet viser at løsmasser over skiferbergartene er morenemateriale. Fra andre prosjekt i nærområdet (Hadeland VGS) har NGI analysert morenematerialet til å være kvabb med høyt innhold av fint materiale (silt) som medfører at massen blir sensitiv når den tar opp vann (figur 42).



Figur 10: Løsmasser i denne sammenheng er også istidsavsetninger. Skiferen i byggegropa for Hadeland vgs var dekket av et morenelag ("kvabb").

Fra tidligere utført NGI prosjekt ved Hadeland videregående skole er morenematerialet identifisert som kort transportert med innslag av skifer i en grunnmasse (matrisk) som i hovedsakelig består av silt/leiraktig silt.

2.2 Profiler som viser plassering av borekjerner

NGI har fått tilsendt figurer som viser plassering av borekjerner. Det er videre opplyst av BH1 og BH 2 er boret med en vinkel på 45°, mens BH3 og BH 4 er vertikale.

3 Gjennomgang kjerner – karakteristiske trekk

Borekjernene er gjennomgått visuelt. Det er tatt prøver av de ulike horisonter. Deler av kjernematerialet er også gjennomgått med Fredrik Bockelie som er ekspert på den kambro-silurske lagrekke. Dette for å få plassert særlig de ikke-syredannende skifertyper riktig i lagrekken. De identifiserte skifertyper er gitt ulike farger ut fra syredannende egenskaper og syrenøytraliserende egenskaper. Rød indikerer syredannende skifer, grønn indikerer syrenøytral skifer, blå syrenøytraliserende (bufnings-) egenskaper.

3.1 BH1

8		BH1-02-4-50 steinprøve
9		BH1-03-4-40 steinprøve
10	3c3-20,5 m	BH1-03-5-60 steinprøve
11		BH1-04-4-20 steinprøve
12		BH1-05-4-40 steinprøve
13		BH1-06-3-50 steinprøve
14		BH1-07-3-60 steinprøve
15		BH1-08-1-60 steinprøve
16		BH1-08-3-50 steinprøve
17	3c2-43 m	BH1-08-5-40 steinprøve
18		BH1-09-2-50 steinprøve
19		BH1-09-5-50 steinprøve
20		BH1-10-3-50 steinprøve
21		BH1-10-5-30 steinprøve
22		BH1-11-2-50 steinprøve
23		BH1-11-5-50 steinprøve
24		BH1-12-4-50 steinprøve
25		BH1-13-1-40 steinprøve
26	3c1-64,5 m	BH1-13-4-20 steinprøve
27		BH1-13-5-40 steinprøve
28		BH1-14-1-80 steinprøve
29		BH1-14-3-50 steinprøve
30		BH1-14-4-20 steinprøve
31		BH1-14-5-60 steinprøve
32		BH1-15-1-50 steinprøve
33		BH1-15-2-40 steinprøve
34		BH1-15-5-40 steinprøve
35		BH1-16-2-40 steinprøve
36	3bβ-77,5 m	BH1-16-3-40 steinprøve
37		BH1-16-5-20 steinprøve
38		BH1-17-1-40 steinprøve
39	3bα-81 meter	BH1-17-2-40 steinprøve

Figur 11: Profil for BH1

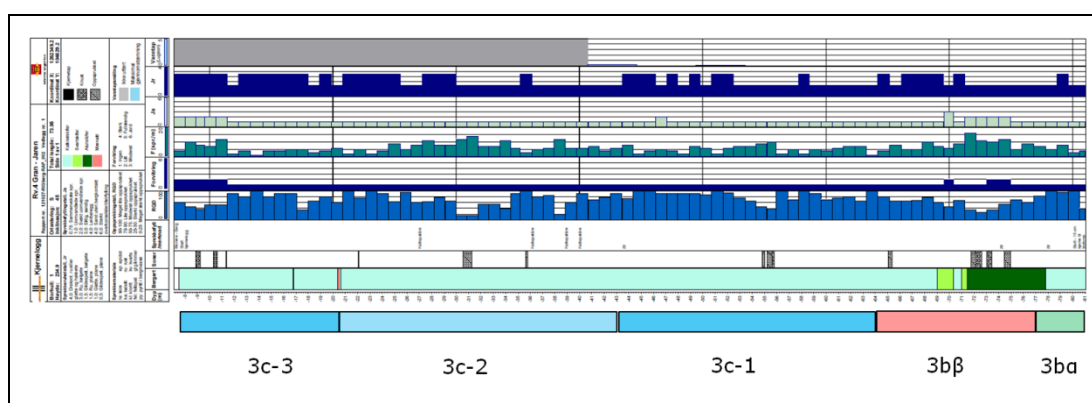
Kjernen begynner i en kalkstein, går over i en leirskifer ved ca 20,5 meter og fortsetter i en kalkstein fra ca 43 til ca 64,5 meter.

Ved ca 64,5 meter går kjerne gjennom Tøyen formasjonens øvre del (Galgebergledet, 3bβ) til ca 77,5 meter. Fra ca 77,5 meter og ut (ca 81 meter), går kjernen gjennom nedre del av Tøyen formasjon (Hagabergledet, 3bα).

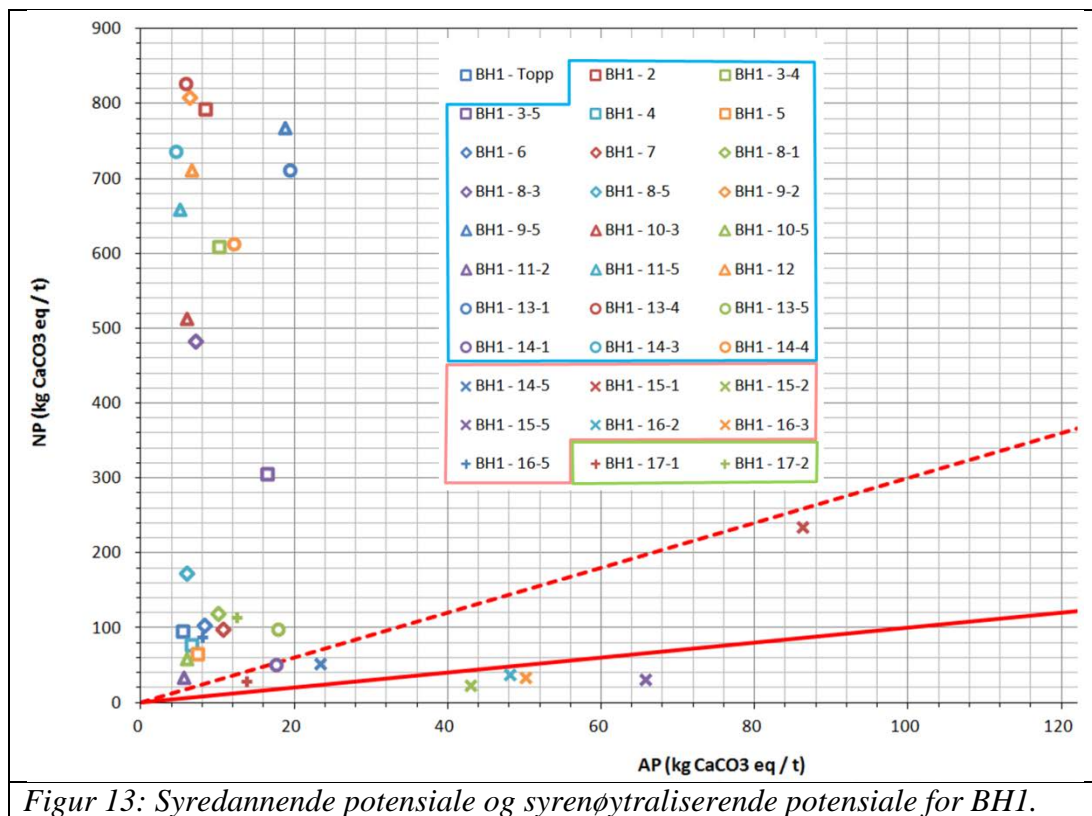
Mektighet på lagene: vinkelen mellom lagdelingen og kjernens orientering varierer mellom 20-30° og ca 60°. Det er derfor usikkerhet i anslagene av mektighet for lagene.

Regner en ca 45° (sin 45 = 0,7) bli mektigheten for 3c anslagsvis 45 meter, 3bβ = ca 9 meter og 3bα = 3,5 meter til kjerneslutt (ved 81 meter).

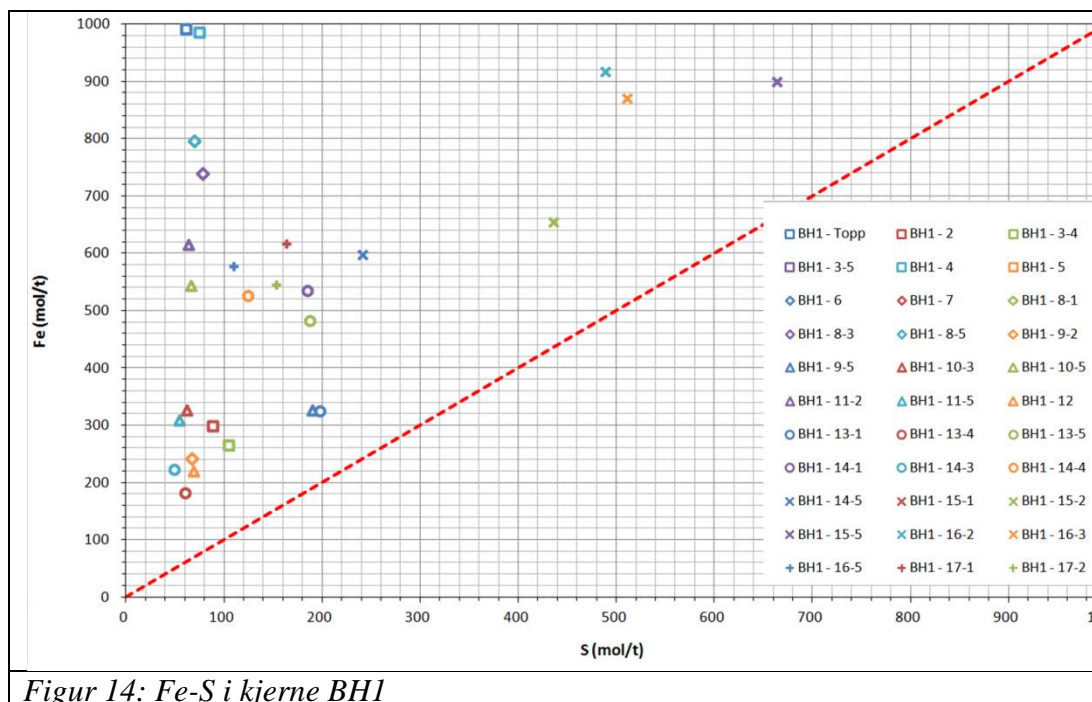
En må ta hensyn her til at BH1 er boret med 45° vinkel. Mektigheten for de ulike skiferlag vil derfor fremkomme som større enn den reelle mektigheten



Figur 12: Identifiserte skifre i lagrekken i kjerne BH1. Den nedre linjen med inndeling Huk (3c) – Galgeberg (3bβ) og Hagaberg (3bα) er basert på geokjemisk sammensetning, og visuelle vurderinger og konsultasjon med Bockelie.



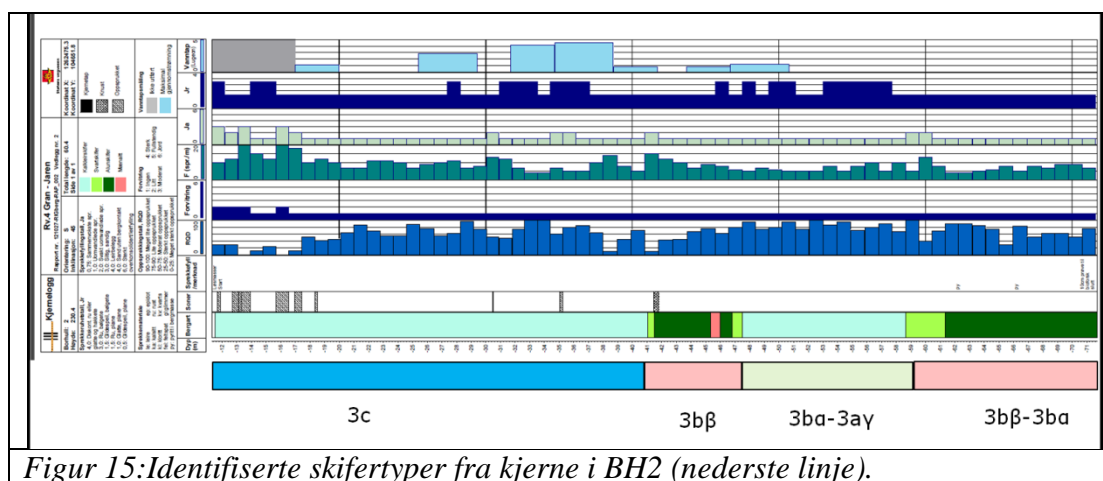
Forholdet mellom jern og svovel er vist i figur 14.

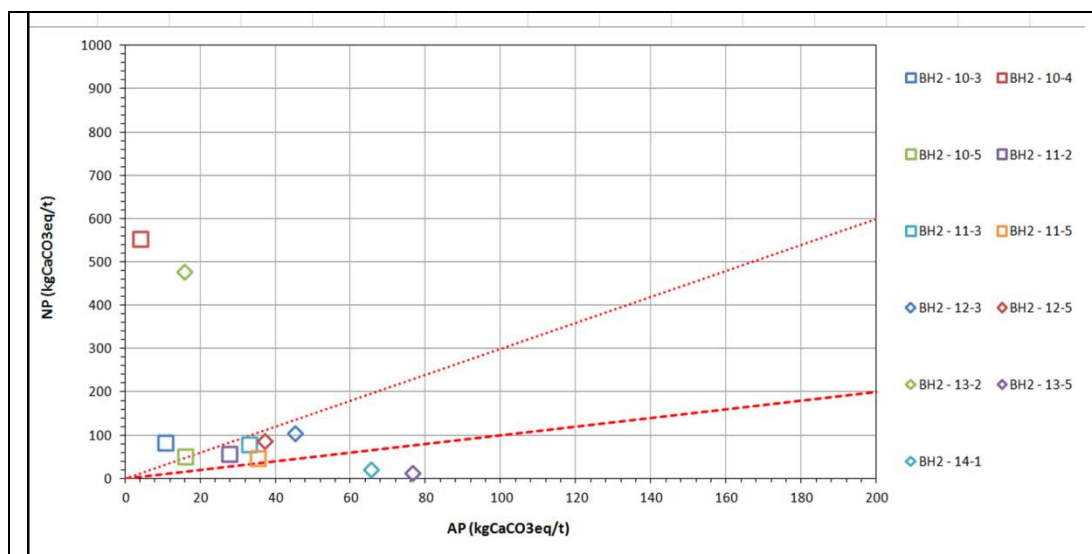


3.2 BH2

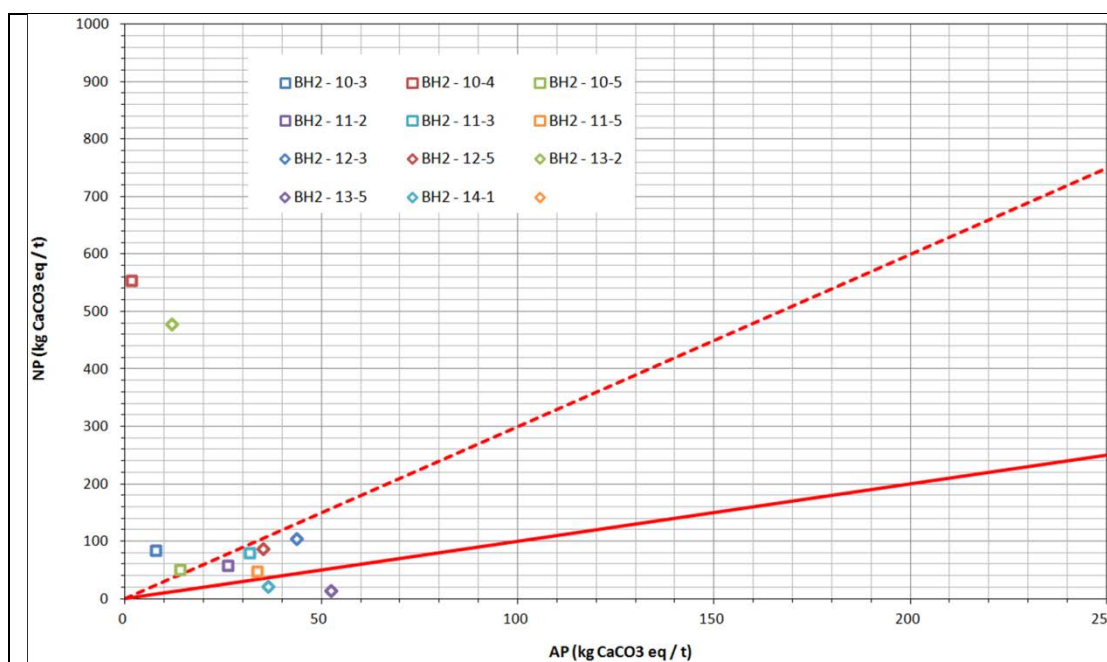
Formasjon	Sample
3b α	BH2-10-3-50 steinprøve
	BH2-10-4-40 steinprøve
	BH2-10-5-50 steinprøve
	BH2-11-2-50 steinprøve
3b β	BH2-11-3-30 steinprøve
	BH2-11-5-40 steinprøve
	BH2-12-3-40 steinprøve
	BH2-12-5-40 steinprøve
3b β	BH2-13-2-20 steinprøve
	BH2-13-5-40 steinprøve
3b α	BH2-14-1-15 steinprøve

Figur 14: BH2 starter ved 11,3 meter. Kjernen går i Huk (3c) til ca 41 meter. Fra 41 til ca 48 går kjernen gjennom Tøyen fm – Galgebergledet (3b β). Fra 48 til ca 59 går kjernen gjennom Tøyen fm- Hagabergledet (3b α) og sannsynligvis Bjørkåsholmen formasjonen (3a γ). Den nedre del av kjernen er en miks av svartskifer og muligens Hagabergledet Ingen karakteristisk alunskifer selv om plassering i lagrekken skulle tilsi dette. Tektonisert plassering. Lagene ligger med 0°-30° vinkel ift kjernens orientering som er 45°.



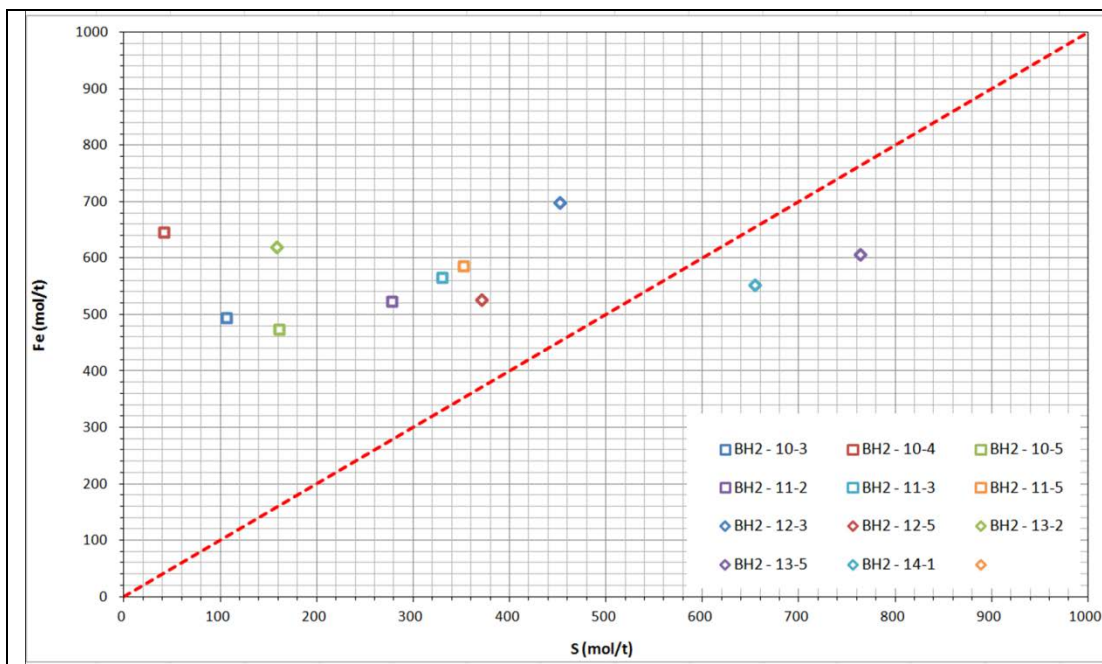


Figur 16: Syredannende potensiale for skifer fra svartskifer, nedre del av BH2. Når en kalkulerer inn bariuminnholdet i prøvene 13-5 og 14-1 er denne alunskiferen moderat syredannende med ca 10000 mg Svovel. (figur 17)



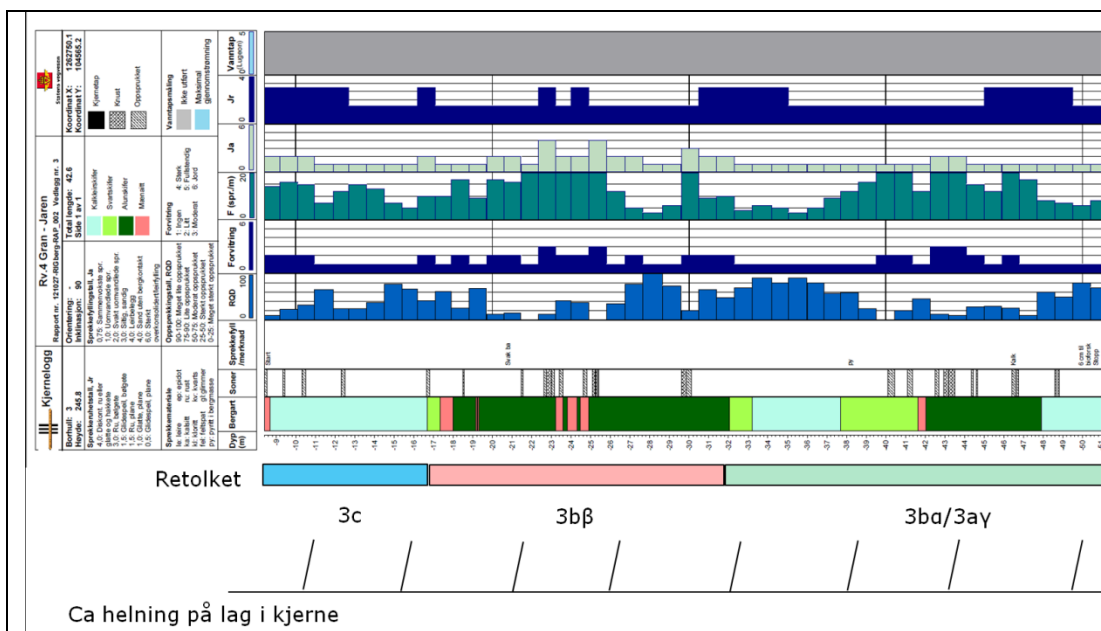
Figur 17: Syredannende potensiale når en tar hensyn til barium innhold. Bariumrike prøver vil da fremkomme med et lavere syredannende potensiale (punkter beveger seg mot venstre i diagrammet, sammenlikn B2-13-5 og BH2-14-2 i figur 16.)

Forholdet mellom jern og svovel viser et overskudd av jern i forhold til svovel (figur 18).

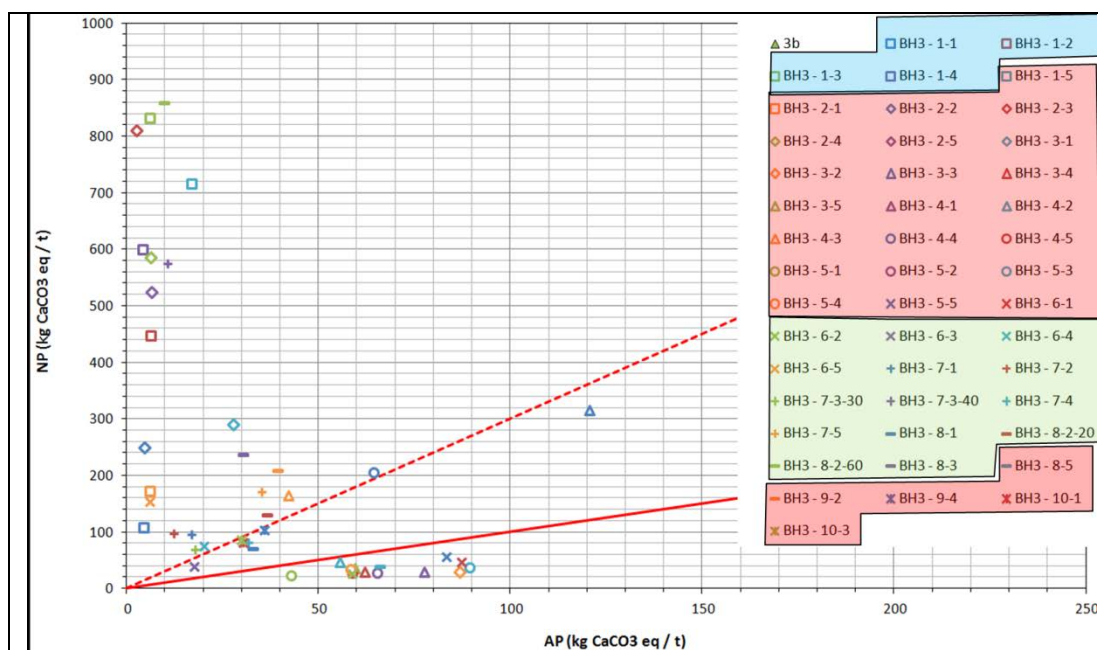


Figur 18: Forholdet mellom Fe og S viser et overskudd av Fe i forhold til S (mol). BH2-13-5 og BH2-14-1 viser i diagrammet et underskudd av jern (Fe) i forhold til svovel (S). Prøver med høyt Baryttinnhold vil kunne forklare dette

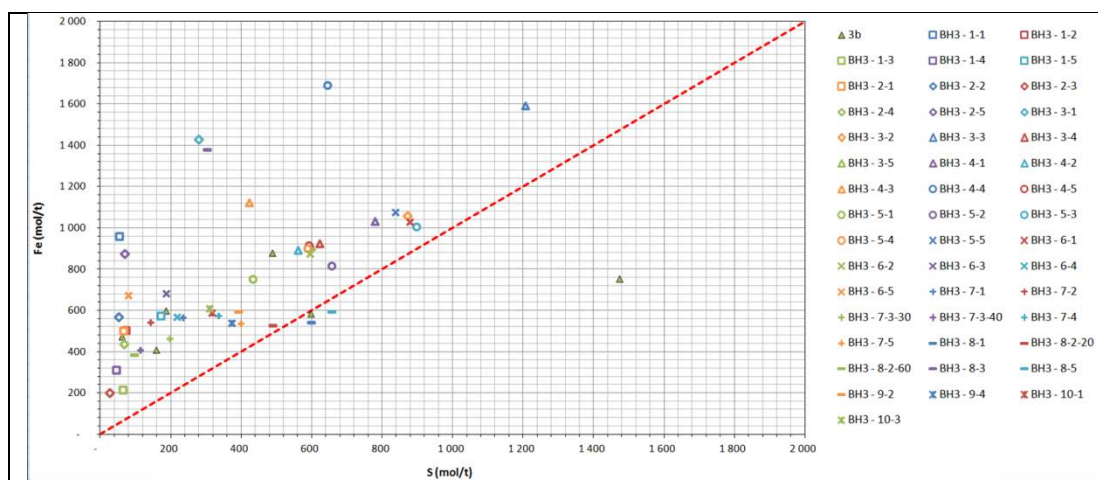
3.3 BH3



Figur 19: Identifiserte skifertyper i BH3. Alunskifer er ikke representert i kjernematerialet, Den nedre del inneholder mindre svovel enn 3b β Galgebergledet. Lagene er nær horisontale (målt mot vertikal orientert kjerne). Rosa vertikale felt indikerer menaitt, en lys smeltebergart som kan gi større variasjoner i mekaniske egenskaper under driving.

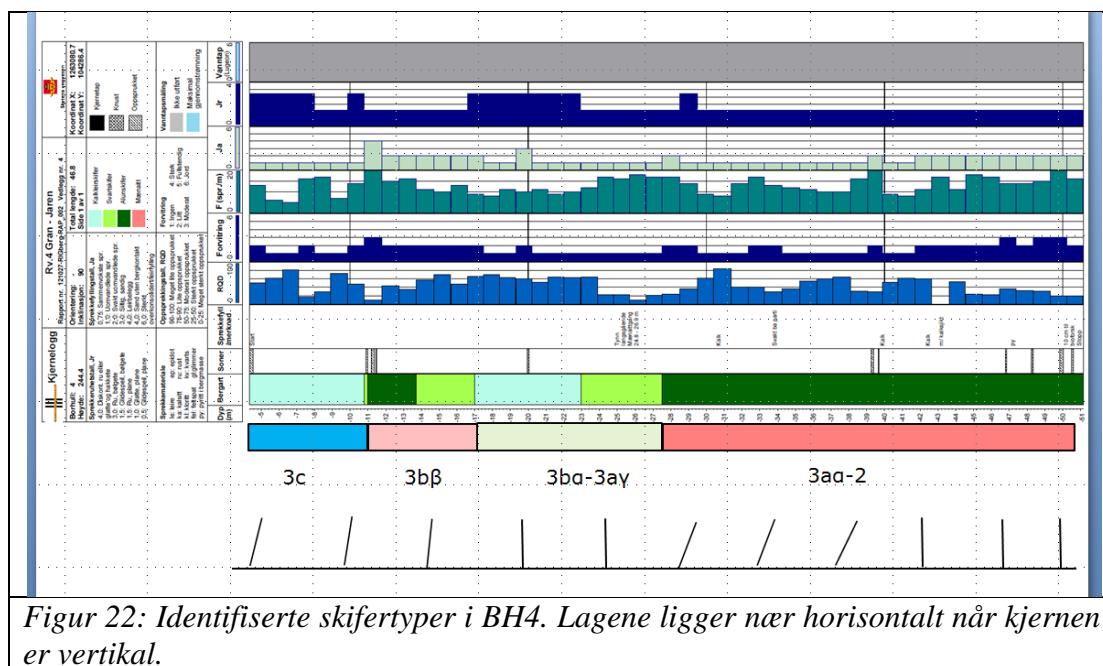


Figur 20: Syredannende potensiale mot syrenøytraliserende potensiale for skiferanalyser i BH3.

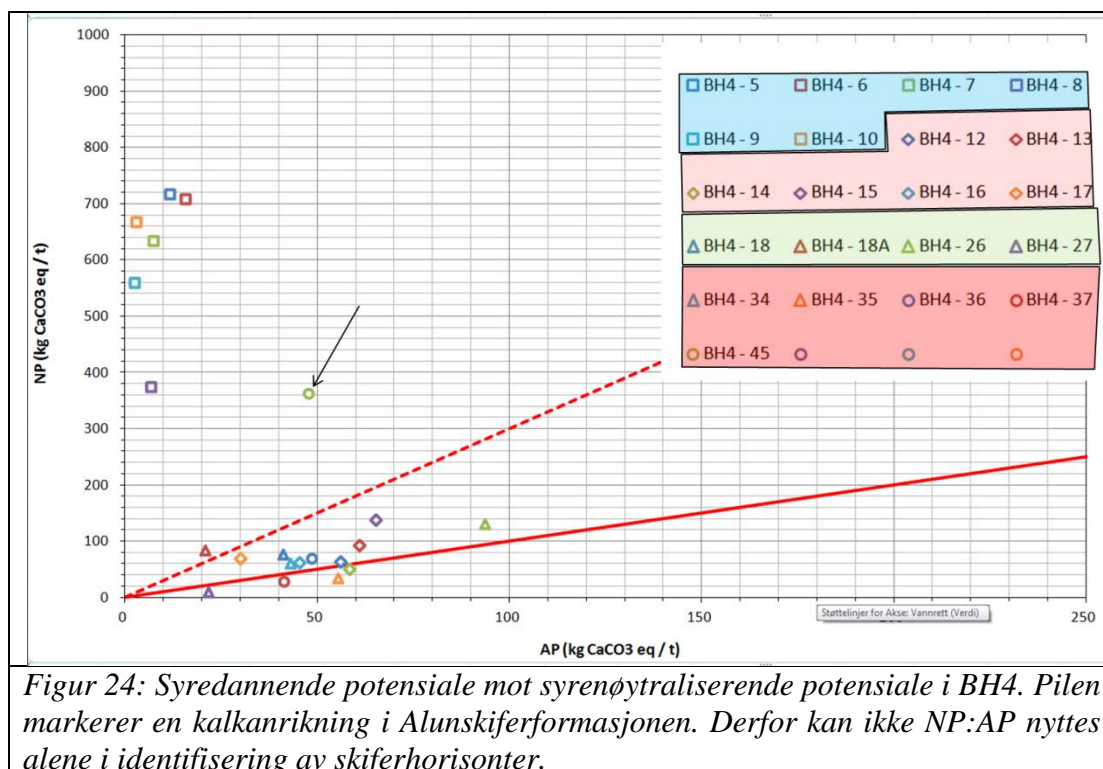


Figur 21: Fe mot S (mol). Se figur 29 for Fe-S I Oslo området. Legg merke til Fe>S

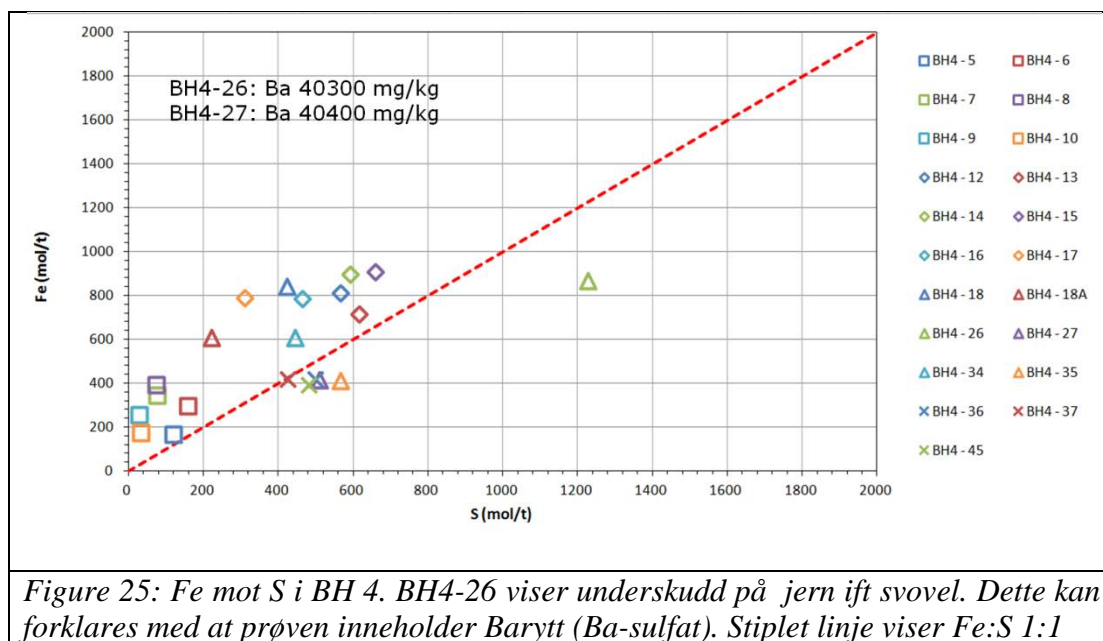
3.4 BH4



Figur 22: Identifiserte skifertyper i BH4. Lagene ligger nær horisontalt når kjernen er vertikal.



Figur 24: Syredannende potensiale mot syrenøytraliserende potensiale i BH4. Pilen markerer en kalkanriking i Alunskiferformasjonen. Derfor kan ikke NP:AP nyttes alene i identifisering av skiferhorisonter.



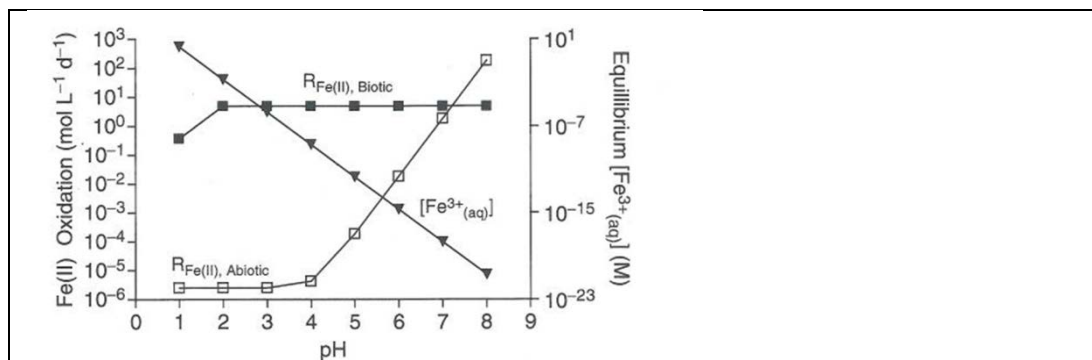
4 Grunnlag for analyser og tolkninger

4.1.1 Syredannende egenskaper

I en vurdering av syredannende egenskaper er det etablert metoder for å vurdere syredannende egenskaper (AP, acid potential) opp mot syrenøytraliserende (NP, neutralizing potential).

Bakgrunn for å vurdere syredannende egenskaper er knyttet til pH verdiens påvirkning på forvitningsforløpet i slike skifre (sulfidrike bergarter generelt). Reaksjonene kalles også redoks reaksjoner. Viktige bidragsyttere i tillegg til tilgang på oksygen (kilde kan være vann og/eller luft ved redoksreaksjonene som fører til sulfid forvitring er jern (Fe), svovel (S) og bakterier (figur 26). Figur 26 viser forvitningsprosesser (redoks prosesser) ved tre ulike forhold:

Skiferbergarter som svartskifer har et fellestrekk at de er relativt rike på sulfider. Sulfider er i hovedmengde jernsulfider (pyritt, FeS_2 og magnetkis/pyrrhotitt Fe_{1-x}S). I sulfider har svovel S en negativ ladning (S^{2-}). Ved oksidasjon fra sulfid til sulfat får svovel en positiv ladning (S^{6+}). Sulfidmineralene omdannes da til sulfatmineraler (SO_4^{2-}). Sulfatmineraler er normalt lett løselige i vann, og vil følge vannsig med mulig forurensningspotensiale. Denne oksidasjonsprosessen er forbundet med syredannelse, pH verdiene blir lavere.



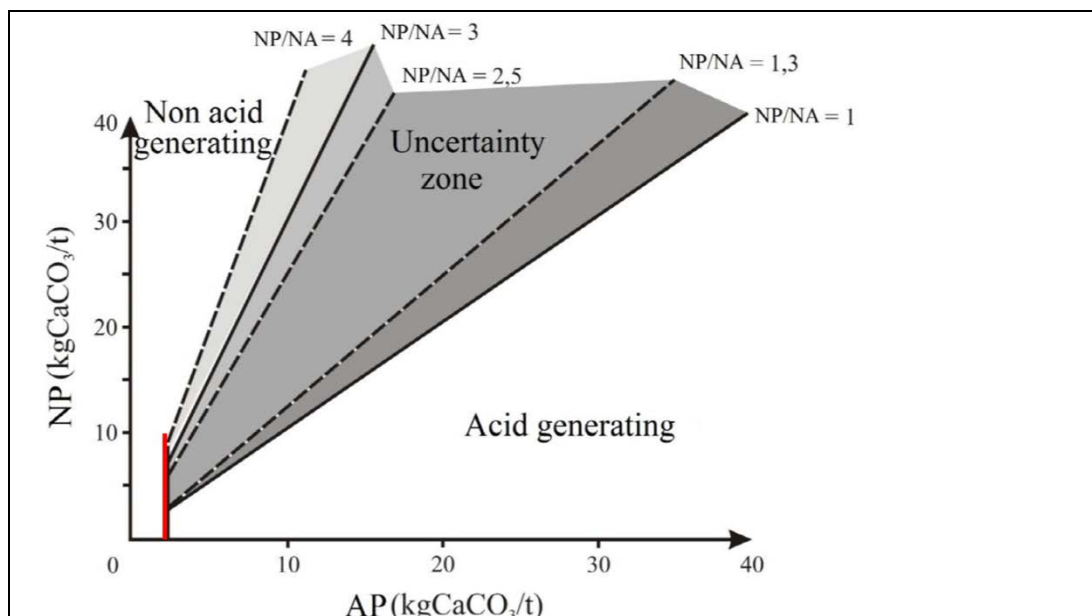
Figur 26: Figuren viser oksidasjon av Fe^{2+} til Fe^{3+} som funksjon av pH og biotisk (bakteriedrevet) medvirkning (Brantley et al., 2008). Figuren viser at når pH verdiene synker, så øker Fe^{3+} sin rolle i oksidasjon av Fe^{2+} . Ved pH lavere enn 3 er Fe^{3+} den mest effektive bidragsyter til sulfidforvitringen. Den vertikale aksene viser $10^{-2}=0,01$; $10^{-1}=0,1$; $10^0=1$; $10^1=10$; $10^2=100$.

Abiotisk: Rent uorganisk miljø

Biotisk: Bakterier medvirker

Lav pH: Fe^{3+} er viktigste pådriver i forvitningsprosessen

Om det ikke er noen oksygenkilde vil prosessen stanse opp. Dette kan sammenliknes med et lukket system. Om det er et åpent system, f.eks vann i bevegelse eller luft/diffusjon fra oksygen ned på sprekker og gjennom vann kan prosessen fortsette.



Figur 27: Forklaring til AP-NP diagram (se også Lawrence and Wang, 1997). Den røde hele linjen i figur 28 viser NP:AP som 1:1. Den stiplede linjen viser NP:AP i 1:3 (konservativ vurdering). Mellom heltrukken og stiplet linje er "usikkerhetssonen"; uncertainty zone).

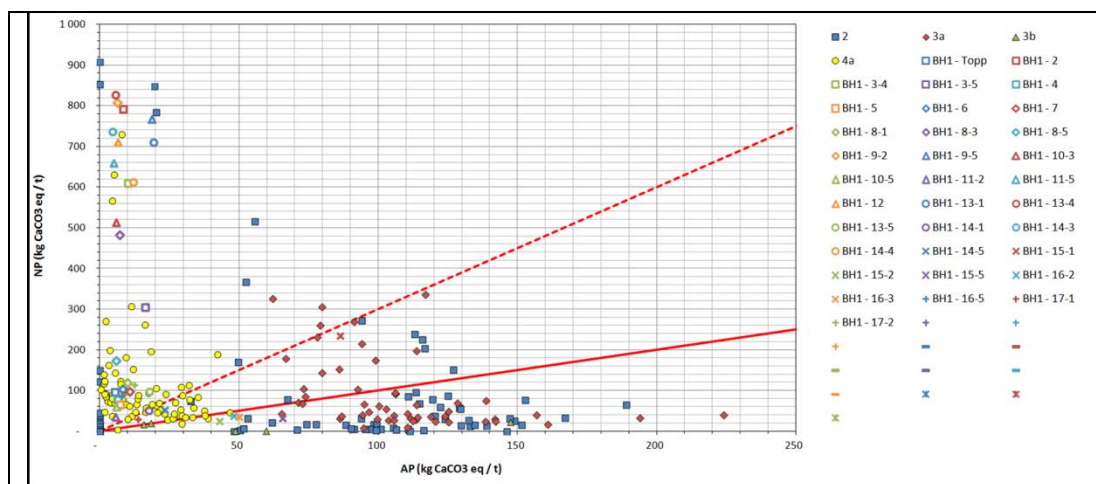
Diagrammene med akser NP og AP viser de ulike skifrenes syredannende potensiale. Det er to linjer i diagrammene, en heltrukken linje og en stiplet linje. Den heltrukne linjen viser NP:AP som 1:1, den stiplede linjen viser NP:AP som 3:1.

Analyser som plasseres under heltrukken linje i diagrammet vil produsere syre ved forvitring, analyser over heltrukken linje men under stiplet linje er i "usikkerhetssonen" mens analyser plasser over stiplet linje er sikre analyser som ikke vil få et akselerert forvitningsforløp. Metoden kalles en statisk test og gir ikke en eksakt dokumentasjon. Den empiriske siden ved slike vurderinger er derfor viktig som supplement.

NGI sine erfaringer med særlig Alunskiferformasjonen og Galgebergformasjonen er at skiferen i Alunskiferformasjonen i flere (de fleste) plasser har et forvitningsforløp der pH kan være svært lav (<3). Dette er dokumentert ved vannkjemiske analyser og hvilke mineraler som dannes ved forvitringen. Galgebergformasjonen har et annet sprekke mønster og overflatearealet er derfor betydelig lavere. Forvitring i Galgebergformasjonen gir i hovedsak jernhydroksider på sprekkeflater (pH > 4) figur 34, 35, 36, mens i Alunskiferformasjonen er det i hovedsak sulfater (pH < 3) figur 2.

4.1.2 Bariuminnhold

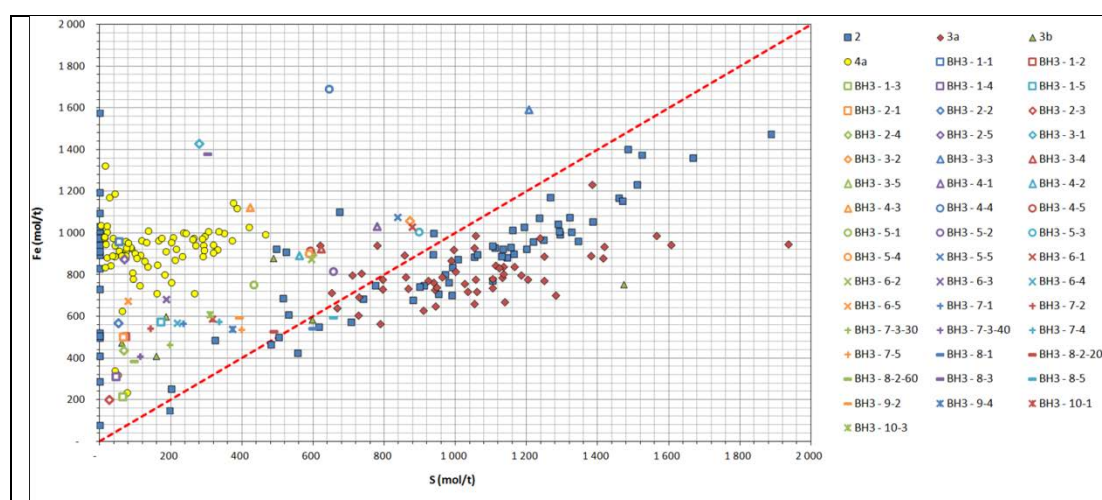
Barium kan dannes mineralet Barytt ($BaSO_4$). Barium kan også gå inn i andre mineraler. I enkelte prøver med høye svovelverdier og høye bariumverdier kan disse sammenliknes med Fe-S diagrammet. Det er kjent at barium kan danne formasjoner som kalles "ørkenroser" (desert roses). Barium kan også bindes i såkalte silikatmineraler (mest glimmer mineraler).



Figur 28: Analyse som viser syredannende potensiale for ulike skiferbergarter i kambro-silur lagrekken. Analysen gir en vurdering av hvor mye $CaCO_3$ som må tilsettes for å nøytralisere syredannelsen. Rød heltrukken linje viser NP:AP som 1:1. Stiplet linje viser NP:AP som 3:1.

4.1.3 Fe-S diagram

Generelt gjelder at tungmetaller som regnes som forurensende gjerne følger jern (Fe) i kjemiske forbindelser (som mineraler er). Går et sulfid i oppløsning og det dannes sulfat, regner en at tungmetallene går i vannfasen. Sitter jern (Fe) bundet i andre mineraler som i slike skifre gjerne er flakmineraler (sjiktsilikater) som kloritt og noe biotitt, vil ikke jern (og tungmetaller) bundet i disse sjiktsilikatene frigjøres når sulfidet oksideres til sulfat i særlig grad før pH verdien går under pH 3.



Figur 29: Fe i forhold til Svovel. Rød stiptet linje viser Fe:S 1:1. Merk at i alunskiferformasjonen lenger sør er $Fe < S$. I kjernene fra Gran er $Fe > S$.

De syredannende egenskaper er viktige av den grunn at pH regulerer forvittringshastigheten og hvor raskt blant annet tungmetaller frigjøres fra slike skifre. Som eksempel kan nevnes Elnes formasjonen som vanligvis inneholder ca. 350 mg krom/kg. Sammenliknet med skifre fra Alunskifer og Tøyen formasjonene er krom innholdet i disse ca. 100 mg/kg. Elnesformasjonen har således høyere konsentrasjoner av krom, men krom i alunskifer vil frigjøres langt raskere som følge av akselerert forvitring.

For å få en akselerert utlekking av tungmetaller må pH bli lavere enn 3. Dette skyldes at ved slike lave pH verdier blir treverdige jern (Fe^{3+}) den viktigste katalysatoren på forvittrings – oksidasjonsprosessen som omdanner sulfider til sulfater. Ved slike lave pH verdier vil også de andre mineralene i skiferen løses og dermed frigjøre jern og tungmetaller til vannfasen. Ved slike lave verdier vil det også frigjøres betydelige mengder aluminium (Al^{3+}) som er giftig for en rekke organismer.

4.1.4 Potensiale for forurensning

Potensiale for forurensning beskriver således i forhold til et syredannende potensiale og vurderer hvilke konsentrasjoner av et grunnstoff som frigjøres og

hvor raskt frigjøringen skjer fra skiferlagene ved forvitringen. En tar utgangspunkt i de konsentrasjoner de ulike skiferhorisonter (stratigrafiske ledd) inneholder og gjør en vurdering av hvor raskt (konsentrasjon /tidsenhet) tungmetaller, uran og aluminium frigjøres til omgivelsene.

I beskrivelsen av de ulike skifre er lamineringen i svartskiferen i Alunskiferformasjonen avgjørende for at denne lettest vil utvikle et syredannende miljø ved forvitring. Det er nærliggende å sammenlikne med Galgebergledet i Tøyen formasjonen. Mens en ofte observerer gule forvitningsfarger på alunskifer, er det mer vanlig å observere rustfarger på forvitningsflater i Tøyenskiferen. Gule farger indikerer sulfater som er lettløselige mens rustfarger indikerer hydroksider som ikke er like lettløselige. Dermed får en også indikasjoner på forurensningspotensiale og kriterier for funksjonskrav til deponier.

4.1.5 Skifertyper og mekaniske egenskaper og mineraler

Mekaniske egenskaper bestemmes av skifrenes mineraler og her også innhold av TOC (organisk kull materiale) samt innholdet av myke mineraler som glimmer og hvordan disse er orientert.

Bergmekaniske egenskaper styres i Galgeberg (3b β) svartskiferhorisonten av oppsprekkingsmønster som er ulikt det en finner i alunskiferformasjonen. Mer et sukkerbitmønster enn laminering og gjennomsettende slickensides

5 Tolkninger

Det er et generelt trekk ved analysene at Fe i forhold til S (Fe>S) er høyere i analysene fra Gran enn de er i Alunskiferformasjonen ved Oslo/Slemmestad. Det betyr at en del av tungmetallene også sitter bundet i andre mineraler enn i sulfidene og særlig i glimmer mineraler. Konsentrasjonen av tungmetaller er også lavere. En vil da forvente at forurensningspotensialet er lavere for skiferhorisontene ved Gran enn for tilsvarende horisonter lenger sør (Oslo/Slemmestad).

I diagrammene blir dette synlig ved at analysene plasseres mer mot venstre i NP:AP diagrammene. Typiske verdier for Gran er ca. 50 – 60 kg CaCO₃, mens for Alunskiferformasjonen lenger sør (Oslo/Slemmestad/Hokksund er typiske verdier 100 – 150 kg CaCO₃ (figur 28).

Det som kunne være Alunskiferformasjonen i nedre del av BH2 og BH3 rent stratigrafisk, har lave verdier for typiske Alunskifer anrikninger som vanadium, uran og svovel og de fleste tungmetallene. Det samme gjelder analysene i BH4 selv om disse analysene er nærmere ”klassisk” alunskifersammensetning.

Dette kan tolkes som ”uttynning” som følge av skjærdeformasjon og innblanding av andre skiferhorisonter. Det kan også tolkes ut fra avsetningsmiljø; at fortykning

skyldes at kildematerialet som nå utgjør skiferen har et større tilslag av erosjonsmaterialet fra landformer (arealer over havoverflaten, (elve- og vind tilført materiale fra landområder utgjør en høyere andel i sedimentet).

I havdyp med anoksiske (oksygenfattige) forhold har det stor betydning hvor overgangen mellom oksygenrikt og oksygenfattig miljø er i forhold til sedimentet på havbunnen. Den kan ligge over, på eller nede i selve sedimentet. Når denne overgangen ligger i vannmassene over sedimentet oppstår de mest anoksiske betingelser.

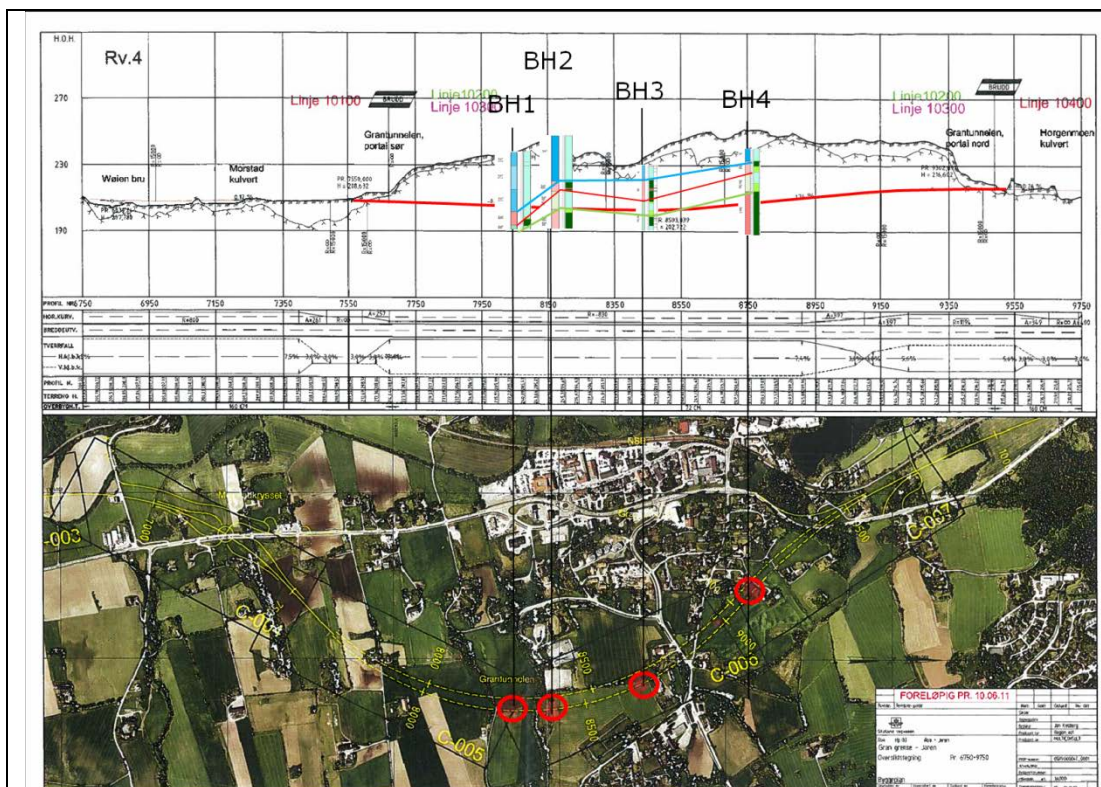
Slike laterale forskjeller kan skyldes at sedimentasjonsbassenget der disse slamsedimentene ble avsatt hadde varierende dyp og varierende avstand fra strandlinjen. Trenden kan synes å være at sedimentasjonsbassenget var grunnere ved Hadeland enn lenger sør.

6 Mengder i tunneltraséen

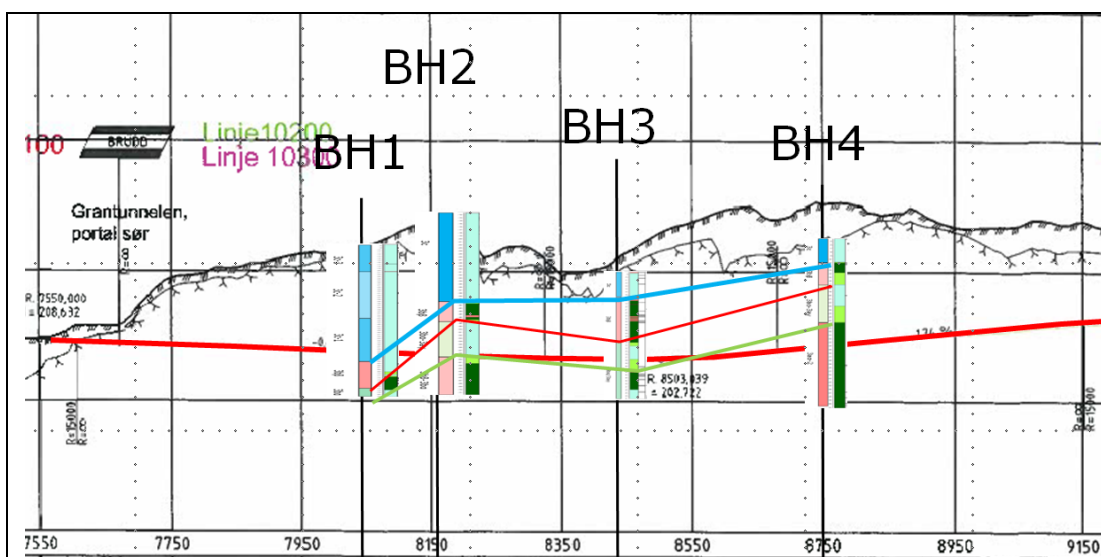
Det er knyttet usikkerhet til en kvantitativ vurdering. I BH3 og BH4 har lagene en svak helning ca 10 – 20 grader med kjerneretningen. Kjernene er ikke orientert, og fallet ga gå i flere retninger. BH1 og BH2 er satt med 45° helning. Mektigheten som fremkommer langs kjerneretningen vil da være påvirket av at kjerneretningen danner en vinkel med skiferlagene slik at mektigheten av de ulike lag blir større.

I figur 29 til 32 er vist hvordan de ulike skiferhorisonter kan forholde seg til hverandre i traséen. Figuren antyder at traséen vil gå i leirskifer fra Elnes formasjonen og kalkstein og kalkskifer fra Hukformasjonen fra pel 7550 (påhugg) til omtrent pel 8250. Mellom BH1 og BH2 vil tunneltraséen krysse svartskiferen i Galgebergledet. Mellom BH2 og BH3 antyder flattliggende lag i kjernematerialet at traséen følger 3b. Her kan det være innslag både av 3b α og 3b β . De fleste horisonter kan være vanskeligere å skille på utseende på stoff med mørke våte flater. Her vil den håndholdte XRF apparatet gi god nytte.

Det er også viktig å måle inn fallet på skifriheten under driving for å kontrollere om en beveger seg opp eller ned i stratigrafien.

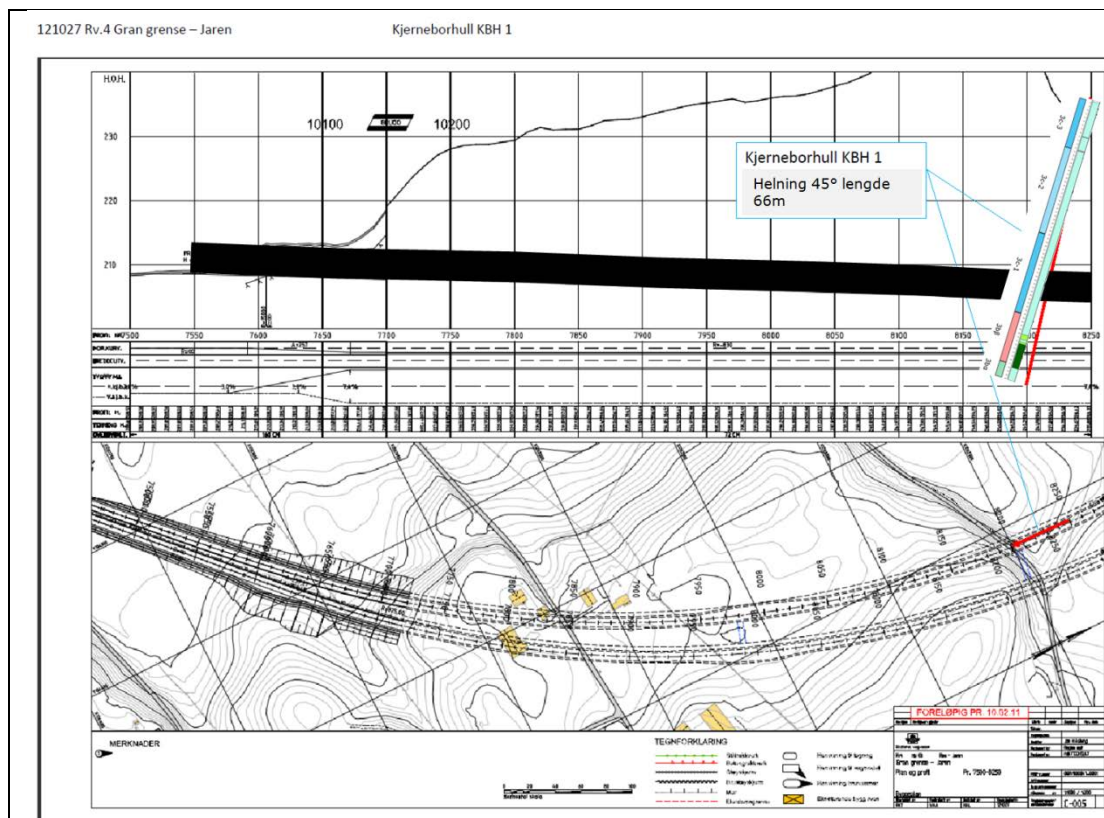


Figur 29: De fire borekjerne projisert inn i tverrprofilen. BH1 og BH2 er boret med en vinkel til loddlinjen mens BH3 og BH4 er loddrette. Dette er ikke tatt hensyn til i denne figuren.



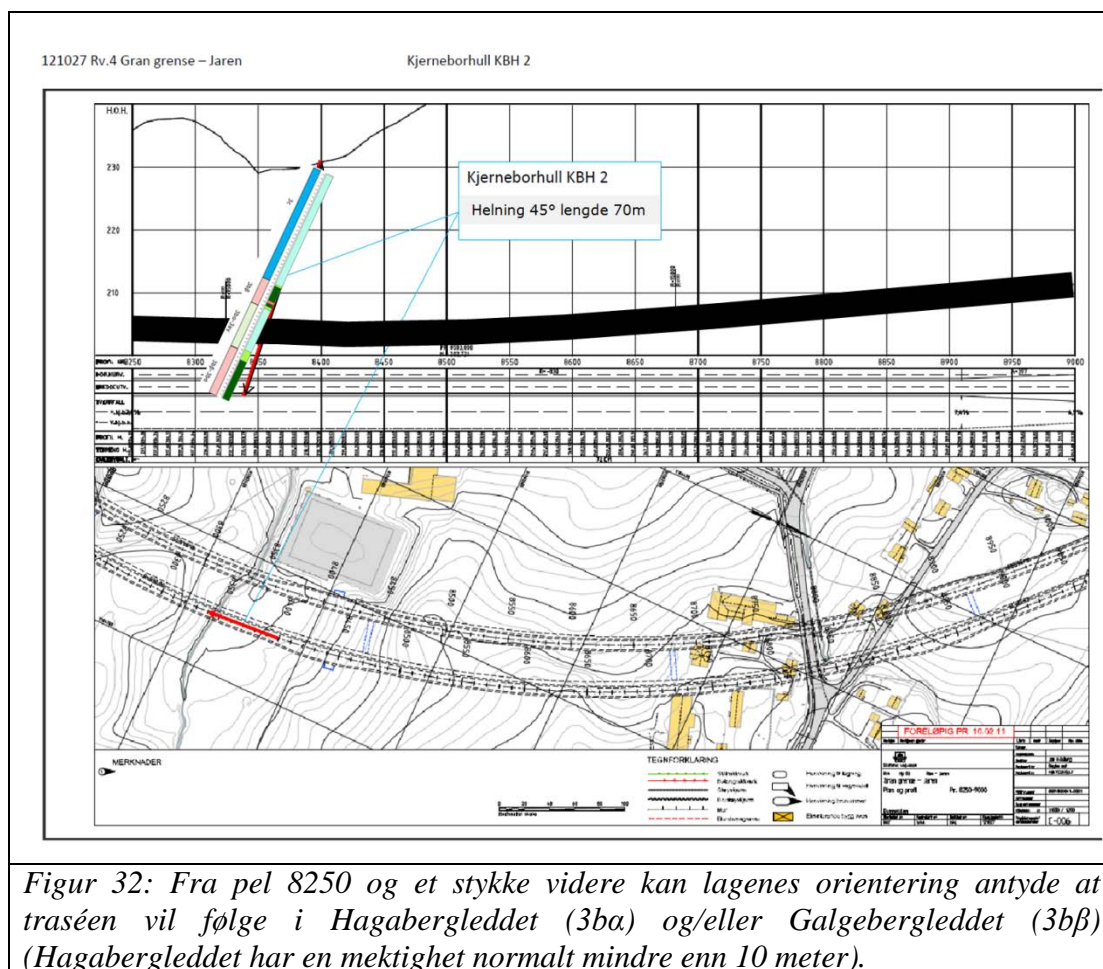
Figur 30. Identifiserte skiferhorisonter i BH1 til BH4. Blå linje er bunn 3c huk fm kalkstein og kalkskifer. Rød linje er bunn Galgebergledet. Grønn linje er bunn Hagabergledet. Alunskifer fm er identifisert i nedre del av BH4. Figuren antyder at de ulike lag har kun en liten helning. Mellom BH1 og BH2 er det høydesprang som kan antyde større fall på lagene. Mellom BH1 og BH 2 antyder profilet at traséen her vil krysse svartskiferen fra Galgebergledet.

Figur 28 viser et mer detaljert bilde der retolket stratigrafi for BH1 er lagt inn



Figur 31: Om borehullsprofilen er plassert riktig, vil traséen i hovedsak gå leirskifer fra Elnes i kalkstein og –skifer fra og Hukformasjonen fra pel 7500 til forbi 8250. Det vil være enkelt å fastslå dette ved å analysere på borekaks-/slam under driving.

Figur 32 viser et mer detaljert profil der identifiserte skifer for BH2 er lagt inn. Om tolkningen er riktig vil traséen her krysse Hagabergleddet (3ba).



7 Konklusjon

Tolkning av borekjerner og analyser av de ulike skifre som forekommer i borekjernene viser at hovedmengden av skifre i de fire borekjerner er fra Tøyen formasjonen (3b α , 3b β) og Huk formasjonen (3c). Toppen av det som stratigrafisk skal være Alunskifer formasjonen er representert i BH4. Sammenstilling av analyser fra de fire borekjerner med analyser NGI har utført fra andre lokaliteter Oslo/Slemmestad og Hamar viser at leirskifer og kalkrike skifre i de fire borekjerner kan knyttes til Hukformasjonen (3c) og ikke til Elnesformasjonen (4a). Det kan forventes at traséen vil krysse Elnesformasjonens leirskifre (høyt kloritt/glimmerinnhold) fra påhugg (pel 7550).

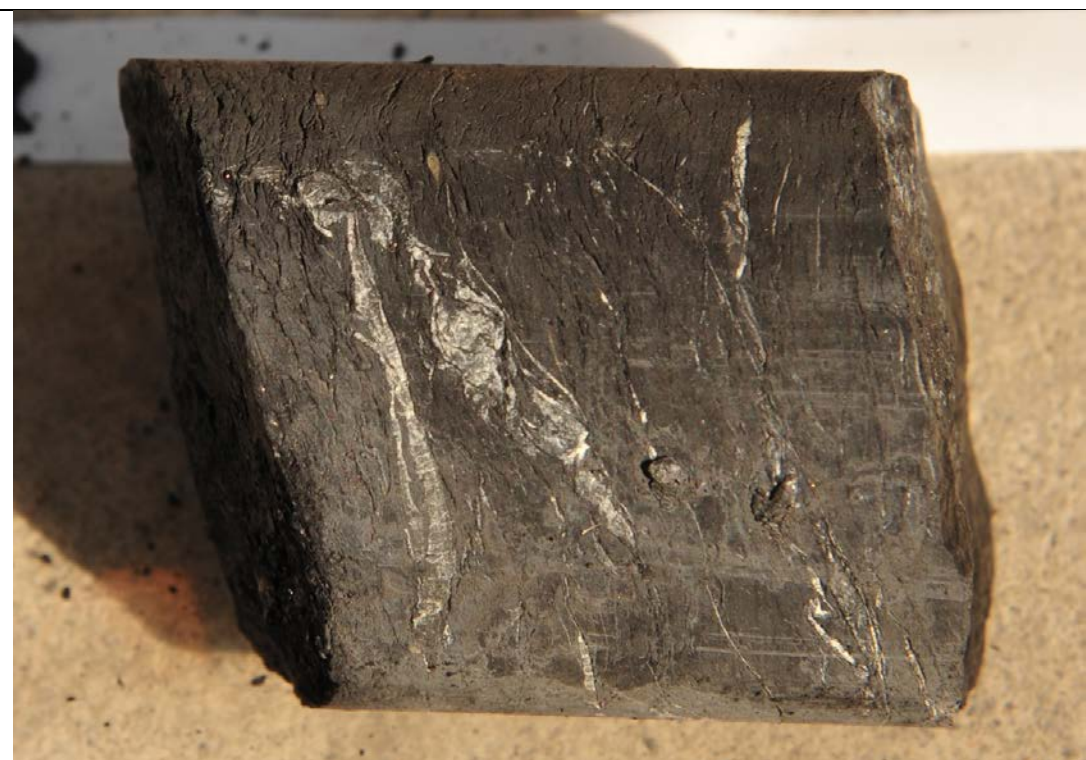
Sammenstilling fra andre områder (Oslo, Slemmestad, Høkkusund) viser at svovel (sulfidinnholdet) er lavere i analysene ved Gran enn de er lenger sør. Dette gjelder særlig analysene fra Alunskiferformasjonen.

Analyser fra Gran VGS utført tidligere plasserer skiferen ved Gran VGS i etasje 4a (Elnes). Analyse fra Trinton skole indikerer alunskiferformasjonen (lav pH<3) i tilsendt prøvemateriale).

8 Forhold av betydning for tunnel

8.1 RQD-verdier

Skiferbergarter tunneltraséen vil krysse kunne gi dårlig stabilitet på grunn av lagdelingen slike skiferbergarter har. Der slike skiferbergarter har vært utsatt for mekaniske påkjenninger vil det utvikles sprekkesett i tillegg til den typiske lagdelingen. I tillegg vil karakteristiske undulerende glidespeil kunne utvikles.



Figur 33: Eksempel på tett lagdeling i alunskiferen. Lagene er typisk undulerende med ruhetsall J_r i området 0,5 – 2,5. Ved sprekkeregistrering må en vurdere om slike tett oppsprukne skifre skal vurderes spesielt ift Q metoden.

De fleste skiferbergarter vil være lettsprengte. Siden de har en definert lagdeling kan konturen påvirkes. En bør være forberedt på at tunnelhengen kan bli flat (liten innspenning) der lagdelingen har en liten fallvinkel. En må være forberedt på å måtte drive med kortere salvelengder i slike skiferbergarter.

8.1.1 Tøyen formasjonen (Galgeberg leddet – svartskifer)

NGI har erfaringer fra flere byggeprosjekt i Oslo. Denne skiferhorisonten har et annet oppsprekkingsmønster enn Alunskiferformasjonens svartskifer.



Foto 34: Overgang mellom Galgebergledet (svartskifer) til høyre og Huk fm (lysere grå til venstre). Skjæringen ble vurdert å være så ustabil at det ble etablert forbud mot å bevege seg nærmere enn to meter fra skjæringskanten over og under skjæringen.

Figur 34 viser blokkstørrelser ved uttak av masser. Ser en i mer detalj på skiferen, fremkommer tett med sprekkesett som ofte danner et sukkerbitmønster (figur 35, 36).

En må forvente dårlig stabilitet i partier med denne svartskiferen. Dette kan innebære kortere salvelengder under tunneldriving i denne skiferen.



Figur 35: Galgebergledet i Tøyen fm, utsnitt av figur 34. Legg merke til oppsprekkingsmønster og farge på sprekkeflater. Snittet er fra ca 1 meter under skiferoverflaten (se figur 34 og 36).



Figur 36: Galgebergledet ved Sofienberg i Oslo. Tilsynelatende grov oppsprekking (rød pil), men her kom skiferen ut nesten av seg selv og kunne krafises med skuffe på gravemaskin (gul pil).

8.1.2 Alunskifer formasjonen

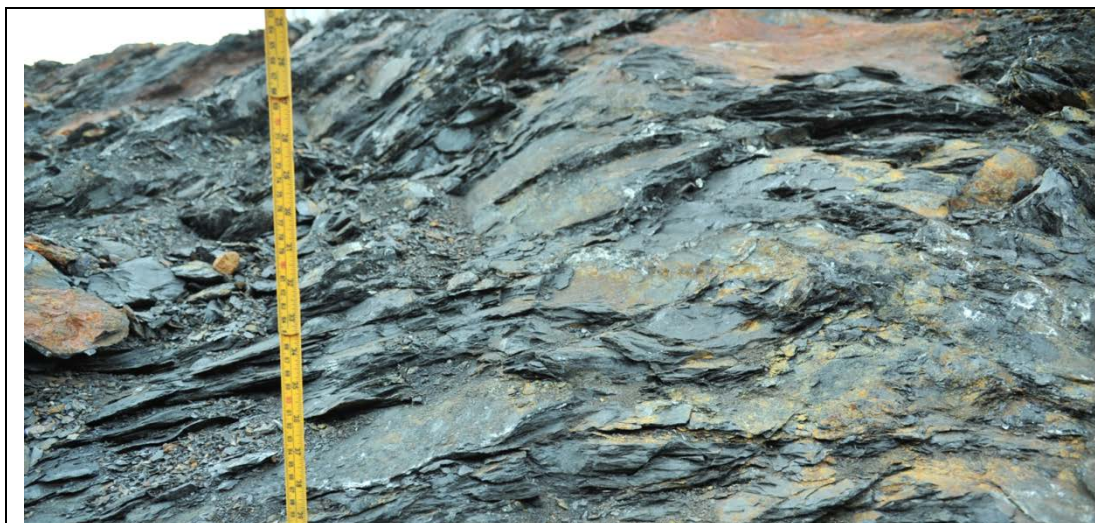
Svartskiferen fra Alunskiferformasjonen viser et annet oppsprekkingsmønster enn svartskiferen fra Galgebergledet. Dette skyldes sannsynligvis et høyere innhold av glimmerminerale og også muligens en mindre kornstørrelse. Denne svartskiferen har også et høyere innhold av TOC, organisk materiale (nå en kullvariant). I denne skiferen utvikles såkalte glidespeil (slickensides) når den utsettes for store påkjenninger.



Slickensides, Pilestredet i Oslo

Slickensides, Ekebergskrenten

Figur 37: Glidespeil i svartskifer fra Alunskiferformasjonen. Disse glidespeil kan få en nær glassaktig overflate, noe som indikerer svært lav friksjon på slike flater. Tetthet på slike glideplan er vist i figur 38. De er nødvendigvis ikke så synlige i borekjerner.



Figur 38: Deformasjonsplan i alunskifer. Legg merke til tettheten på disse bruddflater med liten friksjon.

8.2 Mekanisk nedbrytning av skifer i kombinasjon med fukt i drivefasen

- Det er sannsynlig at den mekaniske påkjenningen som anleggsarbeidet på fører skiferen kan gi problematiske forhold i tunnelen da skiferen blir finstoff som blir leirsuppe i kontakt med vann. Det vil derfor være nødvendig å tilføre sprengstein for å bygge opp den midlertidige anleggsveien i sålen. All alunskifer (i prinsippet all skifer) bør lastes ut av tunnel og anleggsvei bør bygges opp av steinmaterialer med tilstrekkelig mekanisk styrke.
- Det kan også være behov for hyppigere vask/spyling på grunn av det sorte klebrige støv som dannes.
- Før oppbygging av bærelag/overbygning. Under driving anbefales en forsegling av skiferen i sålen for å redusere forvitring som kan medføre svelletrykk og/eller økt sur avrenning til omgivelsene.

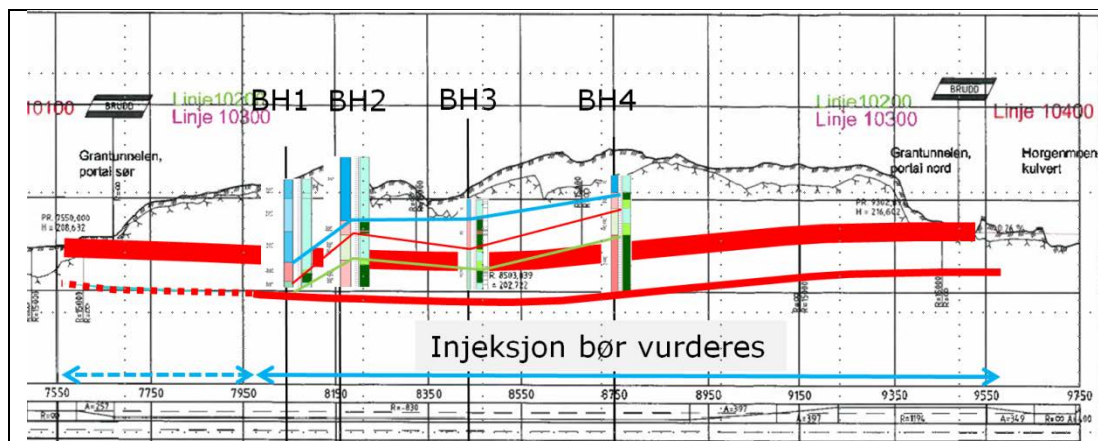
8.3 Drenert løsning i tunnel

Ofte kan en svartskifer som her særlig fra Tøyen og Alunskiferformasjonen virke tørr og tett ved driving. En skal her være oppmerksom på at tilsynelatende tett skifer over tid vil få et vannsig gjennom skifervolumet. Dette skyldes at ved uttak av massene fra tunnelen skapes en gradient som vil gi økt innlekkasje i tunnelen. Tilsvarende er vanlige observasjoner i byggegrop der det etableres vertikale skjæringsflater.



Figur 39: Avslutning for sprøytebetong. Er det etablert vannsig i alunskiferen, vil dette over tid følge kontakten mellom skifer og sprøytebetong.

Det er kjent at sprøytebetong kan få en forkortet levetid i slike sulfatrike miljø. Om det i tillegg utvikles et miljø der pH verdiene blir lave, kan levetid på sprøytebetong forkortes ytterligere. Dette er også dokumentert av arbeider utført av Statens vegvesen v/Hagelia og andre. Hydrauliske gradienter vil være drivende krefter for en mulig akselerert forvitring i sprøytebetongen (og i skiferen). Fortanningen/heften mellom skifer og sprøytebetong vil da avta over tid. Dette er også vist av i artikler av Hagelia og Morer



Figur 40: Injeksjon bør ut fra syredannende miljø vurderes fra ca 7950 til 9550. Dette for å unngå mulig surt og forurensende sigevann fra vann i kontakt med skiferen. Fra 7550 til 9550 kan også injeksjon være aktuelt særlig i den mekanisk relativt svake Elnesformasjonen. Grunnvannsenking bør unngås.



Figur 41: Lekkasje fra boltehull i sprøytebetonglag på alunskifer.

Det kan samtidig være en utfordring å injisere slike skifre med mange fine sprekker. I tillegg til injeksjonssementer (binghamske væsker) bør det vurderes å ta med injeksjonsmiddel uten partikler (newtonske væsker). Kolloid silika kan være et egnet injeksjonsmiddel som kan injiseres under sementinjeksjonsskjermen. En prosedyre her bør ta hensyn til at injisering i sprekker med liten åpning tar tid. En bør derfor ikke velge for rask herdetid i slike tilfeller for å sikre en god ”impregnering”.

8.4 Grunnvannspeil

Normalt skal en ikke påvirke grunnvannspeilet ved inngrep i naturen. Avvik her bør begrunnes i en konsekvensutredning/-analyse. Ut fra et hensyn til eksponering av skifervolumer for oksygen rik atmosfære, vil større volumer kunne forvitre der sulfidoksidasjon vil gi et potensiale til en kompliserende vannkjemi i tunnelen og i sigevann ut fra tunnelen.

8.5 Korrosivt miljø og levetid installasjoner

Oppstår situasjoner med innlekkasje i selve tunnelrommet når tunnel er satt under trafikk, vil det være et potensiale for redusert levetid på installasjoner på grunn av aggressivt og korroderende miljø.

8.6 Mulig problematisk vannkjemi ytre miljø

Vann i kontakt med syredannende skifre vil få en vannkjemi som reflekterer forvittringsforholdene i skiferen. Det er viktig å være klar over at sulfidoksidasjon

kan også skje utenfor deponiområdet fra Fe-rikt deponivann. Redoks prosesser kan foregå ved bakterier som katalysator ved normal pH. Det er således ikke nødvendig å måtte utvikle et surt forvitningsmiljø (pH < 3) for at det skal skje en akselerert utlekking av tungmetaller fra slike skifre. Dette vil være synlig ved at det dannes jernsulfater med grønnlig farge (Fe²⁺ sulfater)

En skal også være klar over at et slikt jern (Fe²⁺) og sulfatrikt vann med pH 6-7 kan bli svært surt (pH<3) når dette eksponeres for på oksygen.

8.7 Gjenbruk av tunnelmasser



Figur 42: Skiferen har lav styrke. Den tåler ikke friksjonskrefter. Når den er fragmentert (sprengstein) vil den forvitte til finstoff i kontakt med fuktighet. Ved mekanisk påkjenning som vist i bildet knuses skiferen ned til en leiraktig suppe. Dette kan bl.a registreres ved at det er som å gå på en "gummimatte" på utsprengte masser.

8.8 Identifisering av skiferhorisonter under driving og foran stuff

Arbeider foran stuff skal normalt avklare bergforhold av betydning for driving og da særlig stabilitet og innlekkasjer. Her vil det i tillegg til disse parametre være nødvendig å av identifisere type skifer en vil få i profilet i de kommende salver slik at en kan planlegge logistikken ved utlasting og plassering i riktig deponi eller mellomlager.

NGI har kalibrert et røntgeninstrument (Niton XRF) slik at en på stuff kan identifisere skifertyper i kaks som tas ut ved sonderboring/injeksjonsboring, kjerneboring, analyse fra "røysa". I tillegg vil andre parametre også være beskrevet slik at en underdriving kan forutsi skifter i skifertyper som tunnelen vil krysse. Tilpasning til et riktig nivå vil skje ved oppstart av tunneldrivingen. Orienteringen på lagener spesielt viktig å registrere.

NGI kan bidra til opplæring av mannskap på stuff i rutiner for identifisering av skifertyper.

9 Deponi

Fra prosjektet Hadeland videregående skole (H-VGS) erfarte NGI at morenematerialet ikke er leire med en mer en silt med fragmenter av skifer. I byggegrop etablert ved H-VGS ble det etablert vertikale skjæringsflater i morene og skifer (etasje 4a, Elnes). Etter kort tid ble den opprinnelig tørre morenen i de vertikale flatene ustabile pga gjennomfukting. Gjennomfuktet morenemateriale ble omrørt ved belastning.

Ved geotekniske grunnboringer kan dette kvabblaget oppfattes som hardt og tørt.



9.1 Grunnvannspeil

Erfaringene fra H-VGS er at det står et grunnvannspeil mindre enn 1 meter under terreng i den østlige (flate) del av eiendommen. Der terrenget steg (i den vestlige del av byggegrop), ble det tatt ut en skjæring der øvre 5-6 meter består av kvabb og de nedre 3-4 meter består av skifer (4a). Straks den vertikale skjæringsflaten ble etablert kom det vannsig gjennom skiferen ut i byggegrop. Etter en tid kom det vannsig også gjennom kvabb (morenelaget) som medførte omfattende stabiliserende tiltak. Vannsiget akselererte i kvabblaget. Vi målte også temperaturen i vannsiget i kvabben i den vertikale skjæringsflaten for å avklare om

dette var overflatevann eller grunnvann. Vanntemperaturen tilsa st dette var grunnvann som lå ca 1 meter under terrengoverflaten.

9.2 *Grunnvannssig/hydrauliske gradienter*

For design av deponiet vil det være avgjørende å avklare at det ikke er hydrauliske gradienter i lag under terrengoverflaten som kan sette i gang et vannsig drevet av trykkgradienter fra terrenget rundt. En kan da risikere en problemstilling tilsvarende vannsiget fra tunnel der et jern og sulfatrikt vann med pH ca 6-7 utvikles til et svært surt vannsig med $\text{pH} < 3$ eller rundt pH ca 4. En vil i siste tilfelle få de karakteristiske rustfargede utfellinger som er karakteristisk for vannsig fra Acid Rock Drainage (ARD) og Acid Mine Drainage (AMD).

Det bør dokumenteres at denne type to-trinns forvitring/- oksidasjon av sulfider ikke vil finne sted.

9.3 *Forvitrimekanismer i skiferen ved vannsig (hydrauliske gradienter) gjennom skiferen*

Egenskaper til skifervolumer over tid avhenger av de fysiske og de kjemiske forhold skiferen utsettes for (se også fig 26). I prinsippet kan en dele forvitring i slike potensielle syredannende skiferbergarter rike på sulfider i:

1. Forvitring under abiotiske forhold
2. Forvitring under biotiske forhold
3. Forvitring der Fe^{3+} er eller kan bli den drivende kraft i sulfidoksidasjonen

Det overordnede her må være å sikre at forvittringsforholdene i deponi i hovedsak er abiotiske.

10 Referanser

Brantley, et al., eds (2008): Kinetics of water rock interactions (Springer)

Hagelia, Per (2011): Deterioration mechanisms and durability of sprayed concrete for rock support in tunnels, PhD, Universitetet i Delft

Morer, Michael: (årstall ukjent) Detachment of shotcrete lining due to long term interaction with ground water

Owen et al (1990) The Ordovician successions of the Oslo region, Norway; NGU, Special publication 4

Lawrence, R.W., & Wang, Y. (1997). Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage. *In* Proceedings of the 4th Int. Conf. On Acid Rock Drainage. MEND, NRC, Ottawa, ON, 1, 451-464

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i tunneltrasé				Dokumentnr./Document No. 20120110 01-R	
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Fri/Unlimited		Dato/Date 22. februar 2013	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 1 / 26.04.2013	
Oppdragsgiver/Client Statens vegvesen, Oppland					
Emneord/Keywords Tunnel, svart skifer, karakterisering, stabilitet					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Gran				Feltnavn/Field name	
Sted/Location Gran				Sted/Location	
Kartblad/Map 1815-1 Gran				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	EEr	AAr		
1	Redigert kommentar utfyllende beskrivelse	EEr	AAr		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 26. april 2013		Sign. Prosjektleder/Project Manager Erik Endre	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA


BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989



NIVA

- et institutt i Miljøalliansen

Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep.
0033 OSLO

 Statens vegvesen	
Reg. dato:	12 DES 2005
Saksnr.:	2004/23712-10
Arkivnr.:	461

Deres referanse
Per Hagelia

Deres brev av

Vår referanse

Dato
08.12.2005

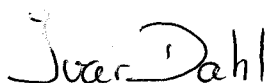
J.nr. 1629/05
S.nr. O 25011 04
Rekv.nr. 2005-2287

Analyse av vann/slamprøver

Vedlagt følger en analyserapport som gjengir resultatene for prøver mottatt ved NIVAs laboratorier. Dato for registrering av prøvene og laboratoriets rekvisisjonsnummer fremgår av rapporten. Rekvisisjonsnummeret benyttes ved henvendelse til laboratoriet.

Prøvene inneholdt store mengder mørt kaks og ble filtrert gjennom hvitbåndsfiler. Analysene ble foretatt på filtratene.

Med vennlig hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING



Ivar Dahl
Forsker
Direkte linje +47 22 18 52 88
E-Mail ivar.dahl@niva.no

Vedlegg 4
Geo-tenneltekn

65200

**Norsk institutt
for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo
Besøksadresse: Brekkeveien 19
Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00
Bankgiro: 5010 05 91828
SWIFT: DNBANOKK
Foretaksnr.: 855869942
www.niva.no
niva@niva.no

Norsk
 Institutt
 for
 Vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
 0411 Oslo
 Tel: 22 18 51 00
 Fax: 22 18 52 00

ANALYSE RAPPORT



Navn **Vegdirektoratet**
 Adresse **Postboks 8142 Dep.
 0033 OSLO**

Deres referanse:
 Per Hagelia

Vår referanse:
 Rekv.nr. 2005-2287
 O.nr. O 25011 04

Dato
 08.12.2005

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater::

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	8842 6,2 - 7,2 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
2	8681 5 - 6 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
3	8921 4,9 - 5,9 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
4	8951 2,3 - 3,5 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
5	9052 16 - 17 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
6	9052 13 - 14 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
7	9081 9,5 - 10,5 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5	6	7
			Surhetsgrad	A 1	8,21	8,13	8,16	8,23	8,00
Ledningsevne	mS/m	A 2	76,4	86,9	136	32,0	195	117	93,3
Alkalitet	mmol/l	C 1	2,244	1,669	1,608	1,690	1,531	1,474	1,706
Filtrering		X 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ammonium	µg/l	N C 4-3	<10	25	27	<5	1600	150	<5
Nitrat	µg/l	N C 4-3	1050		521	1050			
Nitrat og nitritt	µg/l	N D 3		5790			19	125	113
Karbon, organisk	mg/l	C G 4-2	3,0	2,0	3,4	2,6	1,4	2,7	2,2
Klorid	mg/l	C 4-3	11,9	5,47	4,18	6,77	3,8	10,8	7,2
Sulfat	mg/l	C 4-3	253	331	416	50,7	1090	538	387
Fluorid	µg/l	C 4-3	220	520		390	800	540	630
Aluminium	mg/l	E 9-5	0,826	0,239		0,191	0,037	1,03	
Arsen	mg/l	E 9-5	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	
Bor	mg/l	E 9-5	0,087	0,085		0,034	0,13	0,044	
Barium	mg/l	E 9-5	0,0979	0,0446		0,0968	0,028	0,208	
Beryllium	mg/l	E 9-5	<0,0002	<0,0002		<0,0002	<0,0002	<0,0002	
Kalsium	mg/l	E 9-5	94,1	118		41,8	302	158	
Kadmium	mg/l	E 9-5	<0,001	<0,001		<0,001	0,003	<0,001	
Kobolt	mg/l	E 9-5	0,003	<0,002		<0,002	0,012	0,007	
Krom	mg/l	E 9-5	<0,002	<0,002		<0,002	<0,002	<0,002	
Kobber	mg/l	E 9-5	0,023	<0,002		0,003	<0,002	0,0068	
Jern	mg/l	E 9-5	1,65	0,462		0,379	0,0588	0,588	

✓ : Analysen utført.

Kommentarer

1 På NH4-N er result. <10 pga usikkerhet v/ fortynning.

Denne analyserapporten får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

ANALYSE RAPPORT

Rekv.nr. 2005-2287

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	8842 6,2 - 7,2 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
2	8681 5 - 6 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
3	8921 4,9 - 5,9 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
4	8951 2,3 - 3,5 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
5	9052 16 - 17 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
6	9052 13 - 14 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30
7	9081 9,5 - 10,5 m		2005.11.09	2005.11.09-2005.11.30

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5	6	7
			Kalium	mg/l	E 9-5	34,2	26,1		6,0
Litium	mg/l	E 9-5	0,035	0,13		0,017	0,142	0,047	
Magnesium	mg/l	E 9-5	36,0	26,3		6,52	82,3	42,2	
Mangan	mg/l	E 9-5	0,149	0,0233		0,0139	0,457	0,317	
Molybden	mg/l	E 9-5	0,060	0,388		0,024	6,67	2,72	
Natrium	mg/l	E 9-5	13,7	8,77		6,41	27,4	9,83	
Nikkel	mg/l	E 9-5	0,015	0,006		<0,004	0,224	0,065	
Fosfor	mg/l	E 9-5	0,14	<0,04		<0,04	<0,04	0,05	
Bly	mg/l	E 9-5	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	
Svovel	mg/l	E 9-5	89,7	115		17,9	393	187	

Norsk institutt for vannforskning



 Ivar Dahl
Forsker



Til: Statens vegvesen
 v/: Jon Kvisberg, Anne Brit Moen
 Kopi til:
 Dato: 29. juni 2012
 Rev. nr./ Rev. dato: 1. oktoberer 2012
 Dokumentnr.: 20120110-02-TN
 Prosjekt: Tunnel Gran – Jaren svartskifer
 Utarbeidet av: Erik Endre
 Prosjektleder: Erik Endre
 Kontrollert av: Arnstein Aarset

Hovedkontor:
 Pb. 3930 Ullevål Stadion
 0806 Oslo

Avd Trondheim:
 Pb. 1230 Sluppen
 7462 Trondheim

T 22 02 30 00
 F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
 Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Vurdering radioaktivitet i tunnelmasser

Innhold

1	Sammendrag	2
2	Innledning.....	3
3	Stratigrafien i skifre fra Kambrium – Ordovicium.....	3
4	Radioaktivitet i skifre	4
5	Skiferlagrekken ved Gran-Jaren.....	5
6	Radioaktivitet i svartskifre i borekjerner fra Gran	7
6.1	BH4	7
6.2	BH3	8
6.3	BH2	9
6.4	BH1	10
7	Forurensningspotensiale for de ulike skiferhorisonter	10
8	Uraninnhold vurdert mot andre lokaliteter i Østlandsområdet	11
8.1	Avsetningsmiljø	11
8.2	Prøvetaking og størrelse på prøver	11
8.3	BH4	12
9	Oppsummering	12
10	Referanser	13
10.1	Inspector1000.....	14

Kontroll- og referanseside

1 Sammendrag

Det er Alunskiferformasjonen som har de høyeste konsentrasjoner av alle skiferhorisonter i den kambro-silurske lagrekken. Basert på tilgjengelig analysemateriale anses ikke skiferen i Alunskiferformasjonen her ved Gran å inneholde konsentrasjoner av uran som tilsier at skiferen skal klassifiseres som radioaktivt deponeringspliktig avfall. Tunneltraseen vil krysse de ulike skiferlagene med spiss vinkel. Det er den nordlige del av tunneltraseen som vil komme i kontakt med Alunskiferformasjonen.

Tunneltraseen går i flere ulike skiferhorisonter. Svartskifre i tunneltraseen er identifisert å være fra Alunskiferformasjonen og fra Tøyenformasjonen. I området ved Gran på Hadeland er hele skiferlagrekken kraftig påvirket av den geologiske hendelsen da den norske (kaledonske) fjellkjeden ble dannet og fra en senere periode (perm) da Oslofeltet ble dannet med intens vulkanisme og inntrenging av smeltebergarter.

Metode for prøvetaking påvirker i stor grad analyseresultater. Uran er ikke jevnt fordelt men i tillegg anrikt i spredte konkresjoner som vil gi høye analyseverdier. Urankonsentrasjoner i Alunskiferformasjonen ved Gran viser unntatt lokale peakverdier ca 50-60 mg/kg når prøvematerialet utgjør ca 10 centimeter lange borekjerneprøver. Dette samsvarer med verdier for Slemmestad der snittverdier er 40 – 50 mg/kg der prøvematerialet fra suksessiv prøvetaking utgjør borekaks fra en meter borelengde. Urankonsentrasjoner i Tøyenformasjonen er i snitt mellom 30-40 mg/kg. Måleresultater fra IFE konkluderer med at av fire innsendte prøver er én prøve å betrakte som radioaktivt deponeringspliktig avfall. Urankonsentrasjoner i denne prøven (BH4-7-4-50) fra borehull 4 er 97 mg uran/kg.

Kjernematerialet i de fire seriene BH1 til BH4 er scannet med et gammastråle instrument, Inspector 1000. De høyeste gammaverdier er målt i Alunskiferformasjonen i BH 4 kasse 7. Der de høyeste gammaverdier ble målt, ble det tatt ut prøve for analyse av naturlige radioaktivitet. Analysene ble utført ved IFE med referanse til FOR-2010-11-01, no. 1394. IFE karakteriserer prøve BH4-7-4-50 som radioaktivt avfall.

Analyseresultater fra IFE er korrelert med konsentrasjoner av uran i kjernematerialet og målte γ/s verdier på kjernematerialet. Prøven som havner i kategori radioaktivt deponeringspliktig avfall har et uran innhold på ca 100 mg/kg. Denne ene analysen er å betrakte som en "peak" verdi som ble spesielt søkt etter for å identifisere høyest mulig verdi for radioaktivitet. Denne verdien korreleres med gammaverdi på over 700 γ/s . Det er ikke registrert tilsvarende høye verdier ved scanning av kjernene.

Urankonsentrasjoner er ikke jevnt fordelt i skifer, men anrikt i konkresjoner og/eller senere dannede mineraldannelser i druser/hulrom (gjerne kalkrike) i skifermassen. Den aller høyeste verdien for uran i de kjemiske analysene er på 244

mg/kg. Dette er en konkresjon av karbonat med noe fosfat og tolkes å være en sekundær anrikning (dannet etter skiferen ble dannet).

Metode for prøvetaking har stor innflytelse på analyseresultater. Normal størrelse ved uttak av prøve var her ca 10 cm borekjerne. Analyse med et NITON håndholdt xrf apparat ga 1000 mg/kg på uranrike mineralkorn i en 5 centimeter lang kjerneprøve som her er analysert til 244 mg/kg. Prøvetaking utføres ofte med en borerigg, og en tar da ut prøve av borekaks for hver meter. Analyseresultater fra arbeid NGI har utført for OBOS i samme nivå i Alunskiferformasjonen i Slemmestad viser snittverdier på 42 mg/kg og ”peakverdier på ca 85 mg/kg i skifere med betydelig høyere innhold av organisk karbon og sulfider når prøvematerialet tas ut fra borekaks per meter boret lengde.

Som det fremgår av verdiene for γ/s målingene er disse i all hovedsak rundt ca 500 for deler av kjernelengden fra Alunskiferformasjonen og lavere/til dels mye lavere i de andre skiferhorisontene.

Gitt en sekulær likevekt vil skiferprøver som inneholder ca 100 mg uran/kg kunne karakteriseres som radioaktivt deponeringspliktig avfall.

2 Innledning

Statens vegvesen skal legge Rv 4 i tunnel rundt Gran sentrum. Tunneltraseen går i skiferbergarter dannet i den geologiske tidsepoken som spenner fra Kambrium til Ordovicium. Det er stor variasjon i denne lagpakken av skiferbergarter. Variasjonen er stor ut fra dannelsesmiljø, geokjemisk sammensetning og mektighet på de ulike lag. Det er av stor betydning for tunnelprosjektet å avklare og identifisere skifrenes egenskaper ut fra bergmekaniske egenskaper, stabilitetsforhold i tunnel, gjenbruk av overskuddsmasser og deponialternativer. NGI er engasjert av Statens vegvesen Prosjekt Vestoppland v/ Anne Brit Moen for en karakterisering av viktige egenskaper for skiferhorisonter tunneltraseen vil krysse. NGI har utviklet en metode som gjør det mulig ut fra geokjemiske kriterier å identifisere de ulike skiferhorisonter i Oslo regionens kambro-ordoviciske skifre. En slik karakterisering vil gjøre det mulig å identifisere de ulike skiferhorisonter under driving av tunnelen og sortere tunnelmassene som tas ut under driving til riktige deponi.

3 Stratigrafien i skifre fra Kambrium – Ordovicium

Skiferpakken som utgjør den sedimentære lagrekken Oslo-regionen består av svarte sulfidrike skifre, leirskifre og kalkrike skifre. I byggeprosjekt er det en utfordring av disse skifrene vil variere i tykkelse. Eksempelvis er alunskiferformasjonen ca 80 meter mektig i områder der den ikke er tektonisert (mekaniske påkjenninger fra senere geologiske hendelser), mens den har usikker tykkelse andre steder i Østlandsområdet. Det betyr da at en kan påtreffe flere skiferhorisonter (formasjoner) i et og samme prosjekt over korte avstander. Kartbildet av

bergoverflaten (det geologiske kartet) trenger da heller ikke stemme med den skiferen som påtreffes under terrengoverflaten.

Skiferlagrekken er delt inn i formasjoner. Formasjonene er igjen delt inn i ledd. Tidligere kartlegging av fossiler har gjort det mulig å identifisere de ulike formasjoner og leddene i de ulike formasjoner. Opprinnelig ble det opprettet en nummerering (formasjoner fra 1, 2, 3 og 4 er representert i Gran-Jaren kjernene), som ble igjen delt inn etter bokstaver (a, b, c,..) og igjen etter greske bokstaver α , β , γ , δ . Således er:

Alunskiferformasjonens svartskifer	2 t.o.m 3a β .	Svartskifer
Bjørkåsholmens kalk/skifer	3a γ	Kalkstein/kalkskifer
Tøyen formasjonen	3b	
Undre ledd Hagabergleddet	3b α	Grå skifer
Øvre ledd Galgebergleddet	3b β	Svartskifer
Huk formasjonen	3c	
Undre ledd	3c α	Kalk/leirskifer
Midtreledd (Lysakereleddet)	3c β	Kalk/leirskifer
Øvre ledd (Ortocerkalk)	3c γ	Kalkskifer
Elnes formasjonen	4a	Svartskifer (moderat)

Mektigheten for disse formasjonene og leddene varierer både ut fra opprinnelig avsetningsmiljø og på grunn av senere spenninger og forskyvninger i jordskorpen. Generelt vil formasjoner av svartskifer kunne være mektigere når de er avsatt midt i bassenger enn ved randsonen av bassenget mer (kystnære områder).

Hver formasjon og hvert ledd har ulike fysiske og geokjemiske egenskaper. Når en kan identifisere de ulike skiferformasjoner og ledd ut fra geokjemiske fingeravtrykk, vil dette ha stor betydning for byggeaktivitet, logistikk og dimensjonering av deponier. Det vil også være en objektiv metode for identifisering av de ulike skiferformasjoner og –ledd.

4 Radioaktivitet i skifre

Forhøyet nivå for radioaktivitet i svartskifre har årsak i avsetningsmiljøet for marine sedimenter som er opphavet til slike skifre. For å anrike uran i svartskifre må det være et oksigenfattig miljø ved dannelsen av sedimentet. Innhold av organisk karbon i slike sedimenter er avhengig av produksjon av organisk materiale i vannmassene og i hvilken grad slike rester av dødt organisk materiale oksideres før det når bunnen. For å kunne anrike uran (4+) i sedimentet må det være et oksigenfattig (anoksisk) miljø i sjøvannet der sedimentet dannes. Urankilden er sjøvann, og mekanismen skyldes en kjemisk gradient/ kjemisk potensiale på tvers av vann/sedimentkontakten; en fluks (diffusjon) fra sjøvann ned i porevannet i sedimentet. Porevannet i sedimentet tappes for uran som følge av uranutfellinger i sedimentet.

Ved oksiske forhold i sjøvann danner uran løselige uranyl-karbonat forbindelser. I anoksiske eller suboksiske forhold reduseres uran fra 6+ til 4+ og danner da stabile mineralforbindelser ved slike anoksiske forhold. Urananrikning i sedimenter har vært brukt som en indikator ”proksy” for oksigenkonsentrasjoner i bunnsedimenter. Autigene (da sedimentet ble dannet) urankonsentrasjoner er derfor høye når oksigeninnhold er lavt (spesielle anaerobe forhold) og/eller andel organisk materiale som synker ned i sedimentet er høyt; oksigenet blir brukt opp ved delvis oksidasjon av det organiske materialet.

Energien i vannmassene ved avsetning/dannelse av sedimenter kan ha betydning for urankonsentrasjonene en får i slike svartskifre. Den samme sedimenthorisont kan derfor vise laterale forskjeller (i samme lag) avhengig av de fysiske/kjemiske forhold i tiden da sedimentet ble dannet.

Utbredelsen av sedimentasjonsbassenget disse skifrene ble avsatt i er også beskrevet i geologisk litteratur. NGI har gjennom systematisering av geokjemiske analyser ved utførte prosjekter påvist kjemiske forskjeller som understøtter at de fysiske og kjemiske forhold i avsetningsmiljøet varierer for en og samme skiferhorisont (laterale forskjeller) når en sammenlikner skiferhorisonter fra Oslo-Asker området med Gran-Jaren området, Hamar og Valdres/Synnfjell området

Tiden det tar å bygge opp sedimenttykkelser av svartskifre påvirkes av flere forhold. Det kan ta tusener av år å bygge opp en centimeter lagtykkelse. Det vil reflekteres i variasjoner i millimeterskala i svartskifre.

Uran bidrar til at det dannes vakanser (gitterdefekter) i krystallstrukturen i mineraler på grunn av ionestørrelse og valens for uran. I svartskifre kan uran anrikes i kalkknoller (konkresjoner), fosfatforbindelser og i lag rike på rester av organisk materiale. Dannelse av type uranholdige mineraler vil påvirkes av det geokjemiske miljø og i tillegg tektonisk påvirkning. Tektonisk påvirkning kan også medføre at uran mobiliseres og kan anrikes i nye mineraldannelser gjerne som druser (hulrom) i bergartsvolumet.

5 Skiferlagrekken ved Gran-Jaren

Skiferlagrekken ved Gran-Jaren er kraftig påvirket av den geologiske hendelsen (dannelse av den kaledonske fjellkjede) som førte til dannelsen av fjellkjeden i Norge (Skandinavia) og av den geologiske perioden Perm med ny vulkansk aktivitet. Den sedimentære lagrekken danner ikke lenger horisontale lag, men ligger nå med helningsvinkler på ca 30 til 60 grader. Mektigheten på de ulike skiferformasjoner og -ledd ved Gran avviker fra andre kjente områder som f.eks i Oslo og i Røyken.

Oppsummert for skiferlagrekken ved Gran:

- Alunskiferformasjonen (Alun formasjonen 2-3aβ) er i randsonen av sedimentasjonsbassenget mindre mektig enn i de sentrale områder. I

randsonen av sedimentasjonsbassenget kan Alunskiferformasjonen være ti meter mektig eller enda tynnere. Ved Krekling (mellom Eiker og Kongsberg) er Alunskiferformasjonen ca 80 – 90 meter mektig. Med referanse til kartlegging utført av NGI prosjekter er mektigheten til Alunskiferformasjonen variabel. Tøyen formasjonen er godt representert i kjernematerialet, og en har her en god mulighet for å kunne identifisere overgangen fra Alunskiferformasjonen til Tøyenformasjonen. Huk formasjonen (3c) er i Oslo-Asker tredelt. Hukformasjonen i kjernematerialet for tunneltraseen er også tredelt. Til sammenlikning er øverste leddet (Ortocerkalken) i Hukformasjonen fraværende i Hamar regionen og i Valdres- og Synnfjellområdet, der den er erstattet av sedimenter med et høyere innhold av klastisk materiale (erosjonsmaterialer). Det er derfor mer nærliggende å sammenlikne skifrene på Gran-Jaren med lokaliteter lenger sør enn lokaliteter lenger nord og nordvest.

- Ser en på kvartsinnholdet i prøvematerialet fra Alunskiferformasjonen som er representert i kjernematerialet i borehull 4 (BH4) er kvartsinnholdet (SiO_2) noe høyere enn tilsvarende nivå i Slemmestad. Dette underbygger at svartskiferen fra Alunskiferformasjonen var nærmere en kystsone da sedimentet ble dannet. Dette er i praksis en uttynning sammenliknet med samme skiferformasjon i Oslo området. Svovelinholdet (S) er også betydelig lavere i Alunskiferformasjonen ved Gran sammenliknet med Oslo- og Slemmestadområdene. Det samme gjelder innhold av rester av organiske materialer (TOC). Litteraturen beskriver gjerne en sammenheng med uraninnhold og TOC og S.
- Innhold av uran i Alunskiferformasjonen er fra ca 40 til ca 220 mg/kg, med høyere konsentrasjoner i enkelte tynne lag og særlig i små knoller/konkresjoner. Innholdet av slike knoller i kjernematerialet er beskjedent. Hovedmengden av analyser av skifer fra Alunskiferformasjonen har ca 50-60 mg/kg uran. Tøyenformasjonen (Galgebergledet) har ca 40-50 mg/kg. Hukformasjonen har mindre enn 5 mg/kg mens Elnes formasjonen (analyser fra Hamarområdet ca 8-10 mg/kg).
- Målt innhold av uran er meget avhengig av størrelsen på prøvematerialet som analyseres. Måling på enkeltkorn kan gi konsentrasjoner opp mot 500 (1000) mg/kg og høyere. Utføres analysen på 200 gram prøve kan urankonsentrasjonen eksempelvis være 100 mg/kg. Dette har følgelig stor betydning i vurdering av radioaktivitet for et uttatt volum av slike skifre
- Det er vist i litteraturen at for tynne TOC rike lag i skiferen i Alunskiferformasjonen er konsentrasjoner av uran invers korrelert med lagtykkelsen. Dette kan forklares med at det i perioder var svært lav sedimentasjonsrate og/eller at sedimentlag rike på organisk materiale lar seg bedre komprimere under utvikling av sedimentene til skifre.

- Det må forventes høyere verdier i enkelte lag i svartskiferen fra Alunskiferformasjonen der urankonsentrasjonen vil være lokalt høyere og til dels mye høyere. Disse lag er det i praksis umulig å identifisere ved anleggsarbeider. Volumet av disse lagene er neglisjerbare i forhold til skifervolumer i byggeprosjekter.

6 Radioaktivitet i svartskifre i borekjerner fra Gran

For å fremskaffe et vurderingsgrunnlag for radioaktivitet i svartskiferhorisontene i tunneltraseen, ble kjernene scannet med et instrument av typen Inspector 1000. Instrumentet ble ført langs kjernene i en første "screening". Instrumentet gir da utslag når det føres mot uranrike/radioaktive deler i borekjernene. Prøver ble tatt ut der utslag (gamma/sekund) var høyest. Størrelse på uttak av prøvemateriale som ble sendt til IFE er ca 10 cm kjernelengde. For å korrelere med andre skifre ble det også tatt ut prøve av kalkrik skifer i tillegg.

Fire prøver ble sendt IFE (Institutt for energiteknikk) for måling av aktiviteter på naturlige nuklider. Resultatet er vist i figur tabell 1 og i brev fra IFE (vedlegg 1). I tabellen er målinger direkte på kjernematerialet også tatt med for å kunne korrelere målte verdier på kjernene med resultatene fra IFE. Det skal bemerkes at de målte verdier her kun er relative, da utslag ville være kraftigere ved måling på større flater. Målingene hadde til hensikt å identifisere toppene i utslag på radioaktivitet i kjernematerialet.

6.1 BH4

Borekjerne 4 går gjennom Alunskiferformasjonen og Tøyenformasjon. Ved ca 32 meter (overgang kasse 6 og kasse 7) begynner toppen av Alunskiferformasjonen (3aβ). Fra kasse 7 t.o.m kasse 11 representerer skiferen i kjernen Alunskiferformasjonen. De høyest registrerte gamma verdier er i kasse 7 sammenliknet med kjernemateriale fra de fire borehull.

BH4	Kasse	Kjerne rad og lengde	γ/s	μSv/h	IFE (Bq/kg)	U (mg/kg)
3bβ	2	4-20	260 – 320	0,09 – 0,12	367 +/- 27	Ca 35-40
3bα-3aγ	5	Hele kassen	300-350			
3bα-3aγ	6	Hele kassen	300-350			
3aβ-2c	7	1-50		0,15 – 0,19		
	7	3-80	Ca 720			110
	7	4-50	760 - 855	0,27 – 0,32	1000 +/- 60	97
	7	5-25		0,20 – 0,27		

	8	1-50		0,12 – 0,15	142 +/- 23	
	8	4-60	Ca300-350	0,11 – 0,13		
	8	5-50		0,11 – 0,15		
	8	5-90		0,10 – 0,13		
	10	1-20	640-720			
		2-50		0,15 – 0,20		
		3-50		0,17 – 0,20	507 +/- 27	
		4-40		0,20 – 0,25		
		4-70				244 (konkresjon)
		5-40	Ca 700	0,23 – 0,28		
		5-50	Ca 700	0,24 – 0,29		
		5-70	Ca 700	0,20 – 0,25		
	11	2-30	680-710			
	11	3-30	680-730	0,23 – 0,29		
	11	4-30	640			
	11	4-40		0,22 - 0,25		
	11	4-70	570			

Tabell 1: Kjerne fra BH4. Verdiene i kjernebatter 5 og 6 er lavere enn for kasse 7. Alunskiferformasjonen er representert fra kasse 7 og til kasse 11.

Resultat fra scanning (gamma/sekund) av kjerner med Inspector 1000 er vist i tabell 1, 2 og 3. Bakgrunnsverdier for dette instrumentet ble på plassen målt til mellom 0,27 og 0,32 $\mu\text{Sv/h}$. Berggrunn der kjernene er gamma-logget ved Bånkall (Gjelleråsen) er syenitt fra Permperioden, kassene med kjerne lå på betonggulv.

Det finnes omregningstabeller for uran konsentrasjoner og aktivitet på nettsider (<http://www.hps.org/publicinformation/ate/q6747.html>, <http://www.civildefensemuseum.com/southrad/conversion.html>)

2.97 ppm = 1pCu/g U-238

Om en antar sekulær likevekt kan en beregne teoretiske Radium konsentrasjoner i skiferen.

6.2 BH3

BH 3 er etter kjerneloggen opprinnelig tolket med to horisonter alunskifer (18 – 32 meter og 42 - 48 meter). Disse er ved gjennomgang med geokjemisk karakterisering av kjernene retolket til å kunne representere Tøyen formasjonen 3b. **De kjemiske analysene bekrefter at dette ikke er ”klassisk” alunskifer men mer sannsynlig fra etasje 3b (Hagaberg- og Galgebergledene i Tøyenformasjonen).**

Kjernen er også scannet med gammateller (Inspector 1000). Høyeste verdier er kasse 5 (25,8 meter til 30,5 meter). Skifrene i kjernen er kraftig skjærdeformert. Det

kan derfor ikke utelukkes at de to svartskiferhorisontene er samme enhet (Tøyen, 3b). I tillegg er den nedre svartskiferhorisonten (3a α , Hagabergleddet) iblandet lysere grå lag noen i cm skala. Dette reflekteres også i lavere utslag med gamma verdiene i registreringene (uranrike kalkknoller har et annet utseende).

BH3	Kasse	Kjernelengde	γ/s		
3b α (+ mer)	10	1-40	300 – 330		
	9	5-50	310 – 340		
	9	4-30	340 – 370		
	9	2-40	300 – 330		
	8	5-40	280 – 300		
	8	1-50	280 – 300		
	7	1-30	260 – 290		
	6	5-50	270 – 300		
	6	4-40	300 – 330		
	6	3-10	300 – 330		
	6	2-50	370 – 390		
	6	1-20	380 – 420		
	5	5-0 til 5-100	380 – 450		
	5	4-50	400 – 420		
	5	3-30	390 – 440		
	5	2-40	270 - 290	Menaitt	
	4	5-80	270 – 300		
	4	4-20	270 – 290	Menaitt	
	4	1-60	350 – 370		
	4	1-30	350 – 370		
	3	4-50	380 – 410		
3b β	3	3-60	350 – 400		
3c	2	3-50	220 – 250		
Bakgrunn			200 - 240		

Tabell 2: Kjerne fra BH3 var opprinnelig tolket å være fra Alunskiferformasjon. Vurderinger og kjemiske analyser viser at Alunskiferformasjonen ikke er representert i BH3. Dette støttes også i de målte γ verdier.

6.3 BH2

BH2	Kasse	Kjernelengde	γ/s		
3b α	17	1-50	Ca 270		
3b β	16	5-70	270 - 300		
	16	4-30	280 - 330		
	16	3-60	300 - 340		
	16	2-50	340 - 380		

	16	1-50	350 – 400		
	16	1-80	350 – 400		
	16	2-30	300 – 360		
	15	5-20	350 – 420		
	15	5-60	Ca 400		
	15	4-70	Ca 380		
	15	3-50	350 – 400		
	15	1-80	300 – 420		
	15	1-20	280 – 320		
3c 14-4-50	14	5-20	240 – 280		
	14	1-70	250 – 270		
	14	1-60	210 – 240		
	14	1-20	230 – 270		
	13	Hele kassen	200 – 270		
	9	Hele kassen	170 – 260		
	Bakgrunn		180 - 200		

Tabell 3. Kjerne fra BH2. Svartskiferhorisonter i kjernematerialet tilhører Tøyenformasjonen.

6.4 BH1

Borekjernen fra BH 1 begynner i 4a (Elnes), fortsetter i 3c (Huk) og avsluttes i 3b (Hagabergleddet, 3b α i Tøyen fm). Denne borekjernen inneholder ikke de mest uranførende skiferlagene. Det er kun Galgebergleddet (3b β) i Tøyenformasjonen som er uranførende.

7 Forurensningspotensiale for de ulike skiferhorisonter

Tunnelmasser fra Gran-Jaren tunnelen går i hovedsak i skifre med moderate konsentrasjoner av uran. Det er skifer fra Alunskiferformasjonen i den nordlige del av tunnelen som vil kreve størst fokus både for syredannende potensiale og radioaktivitet. Skifer fra Galgebergleddet i Tøyenformasjonen må også vurderes.

Formasjon	Etasje	Syredannende egenskaper	Uran	Aktivitet radioaktivitet	Radon Byggegrunn Sprekker i berggrunn må vurderes i tillegg
Elnes	4a	Normalt ikke			Må vurderes
Huk Øvre ledd (Ortocerkalk)	3c γ	kalk			Normalt ikke
Huk Lysakereleddet	3c β	kalk			Normalt ikke
Huk		kalk			Normalt ikke

Undre ledd	3ca				
Tøyen Galgebergledet	3bβ	Syredannende egenskaper må vurderes	40-50 mg/kg		Må vurderes
Tøyen Hagabergledet	3ba	Normalt ikke			Normalt ikke
Bjørkåsholmen kalk/skifer	3ay	Normalt ikke			Normalt ikke, nærhet alunskifer må vurderes
Alunskiferformasjons svartskifre	3aβ, 3aα, 2e→2a	Ansett som syredannende	50-60 mg/kg med små lokale høye konsen- trasjoner		Må vurderes

Tabell 4: Radonproblemstilling og syredannende potensiale i skiferlagrekken.

8 Uraninnhold vurdert mot andre lokaliteter i Østlandsområdet

8.1 Avsetningsmiljø

Analyser av kjernematerialet viser at svartskiferlagene dels er fra Tøyenformasjon og dels fra Alunskiferformasjonen. Kjemiske analyser understøtter visuelle tolkninger av kjernematerialet. Alunskiferformasjonen er ved Gran rikere på SiO₂, og har lavere innhold av både svovel (S) og organisk karbon (TOC) enn de samme skiferlag ved Slemmestad. Dette indikerer at i Alunskiferformasjonens sedimenter har skjedd en viss "fortynning" i bunnsedimentet med innslag av forvittringsmateriale fra terrenget over havnivå i sedimentet.

8.2 Prøvetaking og størrelse på prøver

Volumet på prøver utgjør materialet som sendes til analyse for radioaktivitet påvirker analyseresultatet. Her var det en bevissthet i å ta ut prøver som kunne vise de høyeste konsentrasjoner i kjernematerialet (worst case). Ved prøvetaking er det tatt ut ca 10 cm lange stykker fra kjernemateriale. Tidligere har NGI gjort analyser med et håndholdt XRF apparat av typen NITON xlt på det samme materialet. Vi analyserte da med dette apparatet en konkresjon som vi også har analysert kjemisk. Størrelsen på målearealet til NITON apparatet er en ca 8 millimeter stor sirkel. Her fikk vi (ukalibrert!) 1000 mg/kg og analyserte da på et mineralkorn/aggregat med høyt innhold av uran. Analyse BH4-10-4-70 er fra samme sted i kjernen vi målte 1000 mg/kg med NITON apparatet. Den kjemiske analysen viser et uraninnhold på 244 mg/kg. Denne prøven er ca 5 cm lengde. I hver kjernekasse er det ca 5 meter kjerne.

I et annet prosjekt (Slemmestad) tok vi prøver av borekaks for geokjemisk analyse. Her tok vi prøver for hver boremeter. Det var her ventet at skiferen her i etasje 2e-

3a α -3a β ville ha høye uranverdier siden dette er toppen av Alunskiferformasjonen. Av 53 analyser har én analyse høyere uraninnhold enn 100 mg/kg (117 mg/kg). Snittet er på ca 45 mens 8 analyser har uraninnhold mellom 75 og 85 mg/kg. Svartskiferen fra Alunskiferformasjonen i Slemmestad har ca dobbelt så høye konsentrasjoner av TOC og S sammenliknet med analysene fra Alunskiferformasjonen fra Gran.

Analyser NGI har utført fra Alunskiferformasjonen i Synnfjellområdet, Nordre Land kommune viser enda lavere TOC og S og U innhold, noe som kan ha sammenheng med at vi her er enda nærmere randsonen til sedimentasjonsbassenget der Alunskiferformasjonen ble avsatt.

De ulike prøvetakings/analysemetoder viser at uttak av prøver og volumet på prøvematerialet som tas ut har stor innflytelse på analyseresultatet. Generelt vil mindre prøver vise større sprik i analyseresultatene.

8.3 BH4

Borehullsprøvene (BH4) er det eneste av de fire borehull som er boret ned i toppen av Alunskiferformasjonen. Det er i analysematerialet likehetstrekk med analyser NGI har utført for OBOS i Slemmestad.

Lenger ned i lagrekken kan det være mer uranrike lag. NGI har analyser fra Øvre Slotts gate i Oslo der flere analyser viser mer enn 100 mg uran/kg. Det er ikke kjent hvor store disse prøvene var og om de er representative for et større volum av Alunskiferformasjonen på denne lokaliteten. Dette nivået i lagrekken er ikke representert i borehullskjernene fra Gran. Analyser fra Alunskiferformasjonen fra Stablum ved Krekling viser et snitt på ca 100 mg uran/kg.

9 Oppsummering

Kjernematerialet i de fire seriene BH1 til BH4 er scannet med et gammastråle instrument, Inspector 1000. De høyeste gammaverdier er målt i BH 4 kasse 7. Der de høyeste gammaverdien ble målt, ble det tatt ut prøve for analyse av naturlige radioaktivitet. Analysene ble utført ved IFE med referanse til FOR-2010-11-01, no. 1394. Prøve BH4-7-4-50 karakteriserer IFE som radioaktivt deponeringspliktig avfall.

Analyseresultater fra IFE er korrelert med konsentrasjoner av uran i kjernematerialet og med måling av γ /s med Inspector1000. Prøven som havner i kategori radioaktivt deponeringspliktig avfall har et uran innhold på ca 100 mg/kg. Denne ene analysen er å betrakte som en "peak" verdi som ble spesielt søkt etter for å identifisere høyest mulig verdi for radioaktivitet. Denne verdien korreleres med gammaverdi på over 700 γ /s. Det er ikke registrert tilsvarende høye verdier ved scanning av kjernene.

Urankonsentrasjoner er ikke jevnt fordelt i skifer, men anriket i konkresjoner gjerne kalkrike i skiferen. Den aller høyeste verdien for uran i analysene er på 244 mg/kg. Dette er en konkresjon.

Som det fremgår av verdiene for γ/s målingene er disse i all hovedsak rundt ca 500 for deler av kjernelengden fra Alunskiferformasjonen og lavere/til dels mye lavere i de andre skiferhorisontene. Basert på tilgjengelig analysemateriale anses ikke skiferen i Alunskiferformasjonen her ved Gran å inneholde konstrasjoner av uran som tilsier at skiferen skal klassifiseres som radioaktivt deponeringspliktig avfall. Tunneltraseen vil krysse de ulike skiferlagene med spiss vinkel. Det er den nordlige del av tunneltraseen som vil komme i kontakt med Alunskiferformasjonen

10 Referanser

- NFR prosjektdata: *Sustainable solutions for infrastructure and foundations on black shale*
- NGU samleoversikt ref Gautnebb (1984) I tilknytning til black shale prosjektet
- NGU kbl 1815-I Berggrunn Gran
- Owen et al (1978) Ordovician successions of the Oslo region, NGU spec. publ.
- NGI prosjekter I Oslo/Østlandsområdet der skifre er karakterisert og identifisert, og forurensningspotensiale er vurdert:
 - 20100465 Hadeland videregående skole
 - 20100907 Kampen omsorg+
 - 20111005 Ankerskogen svømmehall, Hamar
 - 20100110 Gran-Jaren tunnel ved Gran
 - 20120239 OBOS - Slemmestad
 - 20120330 Nordre Land kommune-karakterisering deponi
 - 20120350 VEAS-Midgardsormen
 - 20120352 Hamar stadion
 - 20120434 Nordre Land kommune-vurdering hytteområder
 - Flere prosjekter i Oslo sentrum på Alunskiferformasjonen
- Kim, Y., E. et al (dato ukjent): Uranium minerals in black shale, South Korea in Goldschmidt Conference Abstracts
- Swanson, Vernon (1961) Geology and geochemistry of uranium in marine black shales - a review, Geological Survey Professional paper 356-c
- Bourdon, B et al. (eds) (2003) Uranium-series geochemistry in: Reviews of mineralogy and geochemistry vol. 52
- Appello and Postma: Geochemistry, groundwater and pollution 2. Ed.; 2005
- Nickelsen et. Al: Late Precambrian to Ordovician stratigraphy and correlation in the Valdres and Synnfjell thrust sheets of the Valdres area in the southern Norwegian Caledonides; with some comments on sedimentation in: The Caledonide Orogen-Scandinavia and relates areas eds: Gee, D., G, and Sturt, B.A. (1985)

Vedlegg Brev IFE analysresultater

10.1 Inspector1000

Operation

10.1.1 Easy Mode Operation

In Easy Mode, one touch of a button toggles between the Locator screen function and the Nuclear Identification screen. The user moves the instrument around and watches the Locator screen to see if the radiation field is changing over time. A histogram/trend display helps the user to precisely locate the source, moving the instrument for maximum signal. A single button push and the Nuclear Identification screen appears. Data is collected, analyzed and all isotopes present are listed with their dose rate. This Mode is perfect for First Responders who need to quickly determine if radioactive sources are present and then locate and identify them to help isolate the problem. It is also valuable for follow-up response to alarms from portal or large area monitors.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Vurdering av radioaktivitet i tunnelmasser			Dokumentnr./Document No. 2012-02-TN		
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 2012-09-19	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 2012-09-19	
Oppdragsgiver/Client Statens vegvesen Vest-Oppland					
Emneord/Keywords Svartskifer, radioaktivitet, deponi, Forurensningsloven, uraninnhold					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge, Oppland fylke				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Gran				Felt navn/Field name	
Sted/Location Gran				Sted/Location	
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	EEr	TP		
			AAr		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 2012-09-21		Sign. Prosjektleder/Project Manager Erik Endre	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

Staten vegvesen

Gran anleggskontor
Søndre Morstadgutua 21
2750 GRAN

Instituttveien 18
Postboks 40, NO-2027 Kjeller
Tlf: +47 63 80 60 00
Faks: +47 63 81 25 61
Org. nr.: NO 959 432 538
Web: www.ife.no

Att.: Halldis Fjermestad

Vår ref.: VE/1.8.1/EStr
Dir. tlf: +47 63 80 60 95
E-mail: elisas@ife.no

Deres ref.: Prosjektnr. 105150
Best. nr.: Ansvarsnr. 13120

Dato: 2014-03-26

Bestemmelse av naturlig radioaktivitet i alunskifer

Oppdragsnr. 2014-1545

Uran (U) og thorium (Th) finnes naturlig i varierende konsentrasjoner i berggrunnen. Gjennom radioaktiv nedbrytning danner disse hver sin serie med radionuklider (se vedlegg). ^{238}U gir opphav til radiumisotopen ^{226}Ra som igjen gir opphav til radonisotopen ^{222}Rn . Radon er en edelgass, og har derfor liten evne til å danne kjemiske forbindelser. Radongassen frigjøres dermed lett til luft.

Direkte måling av radon i steinprøver lar seg vanskelig gjennomføre. Målingene baseres derfor på bestemmelse av $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ og ^{228}Ac for henholdsvis ^{238}U - og ^{232}Th -seriene. Ved radioaktiv likevekt er aktiviteten av ^{222}Rn lik aktivitetene til de andre radionuklidene i ^{238}U -serien. Det samme gjelder for ^{220}Rn og radionuklidene i ^{232}Th -serien.

De tilsendte prøvene har blitt analysert for innhold av radium fra uran- og thoriumseriene, samt den naturlig forekommende radioaktive kaliumisotopen ^{40}K , ved hjelp av høyoppløselig gamma-spektrometri. Resultatene er gitt i tabellen under. Rapportert usikkerhet er en utvidet usikkerhet basert på en standard usikkerhet multiplisert med en dekningsfaktor på 2, som gir et dekningsnivå på tilnærmet 95%.

Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall definerer grenser for når avfall er å regne som radioaktivt og deponeringspliktig. Grensene for naturlig uran og naturlig thorium er satt til 1000 Bq/kg. For ^{40}K er grensen 10 000 Bq/kg (radioaktivt) og 100 000 Bq/kg (deponeringspliktig).

For avfall som inneholder flere radionuklider er avfallet radioaktivt men ikke deponeringspliktig dersom summen av forholdet mellom spesifikk aktivitet for hver radionuklide og den tilsvarende grenseverdien er større eller lik 1:

$$\sum_k \frac{C_k}{C_{e,k}} \geq 1 \text{ og } \sum_k \frac{A_k}{A_{e,k}} \geq 1 \quad \text{Formel 1.}$$

der C_k (A_k) = spesifikk (total) aktivitet for radionuklide k
 $C_{e,k}$ ($A_{e,k}$) = grenseverdi for spesifikk (total) aktivitet for radionuklide k

Resultatet av summeformel er gitt i tabell 2.

Tabell 1. Måleresultater, aktiviteter ved radioaktiv likevekt (Bq/kg)

Serie	²³⁸ U	²³² Th	
Aktuell Ra-isotop	²²⁶ Ra	^{228,224} Ra	
Målte nuklider	²¹⁴ Pb, ²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K
Prøve 1	381 ± 28	54 ± 4	1030 ± 70
Prøve 2	380 ± 40	42 ± 4	740 ± 50
Prøve 3	530 ± 70	55 ± 5	1000 ± 70
Prøve 4	346 ± 19	35 ± 4	690 ± 50
Prøve 5	580 ± 40	61 ± 5	1090 ± 70
Prøve 6	410 ± 60	42 ± 5	730 ± 50
Prøve 7	330 ± 50	40 ± 5	700 ± 50

Tabell 2. Klassifisering av prøvene i henhold til grenser gitt i FOR-2010-11-10-1394

Prøve	X	Klassifisering
Prøve 1	0,538 ± 0,029	Ikke radioaktivt
Prøve 2	0,50 ± 0,04	Ikke radioaktivt
Prøve 3	0,68 ± 0,07	Ikke radioaktivt
Prøve 4	0,450 ± 0,020	Ikke radioaktivt
Prøve 5	0,75 ± 0,04	Ikke radioaktivt
Prøve 6	0,53 ± 0,06	Ikke radioaktivt
Prøve 7	0,44 ± 0,05	Ikke radioaktivt

Prøvene sendes tilbake til oppdragsgiver som ønsket.

Vennlig hilsen

Elisabeth Strålberg
 Seksjonsleder, Miljøovervåking
 Avd. Miljø- og strålevern

Natürlich radioaktive Familien
Natural Radioactive Families

Familles radioactives naturelles
Familias radiactivas naturales

THORIUM $A = 4n$										Ra 228 <small>MsThy</small> 5,7 a β^-	$\leftarrow \alpha$	Th 232 <small>Th</small> $1,4 \cdot 10^{10}$ a		
													Ac 228 <small>MsTh</small> 6,13 h β^-	
		Pb 212 <small>ThB</small> 10,6 h β^-	$\leftarrow \alpha$	Po 216 <small>T-A</small> 0,15 s	$\leftarrow \alpha$	Rn 220 <small>Tn</small> 55,6 s	$\leftarrow \alpha$	Ra 224 <small>ThX</small> 3,64 d	$\leftarrow \alpha$	Th 228 <small>ReTh</small> 1,9 a				
	Tl 208 <small>ThC</small> 3,1 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Bi 212 <small>TnC</small> 60,6 m β^- 63,8%											
		Pb 208 <small>ThD</small> stabil	$\leftarrow \alpha$	Po 212 <small>ThC</small> 0,3 μ s										

ACTINIUM $A = 4n + 3$												Th 231 <small>UY</small> 25,6 h β^-	$\leftarrow \alpha$	U 235 <small>AcU</small> $7 \cdot 10^8$ a
														Pa 231 <small>Pa</small> $3,3 \cdot 10^4$ a
		Pb 211 <small>AcB</small> 36,1 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Po 215 <small>AcA</small> 1,8 ms β^- $5 \cdot 10^{-4}$ %	$\leftarrow \alpha$	Rn 219 <small>An</small> 3,9 s	$\leftarrow \alpha$	Ra 223 <small>AcX</small> 11,4 d	$\leftarrow \alpha$	Th 227 <small>PaAc</small> 18,7 d				
	Tl 207 <small>AcC</small> 4,8 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Bi 211 <small>AcC</small> 2,15 m β^- 0,32%		At 215 ~ 100 μ s									
		Pb 207 <small>AcD</small> stabil	$\leftarrow \alpha$	Po 211 <small>AcC</small> 0,52 s										

URAN-RADIUM $A = 4n + 2$												Th 234 <small>UX</small> 24,1 d β^-	$\leftarrow \alpha$	U 238 <small>U</small> $4,5 \cdot 10^9$ a
														Pa 234 <small>UX</small> 1,2 m β^- 99,83% <small>UZ</small> 4,7 h β^- 0,17%
		Pb 214 <small>RaB</small> 26,8 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Po 218 <small>RaA</small> 3,05 m β^- 0,02%	$\leftarrow \alpha$	Rn 222 <small>Rn</small> 3,8 d	$\leftarrow \alpha$	Ra 226 <small>Ra</small> 1600 a	$\leftarrow \alpha$	Th 230 <small>Th</small> $8 \cdot 10^4$ a	$\leftarrow \alpha$	U 234 <small>U</small> $2,5 \cdot 10^5$ a		
	Tl 210 <small>RaC</small> 1,3 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Bi 214 <small>RaC</small> 19,8 m β^- 99,96%		At 218 ~ 2 s									
	Hg 206 8,1 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Pb 210 <small>RaD</small> 22 a β^- ~ 100 %		Po 214 <small>RaC</small> 162 μ s									
		Tl 206 <small>RaE</small> 4,3 m β^-	$\leftarrow \alpha$	Bi 210 <small>RaE</small> 5,0 d β^- ~ 100 %										
		Pb 206 <small>RaG</small> stabil	$\leftarrow \alpha$	Po 210 <small>RaF</small> 138,4 d										

Vedlegg 6.1

Vannprøvetaking på Gran 27.10.11 og 19.04.12

I oktober 2011 ble det tatt 3 vannprøver fra elva Vigga og to bekker. Nye vannprøver ble tatt på samme steder 19. april 2012:

1. Bekk 1. Vannprøve fra en bekk med utløp i sydenden av Jarenvannet, fra et jorddekket område med alunskifer i grunnen.
2. Bekk 2. Vannprøven ble tatt like ved RV 4, ca 1,5 km nord for Gran sentrum. Bekken renner gjennom et område med både vulkanske bergarter og noe alunskifer.
3. Vigga. Vannprøve tatt på nedenfor av veibro ved Jarenstranda, nær utløpet av Vigga i Jarenvannet.

19. april 2012 ble det i tillegg tatt prøver (nr.4-9) av vann til vannforsyning og grunnvann/overflatevann andre steder i nærheten av planlagt trase for ny Rv. 4:

4. Overflatevann fra en dam ca 20 m øst for Oslolinna, rett øst for tidligere Texacostasjon, Oslolinna nr. 135. Dammen oppsto etter at gravearbeider ødela et overvannsrør som går til Vigga. Prøven ble filtrert før analyse.
5. Kranvann fra tidligere Texacostasjon, Oslolinna 135. Stasjonen har hatt grunnvannsforsyning fra en borebrønn, men det er nå sannsynligvis lagt om til kommunalt vann.
6. Grunnvann fra bolighus nord for Gran sentrum, nær Kolstadsvingen på nåv. Rv. 4. Brønnen har nr. 22534 i NGUs database (brønnregisteret). Vannprøven er tatt fra tappekran.
7. Grunnvann/sigevann fra et avkuttet drenerør i området nedstrøms (vest for) søndre påslag for planlagt tunnel for Rv. 4. Drenerøret ligger i torvmasser men drenerer trolig også forvittringsjord av ulike typer skifer.
8. Grunnvann fra bolighus syd for Gran sentrum, Morstad østre. Brønnen har nr 30742 i NGUs database (brønnregisteret). Vannprøven er tatt fra tappekran.
9. Overflatevann fra gammel brønn på Morstad østre. Vannet brukes kun til vanning. Prøven ble filtrert før analyse.

Vurdering av resultater

For vurdering av vannkvalitet er benyttet Klifs inndeling i tilstandsklasser for ferskvann (I-meget god til V-meget dårlig) for parameter som omfattes av "Ferskvannsveilederen, 97.04" samt Drikkevannsforskriften. For parametere der det mangler norske grenseverdier for vannkvalitet er det også benyttet annet datagrunnlag for vurderingen.

Resultater fra prøver av bekker og elv (prøve 1-3)

Alle prøvene er preget av at grunnen inneholder bergarter som forvitrer nokså lett, og avgir jordalkali- og alkalimetaller som kalsium, magnesium, natrium og kalium. Også innhold av sulfat og (i noe mindre grad) klorid er høyt i mange av prøvene. Nitrogeninnhold, hovedsakelig nitrat, er også nokså høyt, særlig i prøvene som er påvirket av overflatevann.

Av mindre vanlige elementer synes innhold av strontium, gjennomgående å være høyere enn det som er typisk for overflate- og grunnvann, og det samme gjelder for barium, men for disse mangler det relevant sammenligningsgrunnlag da dette er elementer som det sjeldent analyseres for. Enkelte prøver skiller seg ved å ha høye konsentrasjoner av bestemte grunnstoffer som nokså klart har sammenheng med forekomstene av alunskifer og svartskifer i området. Dette gjelder innhold av uran og nikkel i overflatevann, og særlig i en bekk (B1) er innholdet av uran og nikkel uvanlig høyt. Dett gjelder også for strontium og sulfat.

Det ble gitt en vurdering av vannkvaliteten etter første omgang med vannprøvetaking i to bekker og Vigga i oktober 2011. De nye vannprøvene fra april 2012 viser bare små endringer, og vurderingen av de tre overflatevannkildene er derfor beholdt (med verdier som referer til første prøvetaksrunde):

1. Tilstanden av vannet i Vigga er gjennomgående god til mindre god (tilstandsklasse II-III) når det gjelder innhold av tungmetaller og total fosfor, men er meget dårlig når det gjelder (høyt) nitratinnhold.
2. Bekk 1 viser gjennomgående de høyest verdiene av tungmetaller. Særlig gjelder dette jern og nikkel (tilstandsklasse V) samt kadmium og kobber (tilstandsklasse IV). I tillegg virker innholdet av uran svært høyt. Uran omfattes ikke av tilstandsklassifiseringen, og heller ikke drikkevannsfor-skriften har fastsatt grenseverdier for tungmetallet. Et innhold på over 90 µg/l ligger imidlertid betydelig over intervallet 0,1-10 µg/l som er oppgitt å være vanlig variasjonsområde for uran ”in most natural water” ifølge USGS Water-Supply Paper 2554. Bekken er i tillegg sterkt påvirket av nitrogen (tilst. kl. V, meget dårlig) og av fosfor (tilst. kl. IV, dårlig).
3. Bekk 2 renner gjennom både eruptivbergarter og alunskifer, og tilstanden er stort sett sammen-lignbar med Viggas, bortsett fra litt høyere nitrogeninnhold og litt lavere innhold av bly og sink, samt noe høyere uraninnhold, ca 9 µg/l mot ca 2 µg/l i Vigga.

Analysene har omfattet flere parametere enn dem som er nevnt her, og det vises blant annet at innholdet av strontium og barium, bor, kobolt, molybden og mangan er markert mye høyere i prøven fra antatt alunskiferpåvirket vann i bekk 1 enn de to andre prøvene. Dette kommer også til uttrykk ved sulfatinnholdet og at elektrisk ledningsevne (som er et uttrykk for innholdet av ioner i vannet) er høyest i prøven fra dette området. Dette anses å skyldes økt utlekking pga. større forvitningsaktivitet i nedslagsfeltet med alunskifer.

Ikke i noen av prøvene ble det påvist innhold av kvikksølv, thorium eller fosfat (PO₄). Fosfor (P) er bestemt ved ulike analyseteknikker, og det er noe avvik mellom elementanalysen for P og målingen av parameteren P-total. De viser imidlertid samme trend, med høyest verdi for prøve nr. 2.

Prøver analysert i april 2012 (prøve 4-9)

Det er betydelig forskjell mellom kjemisk sammensetning i prøvene av overflatevann og grunnvann, men også innbyrdes forskjeller mellom grunnvannsprøvene (to prøver fra grunnvannsbrønner og én fra et drenerør). Dette gjelder kalsium- og natriuminnhold og for grunnstoffet bor. Som tidligere er pH-verdiene i alle vannprøvene relativt høye, mellom ca 7,5 og 8,4.

Høyt innhold av kobber i vann fra den ene grunnvannbrønnen (prøve nr 8) skyldes trolig at det er kobberrør i ledningen fra brønnen. Samme tendens til økt innhold ses også i kranvann som trolig stammer fra kommunalt vannverk (prøve 5).

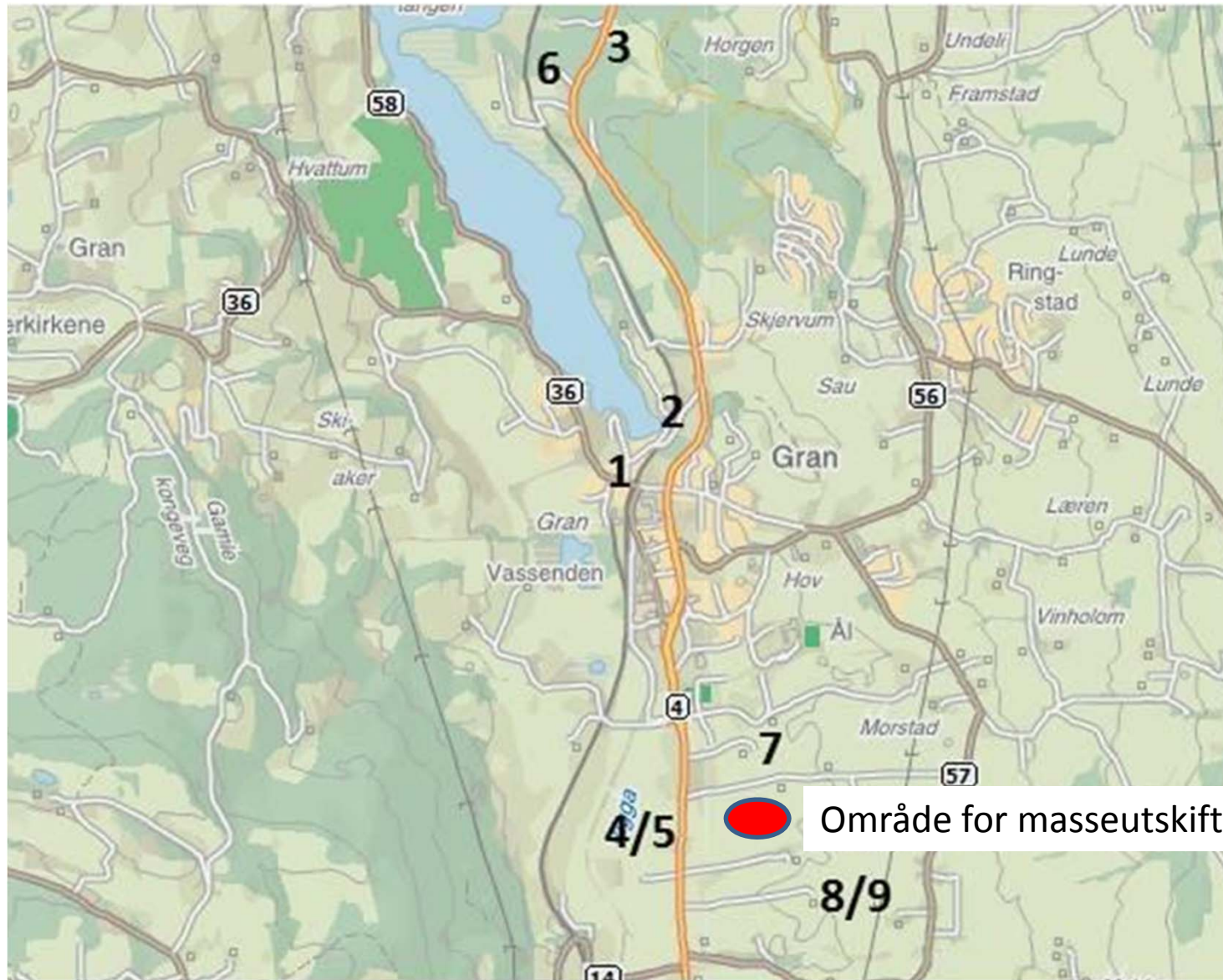
Det er for tidlig å trekke mer vidtrekkende konklusjoner ut fra en prøvetakingsrunde, men det må påpekes at disse resultatene vil fungere som referansegrunnlag for den videre oppfølgingen, under og etter utbyggingen av Rv. 4


Kommende sider:

- Analyse resultater av vannprøver (tabell)
- Oversiktskart over vannprøver

ELEMENT	SAMPLE	B.1 10-11	B.1 04-12	B.2 2 10-11	B.2 2-0412	3. Vigga 10-11	3. Vigga 04-12	4. Dam v/Oslo. 04-12 i	Gml.Texaco 04-12 i	5.Br.22534.04-12	7.drensrør04-12	Morstad ø.gr.v.	ørst.ø.gml.04-12
Ca	mg/l	130	122	72,8	62,6	63,8	57,7	86,5	1,95	50,3	123	8,71	28,8
Fe	mg/l	0,922	0,759	0,122	0,117	0,298	0,033	0,168	0,0226	0,0543	0,0013	0,0231	0,0651
K	mg/l	6,84	5,77	3,17	2,12	2,67	2,02	6,48	<0.4	0,657	9,84	2,66	5,5
Mg	mg/l	8,47	8,29	4,54	3,76	4,21	4,07	4,95	0,21	10,5	9,21	3,71	1,32
Na	mg/l	9,21	9,04	4,5	3,7	5,02	5,45	5,75	3,34	30,5	7,13	162	1,27
Al	µg/l	22,2	14,4	36,1	23,8	130	32,6	9,45	30,3	7,85	0,91	33,7	33,6
As	µg/l	0,702	0,263	0,378	0,146	0,977	0,164	1,37	0,0927	0,0954	<0.06	<0.05	<0.05
Ba	µg/l	97,5	86,3	41,1	33,3	35,4	30,2	18,9	4,15	28,9	102	103	19
Cd	µg/l	0,334	0,29	0,063	0,0373	0,0362	0,0081	0,0055	0,0038	0,0362	0,0065	0,0076	0,0088
Co	µg/l	2,23	1,87	0,128	0,0969	0,379	0,054	0,253	0,0058	0,0334	0,0671	0,0064	0,0538
Cr	µg/l	0,087	0,0662	0,132	0,0869	0,428	0,0941	0,0999	0,0446	0,04	0,103	0,0669	0,187
Cu	µg/l	1,15	0,744	1,92	1,31	1,71	0,707	0,848	61,7	107	0,474	1,92	3,13
Hg	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0,0023
Mn	µg/l	132	101	12,7	11,5	45,4	2,88	3,1	3,16	1,1	4,76	0,818	0,649
Mo	µg/l	28,4	21,4	6,83	5,22	2,42	1,65	2,88	0,144	1,63	0,404	12,2	1,03
Ni	µg/l	30,9	31,5	2,29	1,67	3,72	2,02	1,93	0,784	1,69	1,41	0,254	2,64
P	µg/l	42,8	30,9	30,8	20,9	27,9	4,32	1270	2,07	2,11	1,15	6,13	64,4
Pb	µg/l	0,0723	0,0579	0,0987	0,0501	0,666	<0.01	0,0365	0,757	1	<0.01	0,0407	0,0297
Si	mg/l	5,37	4,47	5,56	4,27	3,7	2,77	0,191	5,58	3,92	3,29	3,97	1,44
Sr	µg/l	537	522	305	259	282	265	360	7,77	421	602	600	106
Zn	µg/l	30,2	22,8	1,83	1,12	6,23	5,56	3,15	8,71	62,1	3,81	1,01	2,86
U	µg/l	91,5	80,9	8,84	6,44	1,98	1,43	1,94	0,0282	0,761	6,68	0,779	0,227
Th	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
V	µg/l	0,414	0,212	0,314	0,21	0,566	0,0962	2,07	0,0726	0,0621	0,0505	0,0823	0,39
B	µg/l	33,5	29,4	15,9	12,8	11,5	11,8	17,3	<10	<10	37,5	462	27,2
Sulfat (SO4)	mg/l	88,8	99,9	41,3	39,8	29,1	28,5	24,9	1,69	59,5	56,8	63,1	13,6
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	7,81	6,28	4,21	4,13	3,22	2,82	<0.060	<0.060	1,01	6,55	<0.060	4,33
N-total	mg/l	10,4	8,44	5,01	5,78	3,59	4,07	1,89	0,24	1,58	9,13	0,73	5,96
Fosfat-P (PO4-P)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	1,16	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0,056
P-total	mg/l	0,023	0,021	0,019	0,018	0,019	0,012	1,51	<0.010	<0.010	0,013	0,012	0,073
Klorid (Cl-)	mg/l	20	19,6	9,08	7,33	8,69	10,8	14,8	1,27	50,9	10,4	12,1	4,11
TOC	mg/l	5,92	4,21	6,22	5,03	3,35	3,05	23,8	2,44	4,46	1,26	<0.50	8,94
pH		8,26	8,12	8,18	8,12	8,16	8,1	8,1	7,47	7,67	7,67	8,42	7,7
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m	67,7	72,6	37,3	38,3	34,5	37,2	49,5	3,17	53,3	74	84,1	19,8
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l		4,53		2,42		2,53	4,08	0,193	2,29	5,75	6,68	1,02
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l		<0.150		<0.150		<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Filtrering								JA					JA

Oversikt vannprøver 1 - 9



 Område for masseutskifting

Vedlegg 6.2

From: ALS Laboratory Group Norway AS, Drammensveien 173, N-0277 Oslo. Tlf. +47 2213 1800. Faks. +47 2252 5177. Email: info.on@alsglobal.com

To: Multiconsult AS, avd. Geo Ref: Trygve Dekko [tde@multiconsult.no]

Riksvei 4, Gran

Vannprøver okt. 2011, april 2012 og sept. 2012																
ELEMENT	SAMPLE	2011 Bekk Horgenmoen			Bekk Nordtangen			Vigga			4. Dam v/Oslo. 04-12	5. Gml. Texaco 04-12	6.Br.22534 .04-12	7.drensrør 04-12	Br.30742 04-12 Morstad ø.gr.v.	Morst.ø.g ml.04-12
		B.1 10-11	B.1 04-12	B.1 09-12	B.2 10-11	B.2 04-12	B.2 09-12	3. Vigga 10-11	3. Vigga 04-12	Vigga 09-12						
Ca	mg/l	130	122	136	72.8	62.6	66.6	63.8	57.7	65.2	86.5	1.95	50.3	123	8.71	28.8
Fe	mg/l	0.922	0.759	0.464	0.122	0.117	0.154	0.298	0.033	0.157	0.168	0.0226	0.0543	0.0013	0.0231	0.0651
K	mg/l	6.84	5.77	7.17	3.17	2.12	4.29	2.67	2.02	3.78	6.48	<0.4	0.657	9.84	2.66	5.5
Mg	mg/l	8.47	8.29	8.46	4.54	3.76	4.39	4.21	4.07	4.3	4.95	0.21	10.5	9.21	3.71	1.32
Na	mg/l	9.21	9.04	8.98	4.5	3.7	4.05	5.02	5.45	5.28	5.75	3.34	30.5	7.13	162	1.27
Al	µg/l	22.2	14.4	21.4	36.1	23.8	34.9	130	32.6	100	9.45	30.3	7.85	0.91	33.7	33.6
As	µg/l	0.702	0.263	0.485	0.378	0.146	0.353	0.977	0.164	0.269	1.37	0.0927	0.0954	<0.06	<0.05	<0.05
Ba	µg/l	97.5	86.3	107	41.1	33.3	41.6	35.4	30.2	37.3	18.9	4.15	28.9	102	103	19
Cd	µg/l	0.334	0.29	0.238	0.063	0.0373	0.0479	0.0362	0.0081	0.0181	0.0055	0.0038	0.0362	0.0065	0.0076	0.0088
Co	µg/l	2.23	1.87	1.19	0.128	0.0969	0.0873	0.379	0.054	0.0849	0.253	0.0058	0.0334	0.0671	0.0064	0.0538
Cr	µg/l	0.087	0.0662	0.119	0.132	0.0869	0.151	0.428	0.0941	0.297	0.0999	0.0446	0.04	0.103	0.0669	0.187
Cu	µg/l	1.15	0.744	1.09	1.92	1.31	2.22	1.71	0.707	1.07	0.848	61.7	107	0.474	1.92	3.13
Hg	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0023
Mn	µg/l	132	101	214	12.7	11.5	2.62	45.4	2.88	6.45	3.1	3.16	1.1	4.76	0.818	0.649
Mo	µg/l	28.4	21.4	26.2	6.83	5.22	7.73	2.42	1.65	2.58	2.88	0.144	1.63	0.404	12.2	1.03
Ni	µg/l	30.9	31.5	20.3	2.29	1.67	2.27	3.72	2.02	2.82	1.93	0.784	1.69	1.41	0.254	2.64
P	µg/l	42.8	30.9	55.6	30.8	20.9	112	27.9	4.32	18.1	1270	2.07	2.11	1.15	6.13	64.4
Pb	µg/l	0.0723	0.0579	0.0397	0.0987	0.0501	0.0557	0.666	<0.01	0.0723	0.0365	0.757	1	<0.01	0.0407	0.0297
Si	mg/l	5.37	4.47	4.9	5.56	4.27	4.3	3.7	2.77	3.3	0.191	5.58	3.92	3.29	3.97	1.44
Sr	µg/l	537	522	558	305	259	297	282	265	290	360	7.77	421	602	600	106
Zn	µg/l	30.2	22.8	9.83	1.83	1.12	1.5	6.23	5.56	1.64	3.15	8.71	62.1	3.81	1.01	2.86
U	µg/l	91.5	80.9	73.9	8.84	6.44	6.94	1.98	1.43	1.99	1.94	0.0282	0.761	6.68	0.779	0.227
Th	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
V	µg/l	0.414	0.212	0.349	0.314	0.21	0.397	0.566	0.0962	0.297	2.07	0.0726	0.0621	0.0505	0.0823	0.39
B	µg/l	33.5	29.4	38.4	15.9	12.8	20.8	11.5	11.8	12.4	17.3	<10	<10	37.5	462	27.2
Sulfat (SO4)	mg/l	88.8	99.9	85.3	41.3	39.8	31.6	29.1	28.5	30.3	24.9	1.69	59.5	56.8	63.1	13.6
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	7.81	6.28	4.22	4.21	4.13	2.94	3.22	2.82	2.03	<0.060	<0.060	1.01	6.55	<0.060	4.33
N-total	mg/l	10.4	8.44	6.34	5.01	5.78	4.22	3.59	4.07	2.75	1.89	0.24	1.58	9.13	0.73	5.96
Fosfat-P (PO4-P)	mg/l	<0.010	<0.010	0.034	<0.010	<0.010	0.093	<0.010	<0.010	<0.010	1.16	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.056
P-total	mg/l	0.023	0.021	0.17	0.019	0.018	0.191	0.019	0.012	0.079	1.51	<0.010	<0.010	0.013	0.012	0.073
Klorid (Cl-)	mg/l	20	19.6	16.5	9.08	7.33	7.79	8.69	10.8	8	14.8	1.27	50.9	10.4	12.1	4.11
TOC	mg/l	5.92	4.21	10.1	6.22	5.03	8.5	3.35	3.05	3.74	23.8	2.44	4.46	1.26	<0.50	8.94
pH		8.26	8.12	8.21	8.18	8.12	8.11	8.16	8.1	8.12	8.1	7.47	7.67	7.67	8.42	7.7
Ledningsevne	mS/m	67.7	72.6	63.8	37.3	38.3	32.9	34.5	37.2	32.3	49.5	3.17	53.3	74	84.1	19.8
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l		4.53	5.04		2.42	2.54		2.53	2.71	4.08	0.193	2.29	5.75	6.68	1.02
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l		<0.150	<0.150		<0.150	<0.150		<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Filtrering/dekantering				Dekantert			Dekantert			Dekantert	Filtrert					JÅ

Vedlegg 7

Prøvetaking av brønner på Gran 2013

Parameter	Eining	Brønn 1					Brønn 2					Brønn 3			
		10.04.2013	13.05.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	13.05.2013	10.04.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	10.04.2013
Ca (Kalsium)	mg/l	85.995063	130	90.3	99.7	66.9	101	162	142	131	158.36436	84.1	100	92.7	108
Fe (Jern)	µg/l	2.2	1	1.8	1	14.9	235	29.6	158	797	160	9.1	1.4	1.9	4
K (Kalium)	mg/l	1.8	2.37	1.99	2.08	1.59	3.54	3.1	2.43	2.94	3.1	1.88	1.98	1.93	2
Mg (Magnesium)	mg/l	9.3700308	10.5	9.44	10	7.76	5.02	9.44	8.17	5.62	8.813614	9.41	9.83	9.45	10
Na (Natrium)	mg/l	9.9930012	10.1	10.8	11.1	13.4	4.58	6.18	6.96	4.84	5.7596952	12.8	11.5	12.6	14
Al (Aluminium)	µg/l	2.6	5	3.97	5.14	3.23	86.6	0.987	4.76	0.053	1.8	4.03	5.41	4.54	7.4
As (Arsen)	µg/l	1.8	2.5	2.8	1.69	2	0.554	0.264	1.13	2.5	0.36	1.19	1.23	1.46	1
Ba (Barium)	µg/l	210	175	221	224	169	55.3	106	102	0.0463	110	76	81	84.4	80
Cd (Kadmium)	µg/l	0.013	0.2	0.0231	0.0407	0.0328	0.0874	0.0277	0.0348	0.2	0.056	0.0113	0.0177	0.015	0.049
Co (Kobolt)	µg/l	0.39	1	0.148	0.0961	0.127	2.43	0.411	0.449	1.0	0.72	0.157	0.0436	0.0876	0.52
Cr (Krom)	µg/l	0.015	0.5	0.0199	0.0664	0.0329	0.24	0.062	0.0788	0.5	0.015	0.0364	0.0409	0.0303	0.015
Cu (Kopper)	µg/l	0.15	1	1.88	1.38	3.51	6.93	0.881	1.25	2.8	0.97	0.56	1.6	1.11	0.32
Mn (Mangan)	µg/l	350	59.7	183	183	203	114	197	192	133	230	32.1	25.5	37	65
Mo (Molybden)	µg/l	39	3.2	25.6	28.6	23.3	8.5	4.89	7.29	1.0	3.4	7.25	7.46	8.06	7.4
Ni (Nikkel)	µg/l	1.5	1	2.06	1.62	1.38	7.35	2.91	3.99	6.8	6.4	2.94	3.3	3.77	130
P (Fosfor)	µg/l	1.9	5	1.22	25.9	2.95	30.7	3.58	8.9	17	2	38.5	3.04	1.31	2
Pb (Bly)	µg/l	0.06	2.5	0.234	0.766	1.11	2.34	0.185	0.314	2.5	0.048	6.92	10.7	1.41	0.049
Si (Silisium)	mg/l	4.6	3.31	4.01	4.93	3.71	2.58	4.81	4.02	3.16	3.9	2.36	2.69	2.31	2.6
Sr (Strontium)	µg/l	830	564	747	740	633	510	744	738	456	720	574	551	593	610
Zn (Sink)	µg/l	1.2	1.78	17.8	10.4	10.4	9.03	5.13	8.02	5.9	1.8	7.98	12.5	11.9	4.2
V (Vanadium)	µg/l	0.25	0.5	0.0328	0.069	0.0581	0.684	0.11	0.118	0.5	0.24	0.0421	0.0483	0.0323	0.2
B (Bor)	µg/l	0	5	38.9	30.3	28.2	89.6	32.5	41.7	5		33.3	30.7	38.6	
Th (Thorium)	µg/l	0.007	4.58	0.01	0.19	0.01	0.0359	0.484	0.01	16	0.002	0.01	0.234	0.01	0.002
U (Uran)	µg/l	22	9.67	18.9	19.9	13.9	0.603	5.41	3.47	1.26	6.9	15.2	19.9	18.6	13
S-total	mg/l	8.8	19.8	11.8		10.3	42.8		29	30	30	16.5		17.7	24
Sulfat (SO4)	mg/l	27.615			37.2	31.4	133	91.9			95	51	60.3		75.9
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	1.27			0.03	0.794	0.03	0.03			2.54	654	30		750
Ammonium-N (NH4)	mg/l					0.14	0.306					0.696			
N-total	mg/l				0.53	1.55	1.94	1.13				1.82	0.24		
Fosfat-P (ortofosfat)	mg/l				0.005	0.005	0.005	0.005				0.093	0.005		
P-total	mg/l	0.0019			0.005	0.037	0.063	0.049			0.002	0.175	0.109		0.002
Klorid (Cl-)	mg/l	6.748			8.43	6.64	13.3	15.3				12.6	14.1		16.6
TOC	mg/l	1.01			2.2	1.59	25.6	6.72			4.78	2.5	1.46		1.6
pH		7.66	7.73	7.83	7.91	7.88	6.45	7.35	6.89	7.11	6.75	7.86	7.9	7.87	7.54
Ledningsevne	mS/m	50.2		57.1	57.8	43.9	62.1	81.7	76.3	63.7	78.8	50.8	58.3	57.7	62.6
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l			5.22	5.47	3.81	3.34	6.78	5.7			3.88	4.77	4.61	
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l			<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150			<0.150	<0.150	<0.150	
Filtrering			JA	Ja	JA	JA	JA	JA	Ja	JA		JA	JA	Ja	
Hg (Kvikksølv)	µg/l	0	<0.010	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.010		<0.002	<0.002	<0.002	

Brønn 4 A					Brønn 4 B					Brønn 5					
10.04.2013	13.05.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	13.05.2013	10.04.2013	10.04.2013	13.05.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013	10.04.2013
109	112	101	95.8	100	115	95.6	111	122	132	132	122	99.3	110	94.9	113
610	115	1.6	3.3	21.4	22.9	177	67.6	97.4	14	1.7	1	1.1	0.2	0.0012	5.3
1.2	2.52	1.58	1.64	2.42	1.46	2.42	1.63	1.82	1.3	2.2	2.68	2.86	2.89	3.17	5.8
6.9	5.46	6.45	6.21	8.79	7.95	6.21	6.75	6.42	8.6	9.3	10.9	10.6	11.1	11.1	12
9.3	13.1	13.3	8.66	21.9	7.55	5.44	6.11	7.22	5.2	6	6.4	6.66	7.57	32	9.9
3.6	5	1.28	3.78	0.329	1.5	3.74	4.62	5	6.2	1.3	5	2.6	1.48	1.31	3.6
0.14	2.5	1.48	0.395	0.241	0.341	0.459	0.509	2.5	0.73	0.82	2.5	0.22	0.222	0.431	0.088
49	60.6	61	53.3	65.2	82.8	59.4	69.1	58.3	100	140	0.125	142	142	134	100
0.017	0.2	0.0133	0.0376	0.0185	0.0172	0.0083	0.0073	0.2	0.033	0.042	0.2	0.016	0.0168	0.0187	0.008
0.066	1	0.183	0.0905	0.56	0.612	0.497	0.579	1	0.45	1.2	1	1.12	1.2	0.83	0.51
0.05	0.5	0.0156	0.0626	0.005	0.0291	0.0445	0.0531	0.5	0.05	0.05	0.5	0.0239	0.0228	0.0612	0.015
0.25	1	0.774	2.97	1.01	0.595	1.08	0.768	1	2.4	0.19	1	1.82	2.29	5.93	0.37
1.7	13.3	22	2.03	253	220	456	67.1	519	92	340	88.7	112	117	121	68
1.2	3.2	2.31	1.29	3.62	10.2	1.16	0.845	1	3.8	1.4	1	2.28	2.16	2.34	0.9
1.4	4.9	1.88	1.62	1.89	2.01	1.17	1.35	2.7	3	4.6	6.2	7.49	7.25	7.11	4.5
1.8	13	2	21.7	3.27	5.32	33.4	46.8	5	53	0.44	5	31.7	11.7	61.2	0.44
0.051	2.5	0.779	1.49	0.656	5.01	1.35	0.354	2.5	0.2	0.045	2.5	1.72	10.1	34.7	0.041
2.7	3.03	2.83	2.68	3.57	3.83	3.43	3.69	3.74	4.4	3.8	3.4	2.99	3.56	3.29	3.6
	384	473	405	533	560	363	500	387	550	550	481	537	513	544	550
0.79	1	8.63	144	7.18	9.42	5.05	7.09	6.9	2.5	1.6	8.2	18.5	11.1	14.3	0.48
0.23	0.5	0.118	0.125	0.0374	0.247	0.177	0.29	0.5	0.43	0.0089	0.5	0.0238	0.144	0.222	0.04
	5	36.2	21.2	34	27.2	22.5	35.2	5			5	28.4	20.8	28	
0.002	7.81	0.01	0.247	0.01	0.01	0.501	0.01	6.72	0.002	0.002	2.96	0.01	0.352	0.01	0.002
2.5	6.53	3.61	2.07	4.88	17.7	1.21	0.651	1.49	2.3	3.1	4.63	4.27	4.04	4.14	2.3
12	12.4	10.1		17	17.3		3.87	4.44		8.4	13	11.6		14.1	11
39.1			34.7	52	52.8	16.1			22.17	27.1			38.6	43.2	35.9
8.19			5.78	0.741	0.229	0.03			0.255	0.64			1.95	2.56	3.72
				0.208	2.01									0.028	
			7.96	1.49	2.89	1.65							2.88	3.89	
			0.005	0.005	0.005	0.005							0.005	0.022	
			0.038	0.005	0.013	0.099							0.005	0.06	
			12	14.2	15.9	12.6			15.215	11.5			9.25	9.9	10
1.24			2.44	1.68	3.96	7			8.1240223	2.54			1.67	2.26	1.32
7.25	7.29	7.46	7.61	7.8	7.78	7.45	7.14	7.58	7	7.3	7.69	7.69	7.73	8.11	
68.8	58.4	61.3	57.2	66.9	64.3	53.1	62.2	61.9	59.8	69.7	64	49.9	62.4	68.2	69.7
		5.12	4.68	5.74	5.78	5.08	6.06					4.4	5.65	6.18	
		<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150					<0.150	<0.150	<0.150	
	JA	Ja	JA	JA	JA	JA	Ja	JA			JA	Ja	JA	JA	
		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0028	<0.002	<0.010			<0.010	<0.002	<0.002	<0.002	

Brønn 6				Brønn 7				Brønn 8				Brønn 9			
13.05.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	10.04.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	10.04.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	13.05.2013
105	68.9	74.9	65.5	65	65.5	78.5	96	94.4	97.9	100	108	43.6	22	25.9	74.3
2.5	1.4	1.7	0.8	140	759	684	85	1160	2150	1830	98	21.4	87.4	10	2.2
2.46	5.88	5.55	5.26	0.723	0.765	0.822	0.88	1.23	1.47	1.27	0.99	4.11	5.11	4.33	4.96
6.77	12.4	12.4	12	4.4	4.08	4.9	5.7	5.28	5.09	5.59	6.2	4.9	3.21	2.92	11.6
12.5	13.7	12.4	13.7	2.47	1.53	2.74	3.3	4.43	3.5	4.47	4	22.7	18.4	14.3	11.7
5	3.84	2.96	2.75	3.68	4.86	5.24	2	20.8	27.9	30	3	2.73	13.5	3.82	5
2.5	0.025	0.025	0.1	0.205	0.258	0.416	0.17	0.583	0.994	0.953	0.29	0.841	0.779	0.706	2.5
205	47.5	46.2	44.7	50.2	39.9	64.3	87	57.4	45.3	65.6	71	143	60.9	107	37.2
0.2	0.0243	0.0265	0.0245	0.001	0.001	0.001	0.0066	0.0049	0.0114	0.0087	0.0088	0.0143	0.0439	0.0059	0.2
1	2.13	1.89	1.45	0.0718	0.0025	0.122	0.21	0.282	0.376	0.233	0.2	0.232	0.0646	0.141	1
0.5	0.0409	0.0276	0.0203	0.233	0.398	0.144	0.015	0.138	0.139	0.105	0.015	0.0433	0.0904	0.0455	0.5
1	3.92	4.71	3.95	0.005	0.005	0.206	0.062	0.36	1.29	0.646	0.076	2.27	5.04	2.92	2.8
674	1010	1050	957	143	72.5	166	250	317	278	297	330	286	92.6	124	900
5.6	5.52	5.37	4.76	0.194	0.198	0.42	0.68	0.165	0.219	0.221	0.72	4.87	2.08	3.18	1
1	6.11	5.48	5.4	0.12	0.108	0.295	0.53	0.8	1.05	0.88	0.56	0.846	0.607	0.865	0.0044
5	2.52	3.75	1.95	25.4	204	71.3	18	101	289	173	24	23.5	204	3.73	5
2.5	2.63	2.52	10.6	1.29	1.36	0.956	0.066	6.83	5.49	4.76	0.051	1.28	5.77	0.0318	2.5
5.41	1.5	1.75	1.68	3.59	2.18	4.41	7	5.43	5.28	5.85	8.6	2.99	1.26	1.42	1.56
394	620	573	585	327	261	373	430	439	371	460	470	220	101	138	509
3.4	21.2	13.3	13	2.43	3.44	6.85	0.44	3.35	5.21	5.34	1.2	18	23.2	69.3	10.6
0.5	0.027	0.0166	0.0235	0.0595	0.0607	0.0679	0.044	0.231	0.343	0.195	0.1	0.0258	0.15	0.013	0.5
5	65.5	56.9	56.5	11.4	5	14.3		19.2	13.8	20.7		16	5	12.8	5
2.95	0.01	0.206	0.01	0.01	0.645	0.01	0.01	0.01	4.21	0.01	0.01	0.01	0.527	0.01	3.22
1.3	0.967	0.966	0.976	0.0424	0.0509	0.0618		0.127	0.155	0.152	0.14	0.807	0.592	0.777	0.95
6.79	18.5		19.5	1.01		0.476	0.3	8.91		9.52		3.04		1.88	19.4
		60.6	60.3	1.25	0.3		0.055	23.6	21.7		7.58	8.77	9.44		
		3.66	4.38	0.03	0.03		0.24	0.003	0.003		0.003	2.98	0.08		
			1.42	5.45				3				2.21			
		7.12	8.91	7.95	5.13			5.76	4.47			8.08	5.03		
		0.005	0.005	0.056	0.1			0.184	0.228			0.106	0.005		
		0.005	0.005	0.461	0.403			0.507	0.459			0.123	0.101		
		14.2	14.5	5.49	4.12		6.78	9.63	9.5		7.95	5.29	8.05		
		1.76	1.74	17.3	20.6		10.43	31.8	27.9		15.88	4.83	3.73		
7.68	8.03	8.06	7.98	7.36	7.23	6.85	6.49	6.97	7.48	6.76	6.45	7.71	7.8	7.72	7.9
59.8	54.3	54.2	53.2	43.3	37.2	48.1	55.8	51.5	51.7	57.7	60.7	31.5	44.9	35	53.9
	3.7	3.8	3.56	2.47	3.74	4.89		5.18	4.76	5.18		2.67	4.42	3.3	
	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150		<0.150	<0.150	<0.150		<0.150	<0.150	<0.150	
JA	Ja	JA	JA	JA	JA	Ja		JA	JA	Ja		JA	JA	Ja	JA
<0.010	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002		<0.002	<0.002	<0.002		<0.002	<0.002	<0.002	<0.010

	Brønn 10				Brønn 11		Brønn 12			Brønn 13			
10.04.2013	02.10.2013	04.07.2013	06.06.2013	10.04.2013	02.10.2013	10.04.2013	02.10.2013	04.07.2013	10.04.2013	10.04.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013
113	121	141	133	114	157	153	163	200	201	134	128	142	118
1.7	8.5	0.5	0.7	0.95	220	14	12.9	20.1	6.8	1300	640	1410	2910
2.8	3.37	5.15	3.48	6.2	3.44	3.6	3.02	2.95	1.5	2.5	8.54	9.81	7.53
9	16.5	15.3	13.6	20	6.95	8.3	14	11.5	10	7.4	7.3	7.75	7.35
16	5.51	4.8	5.01	7.4	9.82	7.5	10	15.3	4.8	8.7	10.2	10.1	9.99
0.83	3.3	7.81	4.67	4.5	11.2	9.5	1.07	1.19	3.8	2	7.32	5.91	8.44
0.62	0.05	0.171	0.025	0.11	0.522	0.35	0.675	0.642	0.17	0.11	0.582	0.612	0.557
250	81.8	64.8	60.9	69	239	280	310	236	310	120	139	120	125
0.0076	0.0221	0.0398	0.0248	0.02	0.105	1.1	0.0157	0.0241	0.064	0.0065	0.0034	0.0103	0.0032
0.94	0.111	2.65	1.53	0.3	0.749	8	1.92	2.84	0.2	0.029	0.121	0.251	0.373
0.015	0.047	0.005	0.005	0.015	0.113	0.015	0.028	0.0468	0.05	0.015	0.133	0.132	0.118
0.18	1.09	0.722	0.368	0.23	2.47	16	0.489	2.28	5	0.37	0.66	0.871	0.278
970	20.3	332	173	350	875	710	1750	1240	520	160	6.23	429	1120
11	3.2	6.85	3.76	13	1.28	17	1.39	1.05	0.33	0.58	6.25	5.79	1.91
0.88	7.35	60.8	62	4.6	2.08	48	4.7	6.33	4.7	0.41	2.49	2.72	2.46
1	0.5	0.5	0.5	1.3	11.2	2.6	2.04	8.79	2.6	5.3	28.7	36.5	108
0.056	1.74	4.02	1.26	0.048	2.01	0.1	0.377	0.233	0.056	0.042	0.104	1.69	3.9
5.7	4.4	4.81	3.97	3.9	4.64	4.3	5.56	5.67	3.4	3.4	3.26	3.91	3.58
530	1870	1520	1170	2500	1060	980	2060	1240	960	560	676	640	659
0.76	3.95	7.58	8.09	0.48	3.72	10	3.63	8.78	1.5	0.85	3.76	2.33	1.53
0.0061	0.143	0.128	0.167	0.13	0.195	0.34	0.0822	0.0667	0.07	0.051	0.0863	0.109	0.171
	30.6	20.5	25.3		59.5		92.7	77			27.1	20.8	26
0.01	0.01	0.263	0.01	0.01	0.01	0.007	0.01	0.468	0.01	0.01	0.01	1.24	0.01
1.3	2.84	3.88	4.39	1.6	0.749	23	4.55	7.53	3.4	0.79	2.73	0.74	0.218
9.6	19.1		18		21.6	25	42.4		39	28	11.7		13.9
30.36	58.1	46.8		68.9	64.4	76.7	131	159	122	87.8		23.1	41.1
0.3	20.5	25.1		22.24	0.03	1.13	0.03	0.03	0.61	1.43		0.03	0.03
	0.205				0.811		0.07						1.32
	37.1	51.3			2.53		0.5	0.51				2.29	2.67
	0.005	0.005			0.005		0.005	0.005				0.016	0.023
	0.046	0.486			0.228		0.02	0.033				0.222	0.342
15.3	19	20.3		21.2	16.9	14.2	13.7	22.1	11.2	16.2		18	17
1.56	1.45	1.2		1.49	24	8.71	7.1	8.9	9.32	2.6		20.8	22.2
7.46	7.79	7.92	7.67		7.08		7.45	7.55		7.24	7.74	7.97	7.84
58.9	70.4	83.9	81.9	76.8	82.2	77.5	85.4	105	96.1	70.4	76.5	75.9	72.7
	5.36	5.33	5.24		7.79		7.79	8.11			6.72	7.38	6.75
	<0.150	<0.150	<0.150		<0.150		<0.150	<0.150			<0.150	<0.150	<0.150
	JA	JA	Ja		JA		JA	JA			Ja	JA	JA
	<0.002	<0.002	<0.002		<0.002		<0.002	<0.002			<0.002	<0.002	<0.002



Grunnlag for interne grenseverdier

i lys av geokjemisk statistikk og utlekkingsstestar



Generelt

I samband med ny Rv 4 Gran grense – Jaren legg Statens vegvesen stor vekt på gode og systematiske rutiner for klassifisering av bergarter. Det er generelt viktig å merke seg at:

- Alunskifer og ein type svartskifer (Galgebergledet) i området Gran-Jaren er *potensielt* syredannande, men er *ikkje syredannande* dersom dei blir handterte på riktig/optimal måte. Det er oksidasjon av jernsulfid, hovudsakleg pyritt (FeS_2), som er årsak til forsuring ved at det blir danna svovelsyre.
- Slik forsuring er avhengig av a) total innhaldet av jernsulfid, b) forvitringstilstand (forvittra overflatenær alunskifer er alltid meir syredannande enn uforvittra), c) kornstorleik (synlege aggregat av svovelkis er alltid mindre reaktive enn mikroskopisk jernsulfid), d) grad av nedknusing (syrepotensialet aukar med grad av nedknusing/fragmentering).
- Tungmetallpotensialet er definitivt størst dersom tilgang på luft og vatn fører til oksidasjon av jernsulfid. Årsaka er at fleire tungmetall (m.a. Zn, Cd, Ni og Cu) er knytt til sulfid, og graden av tungmetallmobiliseringa er derfor sensitiv på sulfidoksidasjon.
- Ein del tungmetall, inklusive uran, blir i nokon grad mobiliserte frå alunskifer m.m. sjølv ved nær nøytral pH. Mobiliteten aukar likevel kraftig ved forsuring, fordi svovelsyre bidrar til nedbryting av silikatminerala slik at vatn kan reagere raskare. Dersom sulfidoksidasjon blir omfattande vil desse tungmetalla bli meir mobile.

Statens vegvesen legg derfor stor vekt på og oppretthalde ein nær nøytral pH i vatn i kontakt med alunskifer og svartskiferen frå Galgebergledet.

Klassifisering av bergartar/ interne grenseverdier basert på geologisk kartlegging, stratigrafi, totalkjemi, mineralogi og utlekkingsstestar

Bakgrunns materialet for Statens vegvesen si klassifisering er:

- NGI sitt system for geokjemisk klassifisering av den Kambrosiluriske lagrekka (litologisk og geokjemisk stratigrafi), inklusive 108 geokjemiske analysar av prøver frå Gran.
- Utlekkingstestar (tungmetall, uran m.m.) utført på 18 typiske prøver (Statens vegvesen/NORWAT og UMB).
- Mineralidentifikasjon ved røntgendiffraksjon (XRD) utført på 15 typiske prøver (Statens vegvesen/Naturhistorisk Museum)
- Geologiske kartlegging/registrering (fokusområder)

NGI dokumenterer innhaldet av forureinande tungmetall, svovel m.m. i ulike variantar av alunskifer og svartskifer, samt tilsvarande i ikkje-forureinande bergartar. Fordi dette er basert på stratigrafi og bergartskjemi, er det muleg og samanlikne eigenskapane til dei spesifikke sedimentære laga på Gran med erfaringar av same lag i heile Oslo-regionen (Endre 2013)

Utlekkingstestane (både sekvensiell ekstraksjon og utlekking over tid ved varierende pH) viser kor høge konsentrasjonar av tungmetall, sulfat m.m. dei ulike bergartane kan gi. Bergartar frå dette datasettet er også analyserte både kjemisk og mineralogisk ved XRD. Dette har gitt innsikt i korleis mineralsamansetninga verkar inn på avrenningspotensialet frå svarte skifrar, alunskifer og uproblematisk kalksteinar og skifrar (Fjermestad 2013, Helmers 2013).

Etablering av interne grenseverdier med tanke på sikker lagring av alunskifer, svartskifer og blandinger med andre uproblematisk bergartar

NGI sine totalkjemiske analysar av alle bergartane på Gran representerer eit svært godt statistisk grunnlag, som samanstillt med utlekkingsstestane har gitt eit unikt grunnlag for å sette opp interne grenseverdier. Dei interne grenseverdiane vil vere Statens vegvesen sitt reiskap for å oppfylle ytre krav (grenseverdier godkjent av Fylkesmannen m.m.).

Vi konstaterer også at det er mykje kalkstein og kalkførande skifrar på Gran som gir stor bufferverknad mot forsurening. Dette er ein stor fordel som vi vil utnytte der forholda ligg til rette (sjå under). Ein gjer merksam på at kalking har svært god effekt med tanke på å hindre utlekking av tungmetall frå norsk alunskifer.

Geologiske forundersøkingar viser at det vil bli ein del blanda salver av uproblematisk kalkrike bergartar og meir/mindre problematisk svartskifer og alunskifer. Ein del blanda salver med svartskifer vil ha så lågt innhald av tungmetall og svovel at dei vil falle under dei interne grenseverdiane.

Aktiv bruk av håndholdt XRF gjer oss i stand til å:

- dokumentere totalkjemisk innhald i alle massar som skal lagrast under reduserande forhold i samband med masseutskiftinga i myra sør for Granstunnelen
- frikjenne blandingsalver som ligg under grenseverdiane

Alle analysar med XRF er semi-kvantitative. Grundig uttesting av instrumentet på førehand har gitt grunnlag for å estimere usikkerheit. Vi legg generelt til grunn at alle salver og blandinger som blir frikjente skal ha tungmetall konsentrasjonar og syrepotensiale som ligg signifikant under våre interne grenseverdier.

Grunnfilosofi bak interne grenseverdier og utlekkingspotensial

Grenseverdier er basert på totalkjemisk samansetning, og er etablerte slik at:

- Alunskifer formasjonen (pr. definisjon forureinande masse) er alltid over grenseverdi. Ein har likevel sett bort frå uteliggjarar som har same verdier som ufarlege kalksteinar m.m.)
- Erfaringsmessige uproblematisk bergartar (kalksteinar, kalkskifrar og svartskifer tilhøyrande etasje 4a) plasserast under grenseverdien.
- Svartskifer av type Galgeberg (3bβ) blir liggande over og under grenseverdien.

Totalkjemisk analyse (bulk berg) samsvarer godt med resultatane frå utlekkingsstestane. Det er generelt høg bufferevne i berg og lausmasser på Gran, og pH-verdier i bekker og grunnvatn ligg for det meste i intervallet 7-8. Utlekkingsstestane er utført under ulike vilkår inklusive pH ned til 2, og utlekking av tungmetall aukar kraftig mot lågare pH. Det er ingen grunn til å tru at utlekkingsdata frå pH < 5 er relevante for forholda på Gran. Vi legg til grunn utlekkingsdata frå pH ned til 5, som bør reknast som konservativt. Vi tar også generelt sikte på kalking for å unngå pH < 7.

Kjemisk bakgrunn for etablering av interne grenseverdier og sortering

Massar frå borprøvene skal analyserast for total-kjemi og konsentrasjonen av visse karakteristiske grunnstoff vil danne eit grunnlag for å klassifisere bergartane. Ein handholdt XRF skal nyttast i dette registreringsarbeidet. Instrumentet måler konsentrasjonane av alle grunnstoff tyngre enn natrium (Na) på ein lettvinnt måte. Innhaldet av dei forureinande metallar uran (U), bly (Pb), kadmium (Cd),

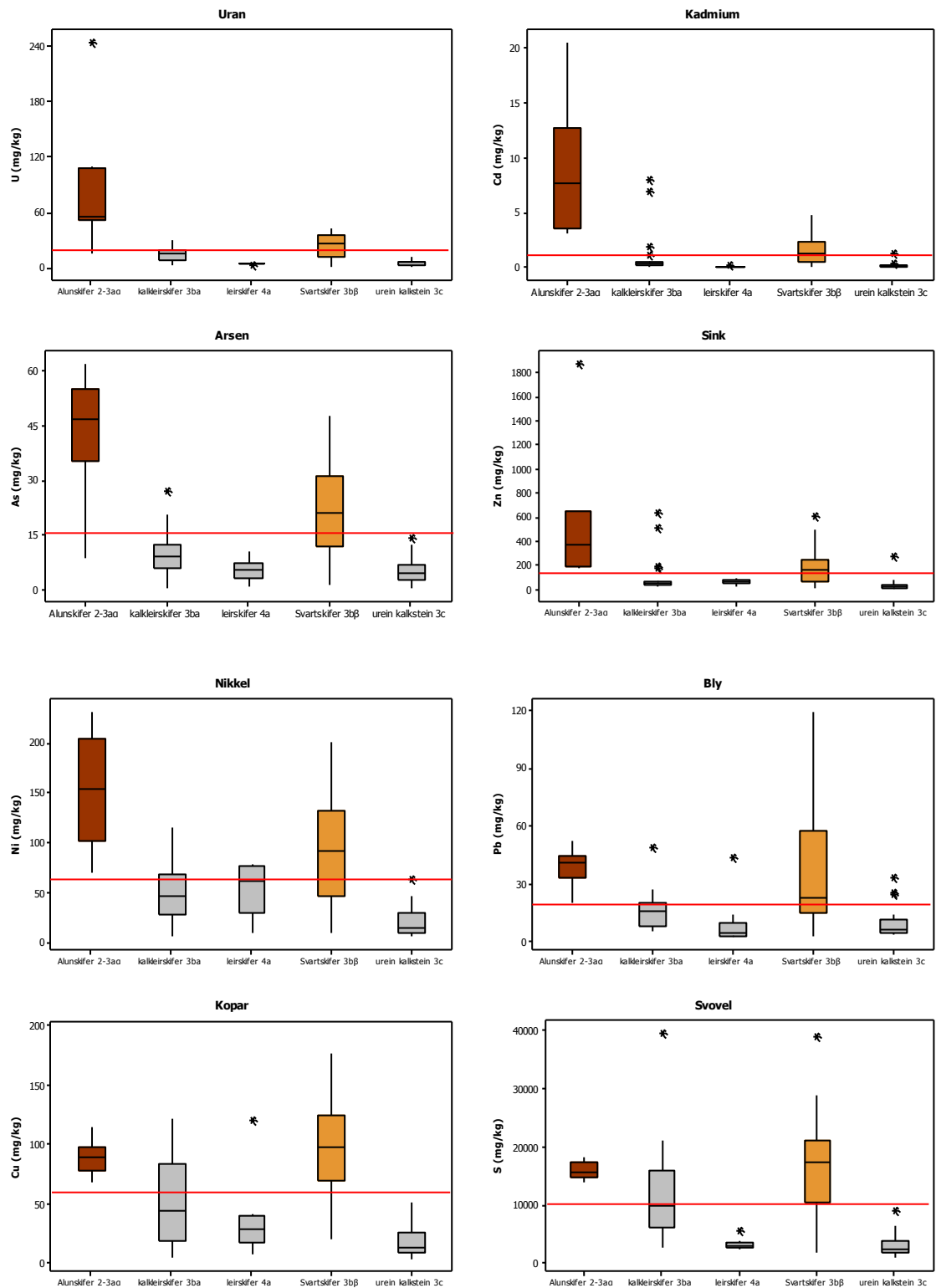
arsen (As), sink (Zn), kopar (Cu) og nikkel (Ni) i bergartane vil indikere om dette er ein skifer som skal deponerast eller ikkje. Innhaldet av desse metalla er generelt høgare i alunskifer enn i dei meir kalkhaldige bergartane i området. Analysar av svovel- og kalsiuminnhaldet (S og Ca) er i tillegg viktig for å estimere syrepotensialet til skiferen. I arbeidet med å sortere ut massar til deponiet må ein i tillegg ha kunnskap om geologien i området, og kunne identifisere dei ulike hovudbergartstypene. Alunskiferformasjonen skal i hovudsak deponerast. Truleg vil også mykje av svartskiferen frå Tøyenformasjonen, Galgeberg (3bβ) også vere problematisk. Denne bergarten viser ein stor variasjon i tungmetallinnhald og vil difor i fleire tilfelle kome over grenseverdiane for tungmetall. På grunn av ei anna fordeling av sulfida og ei større mekanisk fastheit er slike svarte skifrar generelt mindre reaktive enn alunskifer, og har difor eit lågare forureiningspotensiale.

Grenseverdiane for maksimalt innhald av aktuelle grunnstoff i bergartane er gitt i tabell 1. Grenseverdiane er fastsett basert på det kjemiske variasjonsområdet til alunskifer og svartskifer (3bβ) i området, der analysar av totalkjemi i borkjerner (NGI) er lagt til grunn. Figur 1 og 2 illustrerer grunnlaget for grensesettinga. Samanlikna med MDs grenseverdier for sediment (vegleiar 1997) er grenseverdiane plassert i klasse 1 eller 2 (ubetydelig og moderat forureina).

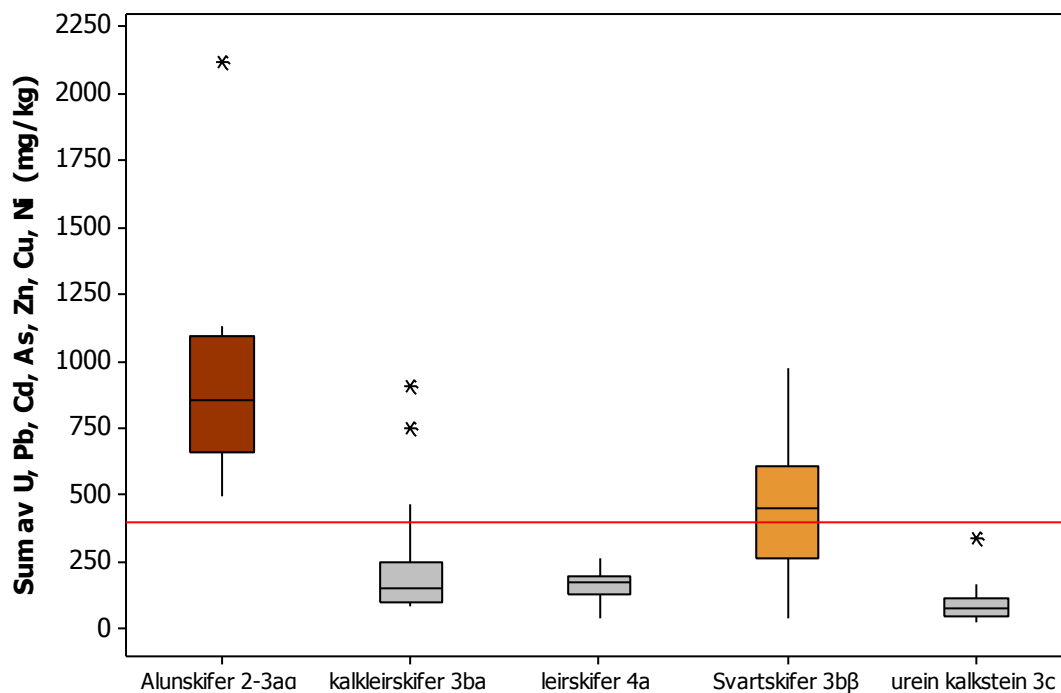
Tabell 1. Interne grenseverdier for og skilje ut og sortere skifermassar. *) Ref. Endre(2013)

Grunnstoff	Registrerte verdier i alunskifer på Gran (analysar av borprøver - NGI) (n= 8)	Interne grenseverdier (fargekodar etter MD sine grenseverdier i sediment)	Kommentar -Mobilitet i pH intervall 5-8 ligg til grunn
S	13.700 – 28.200 mg/kg	10.000 mg/kg	Alunskifer med denne mengda er meir problematisk enn svartskifer-Galgeberg 3bβ med same innhald
Cu	67,2 – 114 mg/kg	60 mg/kg	Låg mobilitet i utlekkingsstest
Ni	70 - 231 mg/kg	70 mg/kg	Moderat mobilt i utlekkingsstest
As	8,46 – 62 mg/kg	15 mg/kg	Låg mobilitet i utlekkingsstestar
Cd	3,07 – 20,5 mg/kg	1 mg/kg	Høg mobilitet i utlekkingsstestar
Zn	177 – 641 mg/kg	150 mg/kg	Høg mobilitet i utlekkingsstestar
Pb	19,8 – 52,1	20 mg/kg	Moderat mobilt i utlekkingsstest
U	15,6 – 244 mg/kg	25 mg/kg	Moderat til høg mobilitet i utlekkingsstest Sams masse under 1 Bq/g*)
Sum tungmetall (Cu, Ni, As, Cd, Zn, Pb og U)	495 – 2118 mg/kg	400 mg/kg	Sum av grenseverdier = 341 mg/kg

Dersom ein slår saman konsentrasjonane av dei forureinande metalla U, Pb, Cd, As, Zn, Cu og Ni kan ein grenseverdi på 400 mg/kg brukast for å klassifisere potensielt forureinande og deponipliktig skifer. Dette er illustrert i figur 4. Grenseverdiane kan justerast opp eller ned ettersom nye erfaringar og ny kunnskap kjem fram.



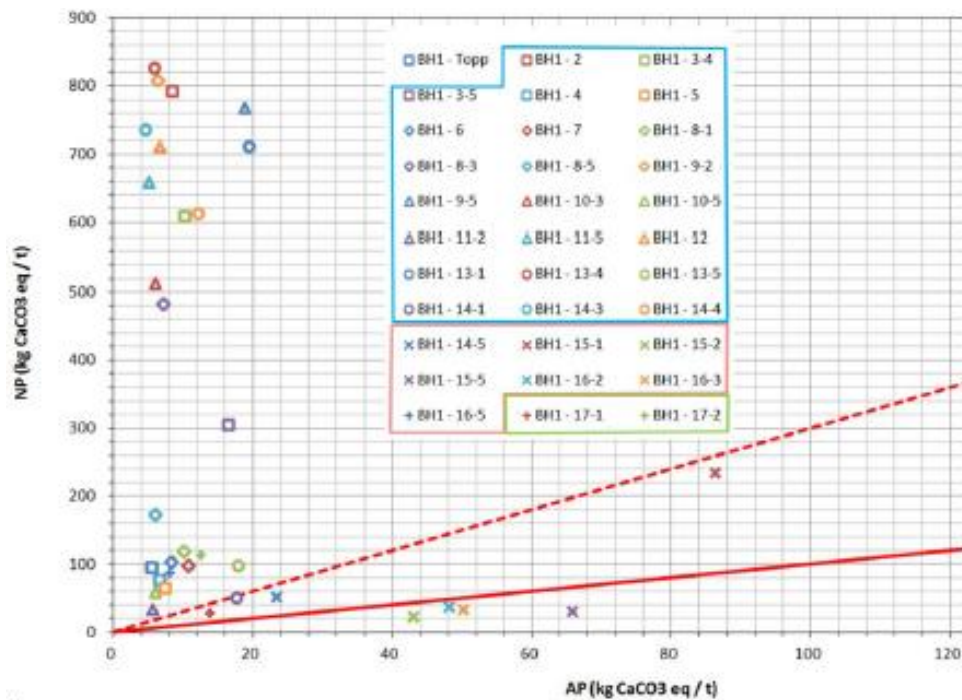
Figur 1: Innhold av forureinende metall i bergartar på Gran (basert på målingar av NGI, n= 8, 19, 10, 42 og 29 for dei respektive bergartane). Grenseverdiene for sortering av massar er merka med ein raud strek. Uteliggjarar (verdiar som avviker frå resten av dataa) er markert med stjerner. Boksen representerer 50 % av prøvane, medan medianen er illustrert ved ein strek inne i boksen



Figur 2. Innhold av dei forureinande metalla U, Pb, Cd, As, Zn, Cu og Ni. Basert på data av NGI (2013) Den raude streken er grenseverdien satt for totalt innhald av tungmetall (U, Pb, Cd, As, Zn, Cu og Ni) i bergartane. Grenseverdien skal vere til hjelp for å klassifisere potensiell forureinande alunskifer og svartskifer. Sjå figur 1 for forklaring av plottet.

Syrepotensial

For å klassifisere bergartar med eit høgt syrepotensial er forholdet mellom kalsium og svovel i bergartane viktig. Sidan mesteparten av kalsiumet er bunde som kalsiumkarbonat og svovelet i hovudsak er bunde som sulfid, vil forholdet mellom desse elementa gje eit bilete av det syredannande- og syrenøytralisierende potensialet i bergarten. NGI er i gang med å lage eit system som karakteriserer syreproduserande skifer på denne måten, der kalsium og svovel er hovudkomponentane for bestemming av syrepotensialet. I figur 3 er NGI sitt system illustrert for prøvar i ei borkjerne på Gran. Prøvar som havnar under ei gitt grense vil klassifiserast som syreproduserande. Dette systemet skal takast i bruk så snart det er tilgjengeleg frå NGI.

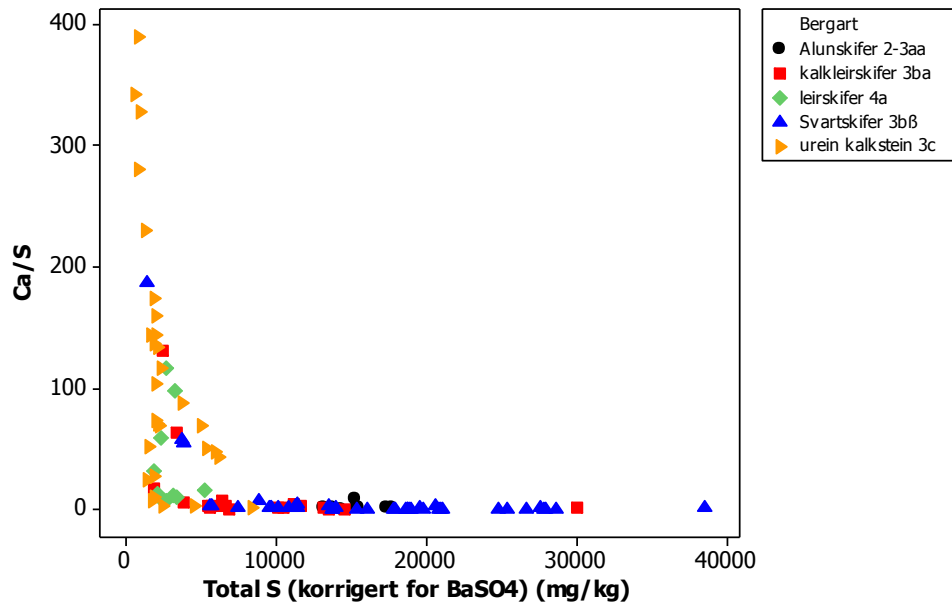


Figur 3. Syredannende potensiale og syrenøytraliserende potensiale for ei borkjerne på Gran. Figuren er basert på NGI sitt klassifiseringssystem for deponeringspliktig svartskifer. Prøver under den raude streken er sikre syredannende bergartar.

Innhaldet av svovelkis (FeS_2) er avgjerande for kor mykje svovelsyre som kan bli danna, og mengda av miljøskadelege reaksjonsprodukt. I tillegg kan innhald av magnetkis (FeS) ha betydning for kor raskt forvitningsprosessen kan kome i gang. I svært mange tilfelle på Gran vil total svovel reflektere innhaldet av kismineral. Men lokalt er det også bunde til lettløseleg anhydritt (CaSO_4) og tungt løyeleg barytt (BaSO_4).

I tillegg til NGI sitt system for syredannende potensial er ein rettleiande grenseverdi på totalt S føreslått til å ligge på eit nivå rundt 1 % svovelinnhald (10 000 mg/kg). Grenseverdien ligg slik at all alunskifer og 75 % av svartskiferen undersøkt vil kome over. Ein stor del av kalkleirskifer 3b α vil også komme over denne verdien. Denne skiferhorisonten er ikkje tidligare karakterisert som problematisk, men i følge figur 4 kan syrepotensialet likevel vere høgt. Ein grenseverdi på 1 % S treng ikkje vere problematisk for alle skifrar. Ulik struktur i skifrane kan gjere at forvitningsprosessane og dermed syreproduksjonen blir forskjellig sjølv om totalkjemien er lik. Alunskifer med 1 % svovel vil vere problematisk, medan svartskifer (Galgeberg 3b β) med det same innhaldet kan vere lite reaktiv. Syrepotensialet basert på totalinnhald må derfor også sjåast i samanheng med innhaldet av tungmetall og formasjonstype når ein skal vurdere ulike typar svartskifrar til deponi.

Det må også presiserast at fleire av skifrane som er definert som syreproduserande ved denne framstillinga ikkje viste syreproduksjon ved laboratorieforsøk der pH 4-8 vart tilsett kalksteinar (3c og 4a) og svartskifer av typen 3b β over 1 mnd kontaktid (Helmers 2013).



Figur 4: Syrepotensiale for bergartar på Gran (data basert på prøvar frå borkjerner, Erik Endre, NGI). Total-kjemi av S indikerer mengde sulfid i bergarten, men noko kan også vere bunde i tungt løyseleg $BaSO_4$ eller i lett løyseleg anhydritt ($CaSO_4$). Desse minerala bidreg ikkje til syreproduksjon. I våre analysar av syrepotensiale har me korrigert for $BaSO_4$. Bergartar nedst til høgre i figuren vil ha det største syredannande potensialet.

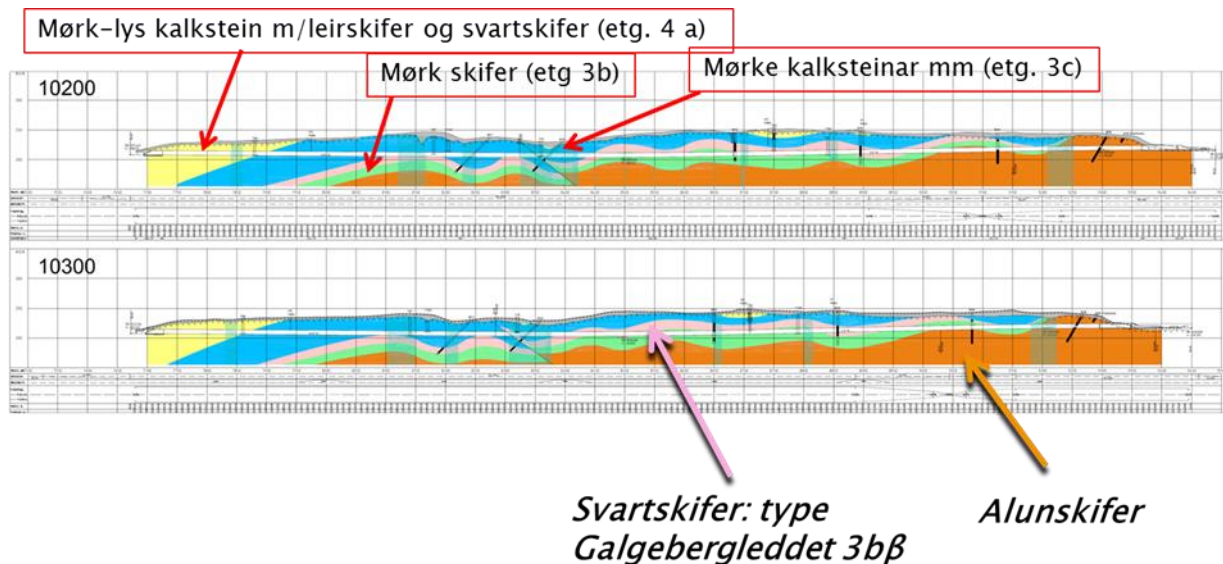
Prosedyre på stoff

Sortering basert på rutinemessig geologisk kartlegging, prøvetaking og kjemisk analyse under anleggsdrifta:

På grunn av sterk grad av omrøring ved sprenging er det svært lite realistisk å sortere ut problematisk skifer innan enkeltsalver. Klassifiseringa vil gå føre seg framfor stoff, slik at entreprenør kan kjøre dei utsprengte massane til rett stad raskt etter at salva har gått (til masselager i myr eller for annan bruk i anlegget). Klassifiseringa bygger på:

- Nøyaktig kartlegging av geologien i ferdigsprengt tunnel fram til stoff, med stor vekt på å skilje mellom dei viktige bergartane og med gode strukturgeologiske målingar (strøk/fall av bergartsgrenser, skyvesoner, etc).
- Suksessiv oppteikning på tunnelkart korleis bergartane forløper i begge tunnelane, sett i lys av borparametrar frå rigg.
- Kjerneboring 50 m framfor stoff i helgene, med kjernelogging. Dette gir ein oversikt over bergartar og bergartfordeling for ei heil veker tunnelproduksjon. Teiknast inn saman med geologien på kart.
- Uttak av representative kjernebitar for kjemisk analyse med handholdt XRF for klassifisering ihht interne grensverdiar.
- For kvar salve: uttak av representative borekaks for meir nøyaktig XRF analyse og endeleg klassifisering av salva.

På førehand er det ved hjelp av geologiske kart og feltkartlegging blitt kartlagt kor det kan opptre alunskifer og anna reaktiv svartskifer. Figur 5 illustrerer kva bergartar ein forventar i tunnel-løpet. Det er likevel ein del usikkerheit og derfor nødvendig med nøyaktig oppfølging i tunnelen.



Figur 5: Lengdeprofil av Grantunnelen og bergartstypene den vil skjære gjennom. Basert på geologiske tolkningar og kjerneboringa (Multiconsult 2013).

Kjerneboringar på 50 m inn i tunnellopet gjev oversikt over geologien framover i tunnellopet, normalt i eitt løp, men tidvis også i begge løpa. Borkjernane skal analyserast med XRF for kjemisk innhald måndag morgon, samstundes som geologien blir kartlagt. Desse analysane gjev grunnlag for detaljert oppfølging på stoff påfølgjande veke.

Kontrollingeniørane blir opplærde i å kjenne igjen dei ulike bergartane og deira stratigrafiske plassering. Det vil bli etablert ein fast rutine for prosedyre straks vi er inne i ordinær tunneldrift.

Bruk av XRF

XRF-analyser av borkaks frå sonderboringane skal danne grunnlaget for den endelege vurderinga av massane frå kvar salve. Sonderboringane går 20 m fram og 1 til 2 borkjernar skal analyserast før salva blir sprengt. Om nødvendig kan ein også supplere med analysar av borkaks frå injeksjonsboringar. Der det er massar som berre inneheld små mengder alunskifer/svartskifer, og som har gode buffereigenskapar, kan det bli tatt ytterlegare prøver for å vurdere om alternativ til deponering er mogleg. Så lenge det ikkje er stort innslag av svartskifer kan vi som regel frikjenne salva. Ved tvil skal alltid sikraste løysing veljast.

For å få ei grov oversikt over totalkjemi kan XRF nyttast direkte på borkjernene. Slike målingar gjev derimot store usikkerheit, og er ikkje gode nok for ei sikker bestemming. Dei mest nøyaktige resultatata får ein ved ei preparering av prøvematerialet før analysen.

Steinprøvene må vere tørre før analyse. Uttak av eit representativt utval til analyse skal bli gjort ved ein prøvesplittar, som deler prøvematerialet i passe storleikar. Deretter blir prøven knust til eit fint

pulver i ein agatmorter, før den blir overført til eigna prøveholdarar. Kvar analyse ved XRF tek omtrent eitt minutt.

Analysedata blir automatisk lagra i ei excel-fil som deretter blir overført til eit nytt excel-ark. Her blir data satt inn i eit system som kan klassifisere kva type bergart som er analysert. For å vurdere om massane skal til deponi vil også grenseverdiane for innhald av tungmetall vere viktige. Alle data blir lagra i overordna system for ettertida.

XRF-en skal regelmessig kalibrerast, og fleire skal lærast opp i å nytte XRF-en til analysar.

Grenseverdier i vatn for anleggs- og driftsfasen

Grenseverdier for forureinande metall skal ikkje overskride Tilstandsklasse III (ferskvassvegleiar KLIF 2013) i anleggsfasen. Konsentrasjonar i denne klassen kan vere toksiske ved langtids-eksponering, men i vårt tilfelle vil slike konsentrasjonar berre gjelde i ein kortvarig periode. Ved drift skal klasse II gjelde, med eit langsiktig mål om å kome tilbake til naturtilstanden.

Bakgrunnsmålingar

Fleire data ligg til grunn for å seie noko om naturtilstanden i vassmiljøet på Gran. Dette omfattar prøvetakingar i Vigga og to små bekkar på Gran 27.10.11 og 19.04.12 i tillegg til grunnvassanalysar gjort i samanheng med pumpetesting av deponiområdet (10.04.13 – 02.10.13). Etatsprogrammet NORWAT har også bidrege med detaljert informasjon om førtilstand i vassresipienten Vigga og fleire bekker som renn ut i Vigga og Jaren. Materialet frå NORWAT blir undersøkt ved UMB og omfattar vatn, botndyr, fisk m.m. Det vil bli utført nye undersøkingar i resipienten etter at anlegget har vire i gang 1-2 år, slik at ein kan sjå på mulege effektar. Ein vil blant anna ta i bruk Biotic Ligand Model.

Tilstandsklassane brukt i klassifiseringa av vasskvaliteten er henta frå «Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeiding av miljøstandardar og klassifisering av miljøgifter i vatn, sediment og biota» (KLIF TA-3001, 2013) om ikkje anna er spesifisert.

Målingane i Vigga viste vasstilstandar som var gjennomgåande god til moderat (tilstandsklasse II-III) når det gjaldt innhald av tungmetall. For total fosfor og jern var målingane veldig variable frå haust til vår med svært låge nivå i aprilmålinga (klasse I) og høge nivå i april (klasse V) (SFT-vegleiar 1997).

Bekk 1, som drenerer i eit jorddekkta område med alunskifer i grunnen, viste gjennomgåande dei høgaste verdiane av tungmetall. Særleg gjaldt dette sink (tilstandsklasse IV) og nikkel (tilstandsklasse III) i tillegg til kadmium (tilstandsklasse III). Innhaldet av uran var også merkbar høgt, og nådde ein verdi på 90 µg/L (WHO sine retningslinjer for drikkevatt har føreslått ein grenseverdi på 30 µg/L). Bekk 1 har i tillegg høge verdier av jern og mangan med respektive verdier i klasse V og IV (SFT-klassifisering 1997), medan fosfor har verdier i tilstandsklasse IV.

Bekk 2 renn gjennom både eruptivbergartar og alunskifer, og dei to målingane her viste ein stort sett samanliknbar tilstand med Vigga, bortsett frå litt høgare nitrogeninnhald og litt lågare innhald av bly og sink, samt noko høgare uraninnhald, ca. 9 µg/l mot ca. 2 µg/l i Vigga.

Analysar frå observasjons-brønnane på myrområdet viser generelt låge verdier av Cu, As, Cd og U. Det er målt tidvis høge verdier for Ni, Zn og Pb. For Ni er fleire prøvar registrert i klasse III (1,7 -34

µg/L) To i klasse IV, (34 -67 µg/L), medan ei måling er registrert i klasse V (>67 µg/L). Også for Zn er det registrert forhøgde verdiar i tilstandsklasse IV og V, (> 11 µg/L). Den høgste verdien er målt til 144 µg/L. Nokre blyverdiar er registrert i tilstandsklasse III og IV (1,3 – 34 µg/L).

Tabell 2. Forslag til ny vegleiar for miljøklassifisering av ferskvatn (KLIF 2013). Stoff prioritert av EU er merka med *. Grenseverdiane er oppgjevne i µg/L.

Stoff	Cas nr.	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
		Bakgrunnsdata	AA-EQS	MAC-EQS	Akutt tox uten AF	Omfattende akutt tox eff.
Metaller						
Kadmium hardt vann *	7440-43-9	0,03	0,19	1,5	15	>15
Kadmium bløtt vann *	7440-43-9	0,03	0,08	0,45	4,5	>4,5
Nikkel *	7439-92-1	0,5	1,7	34	67	>67
Kvikksølv *	231-16-7	0,001	0,05	0,07	0,7	>0,7
Bly *	7440-02-0	0,05	1,3	14	57	>57
Sink	7440-50-8	1,5	11	11	60	>60
Kobber	7440-66-6	0,3	7,8	7,8	78	>78
Arsen	7440-38-2	0,15	4,8	8,5	85	>85
Krom-tot	1333-82-0 7775-11-3 10588-01-9 7789-09-5 7778-50-9	0,2	3,4	3,4	360	>360

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids eksponering	Akutte toksiske effekter ved korttidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNEC _{akutt}	Øvre grense: PNEC _{akutt} * AF ¹⁾	

1) AF: sikkerhetsfaktorer

Grenseverdier

Grenseverdiane for utslipp til vatn er sett på omtrent same nivå som i det øvre området av det som er målt i bekkar og i Vigga tidligare. Fleire av desse er høgare enn tilstandsklasse III i ferskvassvegleriaren, 97.04, men viser altså til kva som (nokre gonger) kjem ut i resipienten av naturlege årsaker. Vegleriaren skal erstattast med ein ny. I vurderingane brukar vi derfor «Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeiding av miljøstandardar og klassifisering av miljøgifter i vatn, sediment og biota (KLIF TA-3001, 2012)». Denne klassifiserer vatn i fem klassar. Sidan det er naturlege høge konsentrasjonar i bekkar i området er klasse III moderat nytta for utslipp i anleggsfasen. I driftsfasen blir grenseverdiane satt ned til klasse II.

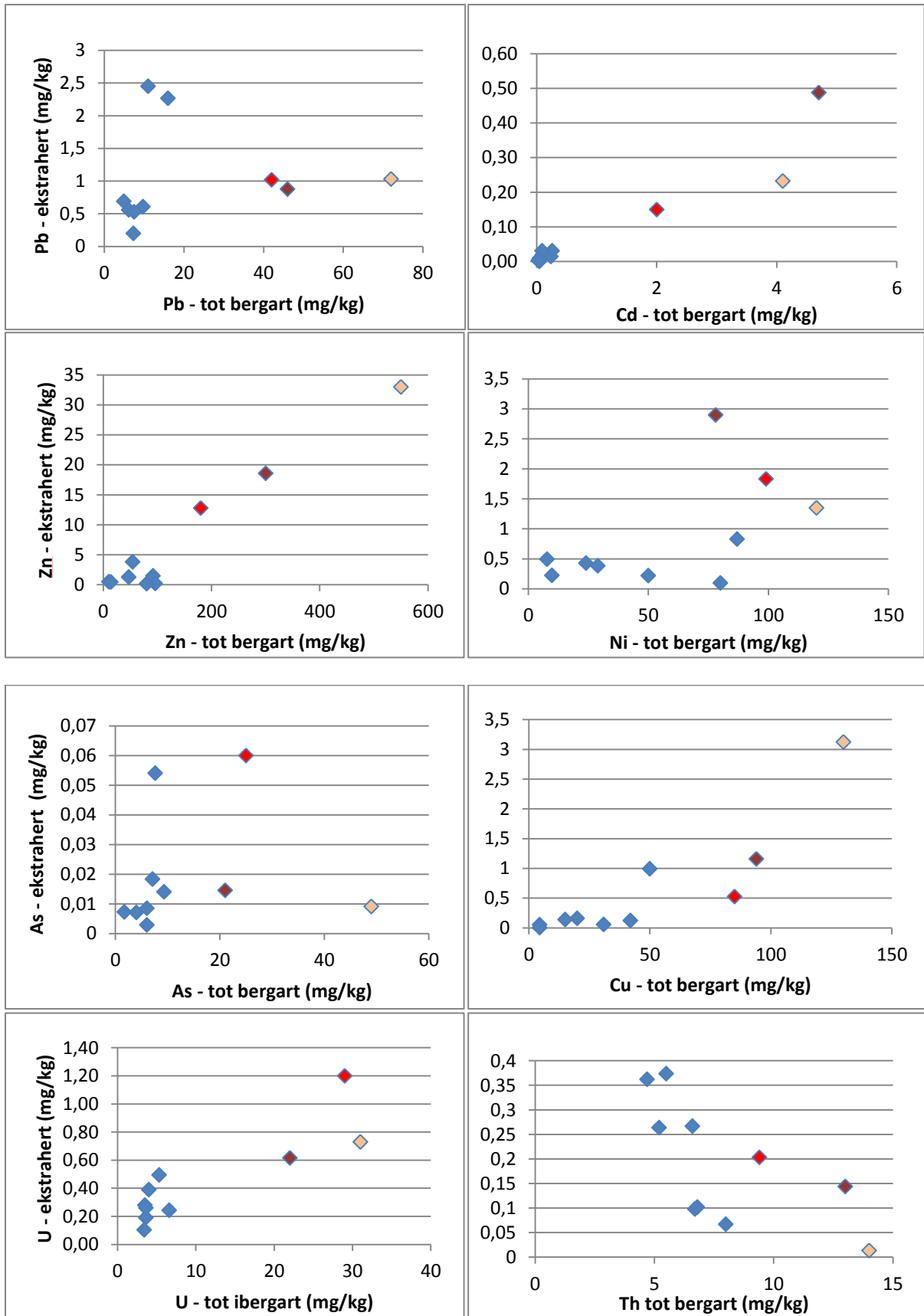
Tabell 3. Grenseverdier for anleggs- og driftsfasen. Basert på grenseverdier etter KLIF 2013.

Parameter	Klasse II	Klasse III	Foreslått grenseverdi anleggsfase	Foreslått grenseverdi driftsfase
Arsen (As)	4,8 µg/l	8,5 µg/l	8,5 µg/l	4,8 µg/l
Kadmium (Cd)	0,19 µg/l	1,5 µg/l	1,5 µg/l	0,19 µg/l
Krom (Cr)	3,4 µg/l	3,4 µg/l	3,4 µg/l	3,4 µg/l
Kobber (Cu)	7,8 µg/l	7,8 µg/l	7,8 µg/l	7,8 µg/l
Kvikksølv (Hg)	0,05 µg/l	0,07 µg/l	0,07 µg/l	0,05 µg/l
Nikkel (Ni)	1,7 µg/l	34 µg/l	34 µg/l	1,7 µg/l
Bly (Pb)	1,3 µg/l	14 µg/l	14 µg/l	1,3 µg/l
Sink (Zn)	11 µg/l	11 µg/l	11 µg/l	11 µg/l

Dei potensielle mengdene som kan lekke ut på lang sikt kan vere høge dersom forvitringa får optimale forhold. Eventuelt utslepp av tungmetall vil kome frå berg i tunnelen, og det er først og fremst finstoff frå alunskifer og nokre svartskifervariantar som er mest reaktive. Dette vil avhenge av kjemisk samansetjing av minerala i desse bergartane. Det er vanskeleg å sei noko heilt eksakt om mengder tungmetall som vil bli mobilisert, men utlekkingsrestar på prøvemateriale < 2 mm utført ved UMB i etatsprogrammet NORWAT viser at dei fleste tungmetall kan oppnå høge konsentrasjonar. I blandingar der alunskifer: vann er lik 1: 10 blir Zn (pH=7) 100 gongar og 300 (pH=5) gongar meir konsentrert enn grenseverdien i Klasse III. Cd er tilsvarande 10 og 15 gongar høgare. Verdier over grenseverdiane vil førekomme, men er avhengig av kor mykje vatn som er i omløp. Figur 6 - 13 viser korleis den nemnte testen ekstraherte tungmetall i ulike bergartar ved tilsetjing av ekstraksjonsmiddelet ammoniumacetat ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) med pH 5 til prøvematerialet. Resultata viser at dei forureinande metallar Cd, Zn, Ni, Cu og U fekk ei større utlekking i alunskifer/svartskifrane enn i kalk/leirbergartane. Fleire utlekkingsrestar er under planlegging, og vil gje eit klarare bilete av kva mengder som potensielt kan lekke ut frå alunskifer og svartskifer. Denne informasjonen vil gje eit betre grunnlag for å kunne vurdere dei best moglege renseløysingane.

Tunneldrivinga vil skje i eit avgrensa tidsrom. I anleggsperioden vil det vere etablert beredskap/rensetiltak for m.a. å hindre utslepp av partiklar. I ROS-analysen har Statens vegvesen lagt vekt på bruk av sorbentar der tungmetallkonsentrasjonane ikkje kan reduserast til verdier under grenseverdiane på anna måte.

I driftsfasen vil forholda stabilisere seg, og utslepp av tungmetall via drensvatnet frå tunnelen vil minke. I løpet av 10 - 15 år skal naturtilstanden vere oppnådd.



Figur 6-13 Utlekkingsfigurar frå Sekvensiell ekstraksjon ved pH = 5. (H. Fjermestad 2013). Ammoniumacetat ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) pH 5 vart tilsett 2 mm prøvar av ulike typar bergmateriale i forholdet 1:10. **Raud** = svartskifer 4a, **mørkeraud** = alunskiferformasjonen 2-3a, **lys brun** = svartskifer Galgeberg 3b.

Uran og radioaktivitet

Skiferbergartane og spesielt alunskiferformasjonen på Gran inneheld naturleg forhøgde konsentrasjonar av uran. Uranisotopane er ikkje stabile og vil degradere med radioaktiv stråling til dei oppnår stabilitet. Dette fører følgjeleg til ei høgare naturleg bakgrunnsstråling i områder der uranhaldig skifer er til stades i grunnen. Bergmassar som overskrider Statens Strålevern sin grenseverdi på 1 Bq/g masse, blir klassifisert som deponeringspliktig radioaktivt avfall.

Radioaktiviteten i tunnelmassane på Gran har blitt vurdert i eit teknisk notat av NGI (NGI 20120110-02-TN) der analysar av radioaktivitet av IFE (Institutt for energiteknikk) er lagt til grunn. Vidare kjem ei kort oppsummering av vurderingane i notatet.

Analysane som NGI gjorde av urankonsentrasjonane i Alunskiferformasjonen ved Gran viste, unntatt lokale peakverdiar, ca. 50-60 mg/kg når prøvematerialet utgjorde ca. 10 cm lange borekjerneprøver. Verdiar opp mot 100 mg/kg førekom berre unntaksvis. Den aller høgste verdien for uran i dei kjemiske analysane var på 244 mg/kg, og var ein anrikning i ein konkresjon. Urankonsentrasjonane i Tøyenformasjonen 3bβ var i snitt mellom 30-40 mg/kg.

Urankonsentrasjonane er normalt ikkje jamt fordelt i skiferen, og kan ofte vere anrika i spreidde konkresjonar som vil gje høge analyseverdiar. Målt innhald av uran er avhengig av storleiken på prøvematerialet som blir analysert. Måling på enkeltkorn kan gje konsentrasjonar opp mot 500 (1000) mg/kg og høgare, medan same analyse utført på 200 gram prøve eksempelvis gjev konsentrasjonar på 100 mg/kg. Dette har følgjeleg stor betydning i vurdering av radioaktivitet for eit uttatt volum av slike skifrar.

I enkelte lag i svartskiferen frå Alunskiferformasjonen må ein forvente å finne høgare verdiar for uran. Lokalt i slike lag kan urankonsentrasjonar oppnå endå høgare nivå. Desse laga er det i praksis umogleg å identifisere ved anleggsarbeid. Volumet av desse laga er likevel neglisjerbare i forhold til skifervolumet i byggeprosjektet.

Bergmaterialet med dei høgaste U-verdiane frå NGI sine borprøvar vart analysert for radioaktivitet av IFE. Måleresultata konkluderte med at av fire innsendte prøvar var éin prøve karakterisert som radioaktivt deponeringspliktig avfall. Urankonsentrasjonen i denne prøven var 97 mg uran/kg. Gitt ei sekulær likevekt vil skiferprøvar som inneheld ca. 100 mg uran/kg kunne karakteriserast som radioaktivt deponeringspliktig avfall.

Basert på tilgjengelig analysemateriale reknar ein ikkje med at skiferen i Alunskiferformasjonen, her ved Gran, inneheld konsentrasjonar av uran som tilseier at skiferen skal klassifiserast som radioaktivt deponeringspliktig avfall.

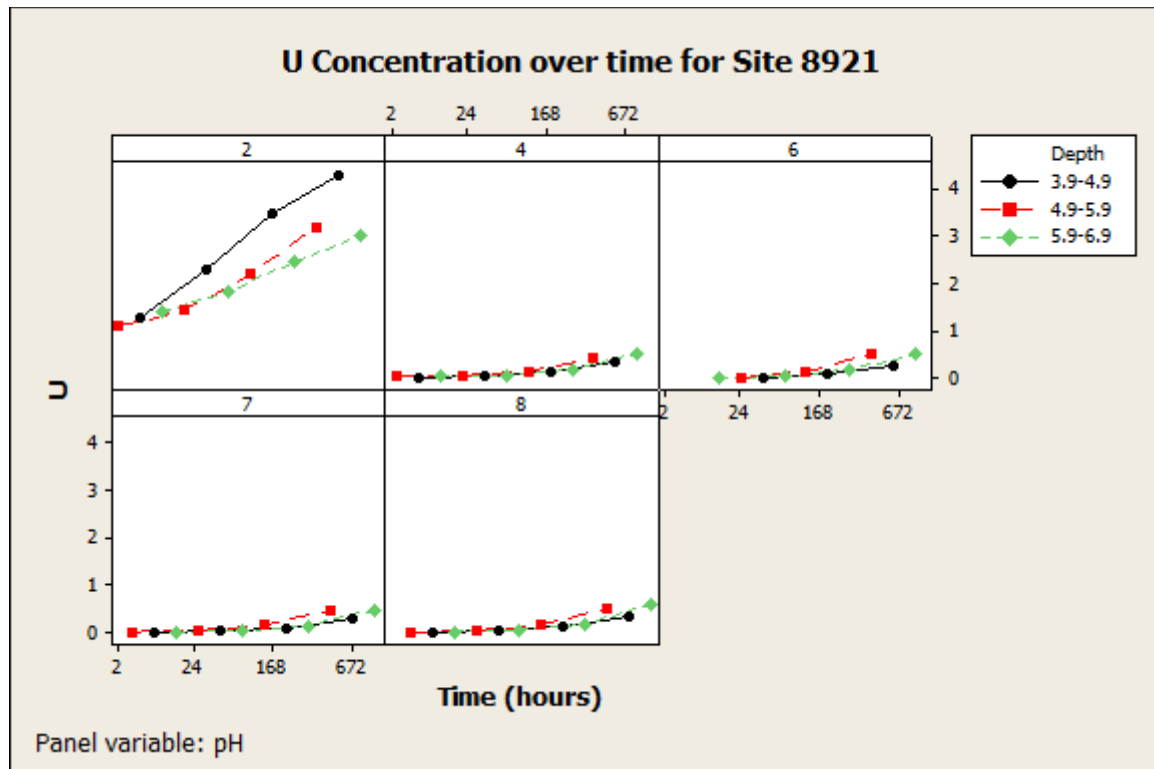
Mobilitet av uran

I to masteroppgåver frå UMB levert våren 2013 (T. Helmers og H. Fjermestad) vart mobiliteten til uran i bergartar på Gran studert ved bruk av utlekkningstestar og sekvensiell ekstraksjon. Materialet brukt var sikta til < 2mm.

Sekvensielle ekstraksjonar utført på materiale av svartskifer frå Gran (alunskifer og svartskifer Galgeberg 3bβ) viste at 2 – 7 % av totalt U i skifrane (0,8 – 2 mg/kg) vart mobilisert tilsaman ved

stegvis tilsetjing av løysningar av ammoniumacetat med pH 7 og 5 til prøvematerialet (2 x 2 timars kontakttid, forhold 1:10 masse-væske).

Utlekkingsforsøk over 1 måned på same svartskifrar løyste ut 0,8 – 7,2 % (0,0015 – 2,1 mg/kg) av uranet ved tilsetjingar av løysningar med pH 8 – 4. Den gode bufferevna i materialet heva pH raskt opp til nøytrale verdiar og hindra dermed ei akselererande utlekking. Ikkje før ein tilsette løysningar med pH 2 til materialet begynte ein å sjå ei aukande utlekking. 10 - 13 % av totalt uran (0,65 – 4,3 mg/kg) vart løyst ut ved tilsetjing av pH-løysning 2 over 1 måned. Figur 14 illustrerer resultata frå utlekkingstesten for svartskifer Galgeberg 3 bβ.



Figur 14. Utlekt Uran frå Svartskifer 3bβ (frå Tøyenformasjonen Galgeberg, med 29-32 ppm uran) over tid ved ulike pH-løysningar tilsett prøvematerialet. Konsentrasjonane er gjevne i mg/kg. Først ved pH 2 aukar utlekkinga nemneverdig (frå Tari Helmers -MSc).

Uran i finkorna skifer materiale på Gran kan ut frå desse forsøka tolkast å vere delvis mobilt, men grad av utlekking er i stor grad relatert til pH og tid. Utlekkingstestane indikerer at opp til 7 % av uranet kan lekke ut over 1 måned ved pH verdiar over 4. Svært lite uran lekte ut dei første 24 timane (0,001 mg/kg – 0,2 mg/kg) ved nøytral pH. På ei veke lekte 0,078 - 1,22 mg/kg ut. På anlegget skal utsprengt materiale transportrast til deponi så fort som mogleg. Slik unngår vi at uran får tid til å lekke ut i vesentlege mengder.

Dei høgaste uranverdiar for prøvematerialet i testane var 31 mg/kg. Vanlege verdiar for alunskifer kan typisk vere 2 og 3 gonger høgre, noko som vil påverke kor mykje som potensielt kan lekke ut.

Resultata frå sekvensiell ekstraksjon indikerte at 22 – 25 % av det totale U-innhaldet potensielt kan mobiliserast gitt optimale forvittringsforhold over eit lengre tidsrom. Dette utgjer 5 – 7 mg/kg i skiferane testa. Frå alunskifer med ennå høge U-verdiar kan desse mengdene auke.

Referansar

- Endre E (2012) Vurdering av radioaktivitet i tunnelmasser. NGI Teknisk notat 20120110-02-TN
- Endre E (2013) Tunnel Gran – Jaren; Identifisering og karakterisering av skiferhorisonter i tunneltrasé. NGI rapport 201201 10-01-R
- Fjermestad H (2013) Mobilitet av uran og andre metall i bergartar i ny vegtrasé på Gran, Hadeland. MSc – UMB.
- Helmers TA (2013) The mobility of uranium from U-containing bedrock materilas as a function of pH: Implications for tunnel construction. MSc – UMB.
- Multiconsult (2013) Rv 4 Gran grense –Jaren. Grantunnelen. Ingeniørgeologisk rapport

Klassifiseringsmåte for tunnelmassar på Gran

Geologisk kartlegging

geologisk logging av borkjerner (NGI hjelper til med dette), tunnelkartlegging, estimering av volumforhold til bergartane i salven.

Alunskifer → Deponi

Svartskifer, Gølgeberg 3bβ → berre dei mest syreproduserande skal til deponi

Andre bergartar → Frikjent

Analysar av XRF på borkjerner og tunnelstein med svartskifer

Viss det førekjem blandingsalver med svartskifer/alunskifer: → 1 XRF-analyse per meter borkjerne.

- Sjekk syrepotensialet.
- Sjekk innhald av karakteristiske metall.

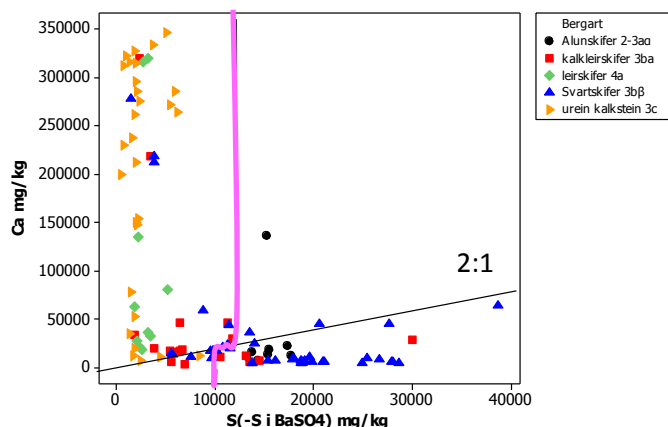
Ein må ha raudt svar både på syrepotensiale og tungmetall-innhald for å bli klassifisert som deponipliktig.

1. Syrepotensial

1. sjekk S-innhaldet (korrigert for BaSO_4)
2. Er det under 10.000 mg/kg (1%) → OK!
3. Er det over 12.000 mg/kg → mulig deponipliktig.
4. Er det mellom 10.000 og 12.000 mg/kg → usikkert.

Sjekk Forholdet Ca:S

5. Er Forholdet Ca:S meir enn 2:1 → OK!
6. Er forholdet Ca:S mindre enn 2:1 → mulig deponipliktig
7. Alle skifertypar: test med saltsyre (HCl) om det brusar: ingen, svak eller sterk brusing.



Figur 1. Spreiediagrammet illustrerer kalsium- og svovel-innhaldet i prøvane. Prøvar med S-innhald meir enn 10.000 er i risikosona for å bli deponert. Bergartar under den skrå streken er potensielt syredannande og har eit Ca:S forhold mindre enn 2:1.

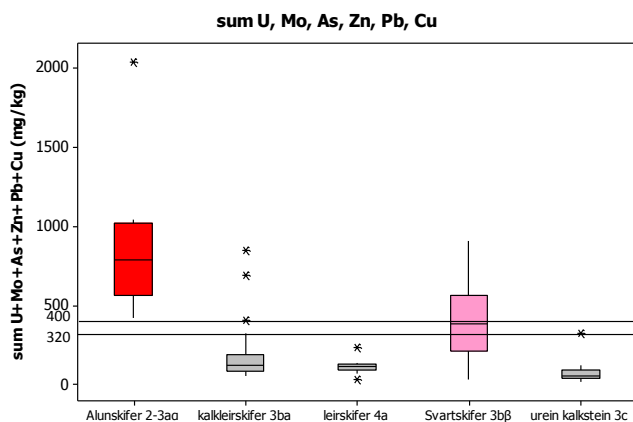
2. Tungmetall

1. Er innhald av Mo, Pb, As, Zn, U, og Cu > 320 mg/kg → gå til 3
2. Er innhald av Mo, Pb, As, Zn, U, og Cu < 320 mg/kg → OK!
3. Finn ut:
 - Er alle 3 tungmetalla U, Mo og As over grenseverdiane sine (sjå tabell) **deponi**
 - Er 1 eller 2 av tungmetalla over grenseverdiane, gå til siste punkt.
 - Viss ingen av dei 3 tungmetalla er over grenseverdiane. **OK!**
 - Er samla verdi > 400 mg/kg → **deponi**, er samla verdi < 400 mg/kg → **OK!**

Tabell 1. Grenseverdiar i ppm (mg/kg) for massar til deponi. Merk: Prøvar med verdiar under grenseverdien, men innanfor usikkerheita (oppgitt etter analyseverdien i XRF-excelfila) er i teorien innanfor.

Grunnstoff	Grenseverdi (mg/kg)	Deteksjonsgrenser for XRF-instrumentet
U	25	5
Zn	150	15
As	20	5
Cu	70	15
Pb	20	10
Mo	35	3
S	10.000	90
Ca	-	500 (ikkje oppgitt)

XRFen analyserer også for Ba, Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Mo, Nb, Th, Zr, Sr, Rb, Bi, Se, Au, W, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, K, Al, P, Si, Cl og Mg. Kjemiien er viktig for NGI si bestemming av bergartshorisont.



Figur 2. Summert verdi av U, Zn, Pb, Cu, As og Mo i dei ulike bergartane på Gran. Ein grenseverdi på 320 mg/kg skil potensiell forureinande svartskifer frå ufarlege massar.

3. Volumutrekningar

Vurder volumet av bergartane i kvar salve ved å:

- Registrere orienteringa på skifrigheita i borkjerner og ved tunnelkartlegging, teikn inn ei tolking i sålekart for begge tunnelloppa
- På kartlegginga i tunnel: Ta ut seks steinar fordelt på øvre og nedre del på stoff og analyser med XRF.

Finn gjennomsnittlege verdiar av syrepotensial og tungmetall i av bergartane. Er sams masse over grenseverdiane(vekta verdi etter volumfordeling)→? **Deponi**

Alternativt: dersom meir enn halvparten av målingar på stoff viser deponipltig → **Deponi**

Vedlegg 9.1

Sørgående løp										
Pel	Dato sprengt	XRF- kjerne	Kjernelogg	Stuffprøver	MWD-data	Prosent alun/ galgeberg	Deponipliktig	Areal stuff m2	Volum massar til masselager m3	Begrunnelse
272	7724 - 7996	08.11.13 --	Link				Nei			
88	7996 - 8082	20.02.2014 --	Link				Nei			
6	8082 - 8088	17.03.2014	Link	Link			Nei			
6	8088 - 8094	17.03.2014	Link	Link	Link	< 50 %	Nei			
5	8094 - 8099	20.03.2014	Link	Link			Ja	128.1	640.5	
6	8099 - 8104	21.03.2014	Link	Link			Ja	122.5	612.5	
5	8105 - 8110	22.03.2014	Link	Link			Nei		0	
128	8110 - 8238		Link	Link		kalk	Nei		0	
6	8238 - 8244	07.05.2014	"	"		kalk	Nei		0	
5	8244 - 8250	07.05.2014	"	"		ca 50%	Nei		0	
6	8250 - 8255	08.05.2014	"	"	Link	95 %	Ja	118.9	713.4	svartskifer (galgeberg) i heile stoffen, helling 90°
6	8255 - 8261	09.05.2014	"	"	Link	>95%	Ja	124.8	748.8	
6	8261 - 8268	10.05.2014	"	"	Link	>95%	Ja	131	786	
6	8268 - 8274	12.05.2014	"	"	Link	>95%	Ja	129.6	777.6	
3	8274 - 8279	13.05.2014	"	"	Link	90 %	Nei		0	Noko kalk i hengen. Varierende XRF-verdiar, mindre svovel - totalt sett ok
6	8279 - 8285	14.05.2014	"	"	Link	85 %	Nei		0	"
6	8285 - 8289	19.05.2014	Link	Link	Link	60 %	Nei		0	"
3	8289 - 8293	20.05.2014	"	"	Link	50 %	Nei		0	Kalk i hengen. XRF verdiar - totalt ok
3	8293 - 8296	21.05.2014	"	"	Link	40 %	Nei		0	på veg ut av svartskifer-sona. Blir gradvis mindre svartskifer på stuff.
3	8296 - 8299	23.05.2014	"	"		40 %	Nei		0	"
6	8300 - 8306	27.05.2014	Link	Link		15 %	Nei		0	"
108	8306 - 8414	28.06 - 02.07	"	"	"		Nei		0	Eines og Huk
	Pumpesump			Link			Nei		0	Huk og Galgeberg. Galgeberg aukar nedover og innover i berget. XRF-verdiar stort sett under grenseverdiar
6	8414 - 8421	03.07.2014				50 %	Nei		0	
6	8421 - 8427	04.08.2014		Link		100 %	Nei		0	2 av 16 XRF-analyser er over grenseverdiar
6	8427 - 8433	05.08.2014		Link		100 %	Nei		0	XRF-verdiar under grenseverdiar på alle prøvene (vart tatt ut berre 3 steinprøver)
3	8433 - 8436	06.08.2014		Link		100 %	Nei		0	2 av 9 prøvar over grenseverdiar
3	8436 - 8439	07.08.2014		Link		100 %	Nei		0	Vart ikkje tatt XRF-prøver
3	8440 - 8443	08.08.2014		Link		90 %	Nei		0	4 av 11 analyser er over grenseverdiar
3	8443 - 8446	11.08.2014		Link		70 %	Nei		0	2 av 12 analyser er over grenseverdiar. Huk kalkstein i toppen, er på veg ut av svartskifer-sona
3	8446 - 8449	12.08.2014				50 %	Nei		0	50 % kalkstein. Vart ikkje tatt XRF-prøver
3	8449 - 8452	14.08.2014		Link		40 %	Nei		0	60 % Huk i stoffen. Ingen av stuffprøvene er deponipliktige
3	8452 - 8455	14.08.2014		Link		20 %	Nei		0	
3	8456 - 8459	15.08.2014				5 %	Nei		0	
30	8460 - 8490	16.08 - 23.08.				0 %	Nei		0	Huk
6	8490 - 8496		Link	Link	Link		Nei		0	
6	8496 - 8502	16.09.2014	"	Link	"	30 %	Nei		0	Huk 70 %. 30 % av stoffen var Galgeberg
6	8502 - 8508	16.09.2014	"	Link	"	70 %	Nei		0	Helle stoffen i Galgeberg-horizonten. Måenitt-intrusivar ca 30%. Ingen XRF-målingar over total grenseverdi
6	8508 - 8514	17.09.2014	"	Link	"	100 %	Nei		0	1 av 5 over grenseverdiar
6	8514 - 8520	18.09.2014	"	Link	"	95 %	Nei		0	1 av 5 over grenseverdiar
6	8520 - 8525	18.09.2014	"	Link	"	90 %	Nei		0	ingen over grenseverdiar
6	8525 - 8531	19.09.2014	"	"	"	90 %	Nei		0	ingen XRF-analyser vart tatt. XRF-verdiar på borkjerne viser ikkje-deponipliktig stein
6	8531 - 8537	20.09.2014	"	Link	"	60 %	Nei		0	2 av 4 over grenseverdiar
6	8537.5 - 8542	22.09.2014	"	Link	"	50 %	Nei		0	1 av 6 over grenseverdiar, større andel huk - kalkstein i stoffen
6	8542 - 8548	23.09.2014	"	Link	"	15 %	Nei		0	Kalkstein i størsteparten av stoffen
6	8547 - 8553	24.09.2014	"	Link	"	5 %	Nei		0	
29	8553 - 8582	24.09. - 30.09	"	"	"	0 %	Nei		0	
5	8582 - 8588	30.09.2014	"	"	"	50 %	Nei		0	
6	8588 - 8593	03.10.2014		Link		100 %	Nei		0	to av seks analyser er deponipliktige ved XRF
6	8593 - 8599	04.10.2014		Link		90 %	Nei		0	to av seks analyser er deponipliktige ved XRF
6	8599 - 8605	06.10.2014	Link	Link	Link	90 %	Nei		0	to av seks analyser er deponipliktige ved XRF
6	8605 - 8611	08.10.2014	"	Link	"	80 %	Nei		0	ingen prøvar (6 stk) deponipliktige
6	8611 - 8617	09.10.2014	"	Link	"	70 %	Nei		0	ingen prøvar (6 stk) deponipliktige
6	8617 - 8623	09.10.2014	"	Link	"	70 %	Nei		0	galgeberg og hagaberg i stoffen
6	8623 - 8626	10.10.2014	"	Link	"	50 %	Nei		0	galgeberg og hagaberg i stoffen
3	8626 - 8629	11.10.2014	"	Link	"	50 %	Nei		0	Ein av seks prøvar er deponipliktig
3	8629 - 8632	13.10.2014	"	Link	"	30 %	Nei		0	Ingen prøvar (6 stk) deponipliktige
4	8632 - 8636	14.10.2014	"	Link	"	15 %	Nei		0	hagaberg dominerer på stuff. Ingen av XRF-prøvene er deponipliktige. XRF på borkjerne viser ikkje deponeringspliktig materiale.
7	8636 - 8643	15.10.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	stor andel hagaberg. XRF på stuff viser to av sju deponeringspliktige prøvar. XRF på borkjerne viser ikkje deponeringspliktig materiale
6	8643 - 8649	16.10.2014	"	"	"	10 %	Nei		0	stor andel hagaberg. XRF på borkjerne viser ikkje deponeringspliktig materiale
6	8649 - 8655	18.10.2014	"	"	"	10 %	Nei		0	stor andel hagaberg, går oppover igjen i lagrekka. XRF på borkjerne viser ikkje deponeringspliktig materiale
6	8655 - 8658	20.10.2014	"	Link	"	40 %	Nei		0	ein av seks prøvar er deponipliktig
4	8658 - 8662	21.10.2014	"	Link	"	60 %	Nei		0	to av seks prøvar er deponipliktige
3	8662 - 8665	22.10.2014	"	Link	"	66 %	Nei		0	tre av seks prøvar er deponipliktige. Desse er øverst i stoffen.
4	8665 - 8669	23.10.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	ein av seks prøvar er deponipliktig. Mørkare Hagaberg nesderst i stoffen.
3	8669 - 8672	24.10.2014	"	Link	"	10 %	Nei		0	ein av seks prøvar er deponipliktig. Mørkare Hagaberg nesderst i stoffen.
4	8672 - 8676	25.10.2014	"	Link	"	0 %	Nei		0	null av seks prøvar deponipliktig - Hagaberg
4	8676 - 8679	27.10.2014	"	Link	"	10 %	Nei		0	null av seks prøvar deponipliktig - Hagaberg
4	8679 - 8682	28.10.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	null av tre prøvar er deponipliktige
4	8682 - 8686	29.10.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	null av seks prøvar deponipliktig - Hagaberg
3	8686 - 8689	30.10.2014	"			20 %	Nei		0	Hagaberg leirskifer dominerer.
3	8689 - 8692	31.10.2014	"			30 %	Nei		0	Svartskifer øverst i stoffen. Hagaberg leirskifer resten.
3	8692 - 8695	05.10.2014	"			< 20 %	Nei		0	Hagaberg dominerer
3	8695 - 8698	05.10.2014	"			< 20 %	Nei		0	"
3	8698 - 8701	06.10.2014	"	Link	"	< 20 %	Nei		0	"
6	8701 - 8707	07.10.2014	"	Link	"	< 20 %	Nei		0	Hagaberg dominerer. Svartare parti i øvre deler av stuff
5	8707 - 8712	07.10.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	Hagaberg dominerer. Heller skrått mot stuff
6	8712 - 8718	08.10.2014	"			20 %	Nei		0	"
6	8718 - 8724	12.11.2014	"	Link	"	20 %	Nei		0	Svartskifer i nedre del. Nesten horisontale lag. Ein av seks prøvar er over grenseverdi for deponering
5	8724 - 8730	13.11.2014	"			< 20 %	Nei		0	Hagaberg og mindre svartskifer. helling nedover og innover frå stuff (går opp i lagrekka)
6	8730 - 8735	14.11.2014	"			< 20 %	Nei		0	"
5	8735 - 8740	18.11.2014	"			< 20 %	Nei		0	Hagaberg dominerer

6	8740 - 8746	19.11.2014				< 20 %	Nei		0		"
6	8746 - 8752	19.11.2014					Nei		0		"
	8752 - 8755	24.11.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg. Svartare i øvre del av stoffen
	8755 - 8759	25.11.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg. Støll lagdeling
	8759 - 8763	26.11.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg. Støll lagdeling
	8763 - 8769	26.11.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg + mænaitt
	8769 - 8775	27.11.2014				< 20 %	Nei		0		mænaitt, hagaberg, svartare sone nederst i stoff
	8775 - 8781	28.11.2014				< 20 %	Nei		0		mænaitt, hagaberg, svartare sone nederst i stoff
	8781 - 8786	29.11.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg, mænaitt + nokre lagvise soner med svartare skifer
	8786 - 8792	01.12.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg
	8792 - 8797	02.12.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg
	8797 - 8803	04.12.2014				< 20 %	Nei		0		Hagaberg
	8803 - 8808	05.12.2014				20 %	Nei		0		"
	8808 - 8814	06.12.2014				30 %	Nei		0		Hagaberg med ei svartare skifersone i nedre del
	8814 - 8820	08.12.2014				30 %	Nei		0		"
	8820 - 8825	09.12.2014				30 %	Nei		0		"
	8825 - 8832	10.12.2014		Link		30 %	Nei		0		Ingen av seks prøvar er over grenseverdiar
	8832 - 8838	11.12.2014				20 %	Nei		0		Hagaberg med ei svartare skifersone i nedre del
	8838 - 8844	12.12.2014				30 %	Nei		0		Hagaberg med ei svartare skifersone i nedre del. Går nedover i lagrekka
	8844 - 8849	13.12.2014				30 %	Nei		0		"
	8849 - 8852	15.12.2014				30 %	Nei		0		"
	8852 - 8857	16.12.2014				< 30 %	Nei		0		"
	8857 - 8861	17.12.2014				< 30 %	Nei		0		Hagaberg
	8861 - 8864	17.12.2014				< 30 %	Nei		0		"
	8864 - 8868	18.12.2014				< 30 %	Nei		0		"
	8868 - 8871	19.12.2014				< 30 %	Nei		0		"
	8871 - 8875	06.01.2015				< 30 %	Nei		0		"
	8875 - 8880	06.01.2015		Link		< 30 %	Nei		0		Hagaberg. Ein av fem er deponipliktig - svartskifer i øvre del
	8880 - 8884	07.01.2015				< 15 %	Nei		0		Hagaberg
	8884 - 8887	08.01.2015		Link		< 15 %	Nei		0		Hagaberg. Ingen steinprøvar er deponipliktige
	8887 - 8891	09.01.2015				< 15 %	Nei		0		Hagaberg
	8891 - 8894	09.01.2015				20 %	Nei		0		Hagaberg. Svartare skifer i øvre del av stoff
	8894 - 8899	10.01.2015				40 %	Nei		0		svartskifer i øvre deler
	8899 - 8905	12.01.2015		Link		35 %	Nei		0		1 av 6 steinprøvar er deponipliktige. Hagaberg og litt svartskifer i øvredel
	8905 - 8911	13.01.2015				40 %	Nei		0		Hagaberg dominerer. Svartare i øvre deler
	8911 - 8916	14.01.2015				40 %	Nei		0		"
	8916 - 8920	15.01.2015				50 %	Nei		0		"
	8920 - 8925	15.01.2015		Link		70 %	Nei		0		Svartskifer, med hagaberg i nedre del. Ingen steinar frå stoff er deponipliktige
5	8925 - 8930	16.01.2015		Link		85 %	Ja	122.7	613.5		fire av seks steinar frå stoff er over grenseverdiar.
	8930 - 8936	17.01.2015		Link		50 %	Nei		0		ein av seks er over grenseverdiar
	8936 - 8940	19.01.2015		Link		50 %	Nei		0		Ingen er over grenseverdiar
	8940 - 8943	20.01.2015		Link		30 %	Nei		0		"
	8943 - 8946	21.01.2015				< 20 %	Nei		0		Hagaberg dominerer.
	8946 - 8950					< 20 %	Nei		0		"
	8950 - 8955					< 20 %	Nei		0		"
	8955 - 8957					< 20 %	Nei		0		"
	8957 - 8964					20 %	Nei		0		"
	8964 - 8970					50 %	Nei		0		Hagaberg i nedre del, svartskifer (galgeberg) i øvre deler.
	8970 - 8973					50 %	Nei		0		"
	8973 - 8977					60 %	Nei		0		"
	8977 - 8980	03.02.2015		Link		60 %	Nei		0		To av seks prøvar er deponipliktige. Dette er svartskifer øverst i stoffen
4	8980 - 8984	04.02.2015		Link		80	Ja	122.7	490.8		deponipliktig. Fire av seks prøvar er over grenseverdiar.
	8984 - 8987	05.02.2015		Link		80 %	Nei		0		To av seks prøvar er deponipliktige.
	8987 - 8990	05.02.2015		Link		70 %	Nei		0		Ingen prøvar er deponipliktige
	8990 - 8994	06.02.2015		Link		60 %	Nei		0		Ein av seks prøvar deponipliktig. Svartskifer i øvre deler, Hagaberg leirskifer nederst. Heller nedover, innover frå stoff
	8994 - 8998	07.02.2015		Link		30 %	Nei		0		ein av seks er over grenseverdiar. Dette er i øvre deler
	8998 - 9004	09.02.2015		Link		20 %	Nei		0		to av seks er over grenseverdiar. Svartskifer i øvre deler
	9004 - 9010	12.02.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9010 - 9016	12.02.2015		Link		< 20 %	Nei		0		Ingen av fire prøvar er over grenseverdiar
	9016 - 9020	13.02.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9020 - 9026	16.02.2015		Link		20 %	Nei		0		Ein av seks er over grenseverdiar.
	9026 - 9030	17.02.2015				0 %	Nei		0		"
	9030 - 9036	17.02.2015				0 %	Nei		0		"
	9036 - 9042	18.02.2015		Link		0 %	Nei		0		Hagaberg og hardt fjell. Ein prøve frå nedre deler stadfester at det ikkje er alunskifer i botn
	9042 - 9048	18.02.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9048 - 9054	19.02.2015		Link		< 20 %	Nei		0		Hagaberg. ein av fire frå øvre stoff er over grenseverdiar
	9054 - 9060	20.02.2015		Link		< 20 %	Nei		0		Ingen er over grenseverdiar (fem prøvar tatt)
	9060 - 9066	20.02.2015		Link		< 20 %	Nei		0		tre prøvar frå øvre deler, ingen deponipliktige. Såg hagaberg i nedre deler
	9066 - 9072	23.02.2015	Link	Link	Link	< 20 %	Nei		0		Ingen prøvar er deponipliktige
	9072 - 9077	24.02.2015			Link	< 20 %	Nei		0		Ein av 8 xrf-analysar er over grenseverdiar. (6 tatt frå stoff + 2 på kjerne).
	9077 - 9083	25.02.2015			Link	20 %	Nei		0		Ein av seks er over grenseverdiar. Raud verdi nede til høgje. XRF frå kjerneborin viser ikkje-deponipliktige verdiar
5	9083 - 9088	26.02.2015			Link	30 %	Ja	98	490		Svartskifer i nedre deler. Ein alunskiferprøve med 94 ppm nede i venstre hjørne. Deponi pga alunskifer-innhald
	9088 - 9093	27.02.2015		Link		20 %	Nei		0		Ingen er deponipliktige
	9093 - 9100	27.02.2015		Link		20 %	Nei		0		"
	9100 - 9106	02.03.2015		Link		20 %	Nei		0		Ein av seks er deponipliktig
	9106 - 9112	02.03.2015		Link		25 %	Nei		0		Ingen prøvar er deponipliktige
	9112 - 9118	03.03.2015					Nei		0		"
	9118 - 9123	04.03.2015		Link		< 20 %	Nei		0		Ingen prøvar er deponipliktige
	9123 - 9129	05.03.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9129 - 9135	06.03.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9135 - 9141	06.03.2015		Link		< 20 %	Nei		0		Ein av fem er over grenseverdiar
	9141 - 9147	09.03.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9147 - 9153	10.03.2015				< 20 %	Nei		0		"
	9153 - 9159	10.03.2015		Link		< 10 %	Nei		0		Hagaberg
6	9159 - 9166	13.03.2015		Link		15 %	Ja	104	624		Alunskifer kjem opp på høgje side. Ca 15 %. Deponi pga alunskifer
6	9166 - 9172	14.03.2015				40 %	Ja	107	642		Alunskifer i høgje side.
4	9172 - 9178	16.03.2015				65 %	Ja	116	696		"
6	9178 - 9182	18.03.2015		Link		75 %	Ja	117	468		Alunskifer + ei sone med hardare berg i midten
3	9182 - 9185	19.03.2015				90 %	Ja	114	342		"
3	9185 - 9188	20.03.2015				95 %	Ja	113	339		Alunskifer
3	9188 - 9191	23.03.2015				100 %	Ja	113	339		Alunskifer framover i resten av tunnelen
5	9191 →					100 %	Ja	113	565		Alunskifer (m nokre innslag av mænaitt)
5	9195					100 %	Ja	109	545		"
5	9200					100 %	Ja	107	535		"
5	9205					100 %	Ja	110	550		"
4	9210					100 %	Ja	109	545		"
5	9215 - 9219	13.04.2015		Link		100 %	Ja	115	460		"
6	9219					100 %	Ja	112	672		"

5	9225					100 %	Ja	108	540	"
5	9230					100 %	Ja	109	545	"
4	9235					100 %	Ja	117	468	"
4	9239 - 9243	20.04.2015				100 %	Ja	111	444	"
7	9243					100 %	Ja	110	770	"
5	9250					100 %	Ja	110	550	"
5	9255					100 %	Ja	110	550	"
5	9260					100 %	Ja	110	550	"
5	9265			Link		100 %	Ja	110	550	Peinr. 9266: XRF av stoff-prøvar. Alunskifer + mænaitt
5	9270					100 %	Ja	110	550	
5	9275					100 %	Ja	110	550	
5	9280					100 %	Ja	110	550	
5	9285					100 %	Ja	110	550	
5	9290					100 %	Ja	110	550	
3	9295					100 %	Ja	110	330	

volum i myra, m³ (sørg. Løp)	
tot i myra	21242.1
alunskifer	9319
est. alun etter 20.04	6050
tot alun	15369
tot resterande	5873.1
tot galgeberg	5383.1

Vedlegg 9.2

Nordgående løp

Meter tunnel

	Pel	Dato sprengt	XRF- kjerne	Kjernelogg	Stoffprøver	MWD-data	Prosent svartskifer	Deponipliktig	areal tunnel (m2) = areal kontor + areal utanfor	Volum masse til masselager (m3)	Begrunnelse
399	7724 - 8123							Nei			Elnes, deretter inslag av huk fra 8100
6	8123 - 8128	21.03.2014		Link				Nei			
6	8129 - 8135	26.03.2014						Nei			
97	8135 - 8232	27.03 - 29.04		Link				Nei			
6	8232 - 8237	30.04.2014					< 5%	Nei			
6	8237 - 8243	02.05.2014					5%	Nei			
6	8243 - 8249	03.05.2014	Link	Link	Link	Link	15%	Nei			Svartskifer i nedre høyre side. Kalk over
6	8249 - 8255	06.05.2014	Link	Link			< 10%	Nei			
6	8255 - 8261	06.05.2014					< 5%	Nei			
12	8261 - 8273	06.05.2014					0	Nei			
6	8273 - 8278	08.05.2014					15%	Nei			
6	8278 - 8285	08.05.2014			Link		70%	Nei			Kalk i øvre deler. XRF-verdiar totalt sett ok
6	8285 - 8291	10.05.2014			Link		100%	Ja	118.5	711	heile stoffen er svartskifer. XRF-målingar over grenseverdiar
5	8291 - 8296	12.05.2014	Link	Link	Link		100%	Ja	119.5	597.5	
6	8296 - 8302	13.05.2014			Link		100%	Ja	124.8	748.8	
5	8302 - 8307	13.05.2014			Link		75%	Nei		0	
6	8307 - 8313	14.05.2014			Link		85%	Nei		0	kalkstein i hengen. Varierende verdiar i svartskifer - totalt sett ok
6	8313 - 8319	15.05.2014			Link		90%	Nei		0	
6	8319 - 8325	16.05.2014			Link		95%	Ja	122.5	735	heile stoff svartskifer. XRF frå stoff over gr.verdiar
6	8325 - 8331	20.05.2014			Link		95%	Ja	126.7	760.2	
6	8331 - 8336	20.05.2014			Link		90%	Nei		0	XRF-analysar totalt under grenseverdiar. (2 av 6 prøvar deponipliktig) Ca. halve salven gjekk til deponi pga miskommunikasjon innan entrepenar
3	8337 - 8340	22.05.2014					80%	Nei		0	
3	8340 - 8344	23.05.2014			Link		70%	Nei		0	Kalkstein fra høyre vederlag og ned til midt i venstre side. Kun svartskifer fra nede til høyre over grenseverdiar (logisk).
6	8343 - 8348	28.05.2014					40%	Nei		0	På veg oppover i lagrekka, blir gradvis mindre svartskifer for kvar salve.
5	8348 - 8352	31.05.2014					35%	Nei		0	
3	8352 - 8356	02.06.2014					10%	Nei		0	
81	8356 - 8437	04.06 - 02.07	Link	Link			0%	Nei		0	Elnes og Huk
6	8440 - 8443	03.07.2014						Nei		0	
6	8443.5 - 8447	04.07.2014						Nei		0	
3	8447 - 8450	07.08.2014			Link		95%	Nei		0	Vart ikkje tatt XRF-prøver halvparten av målingar over, halvparten under. (6 av 13 deponipliktig)
3	8450 - 8453	08.08.2014			Link		100%	Nei		0	halvparten av målingar over, halvparten under.
4	8453 - 8457	11.08.2014			Link		100%	Ja	158.1	632.4	gjennomsnittlege verdiar = deponipliktig
3	8457 - 8460	12.08.2014			Link		100%	Ja	158.9	476.7	XRF-målingar fleire over enn under grenseverdiar.
3	8460 - 8463	13.08.2014			Link		100%	Nei			tre målingar
3	8463 - 8466	14.08.2014			Link		100%	Nei			XRF-målingar = ikkje deponipliktige (0 av 6)
3	8466 - 8469	18.08.2014			Link		100%	Nei			Halvparten av 6 målingar = deponipliktige
3	8469 - 8472	19.08.2014			Link		80%	Nei			ein av seks prøvar er over grenseverdiar
3	8473 - 8476	20.08.2014					70%	Nei			Ikke XRF-målingar pga større Huk-andel
3	8476 - 8480	20.08.2014					65%	Nei			
3	8480 - 8485	21.08.2014					60%	Nei			
6	8485 - 8490	22.08.2014					< 50%	Nei			
6	8491 - 8497	23.08.2014					< 50%	Nei			
6	8498 - 8504	26.08.2014					< 50%	Nei			
6	8503 - 8509	27.08.2014					0%	Nei			
6	8509 - 8515	27.08.2014					0%	Nei			
6	8515 - 8521	28.08.2014					0%	Nei			
6	8521 - 8527	29.08.2014					0%	Nei			
6	8527 - 8532	30.08.2014					0%	Nei			
6	8532 - 8537	01.09.2014					50%	Nei			
3	8537 - 8540	03.09.2014			Link		100%	Nei			To av seks målingar er over grenseverdiar totalt
3	8541 - 8544	05.09.2014			Link		100%	Nei			Ein av tre XRF-analysar er over grenseverdiar
3	8544 - 8547	06.09.2014			Link		100%	Nei			To av seks målingar er over grenseverdiar totalt
3	8547 - 8550	08.09.2014			Link		100%	Ja			Galgeberg. 5 av 6 målingar over grenseverdiar. Tilnærma vertikal lagdeling. Vart ikkje deponert pga kommunikasjonssvikt/ XRF-analyse vart gjort etter sprenging
3	8550 - 8553	09.09.2014			Link		100%	Nei			2 av 6 målingar over grenseverdiar
3	8553 - 8557	10.09.2014			Link		95%	Nei			Ingen av målingane over grenseverdiar totalt. Mønaittrenging i øvre del.
3	8557 - 8560	11.09.2014					95%	Nei			XRF-øydelagt.
3	8560 - 8563	11.09.2014			Link		35%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer XRF-verdiar låge på tungmetall og svovel
3	8563 - 8566	12.09.2014			Link		30%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
3	8566 - 8569	13.09.2014			Link		30%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
3	8569 - 8572	15.09.2014					30%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
3	8572 - 8575	16.09.2014			Link		20%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
3	8575 - 8578	17.09.2014			Link		40%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
4	8579 - 8582	17.09.2014			Link		40%	Nei			større andel Hagaberg - grå leirskifer
3	8582 - 8586	18.09.2014			Link		40%	Nei			ingen av tre prøvar er over grenseverdiar
3	8586 - 8589	19.09.2014			Link		40%	Nei			Ingen av prøvane (5 stk) er deponipliktige
4	8589 - 8593	20.09.2014			Link		35%	Nei			Ingen av prøvane (5 stk) er deponipliktige
4	8593 - 8597	24.09.2014	Link	Link	Link		5%	Nei			Ingen av prøvane (5 stk) er deponipliktige
4	8597 - 8603	25.09.2014			Link		0%	Nei			Ingen av prøvane er deponipliktige
6	8603 - 8609	26.09.2014					0%	Nei			Kalkstein (huk) i stoffen
6	8609 - 8615	27.09.2014					0%	Nei			
5	8615 - 8620	29.09.2014					0%	Nei			
5	8620 - 8625	30.09.2014					0%	Nei			
6	8625 - 8631	30.09.2014					50%	Nei			Kalkstein (huk) halve stoffen. Nær 90° helling vertikalt
5	8631 - 8636	01.10.2014			Link		100%	Nei			ein av seks prøvar er deponipliktig
6	8636 - 8643	02.10.2014			Link		75%	Nei			Ingen av prøvane er deponipliktige
6	8643 - 8649	03.10.2014					50%	Nei			galgeberg og hagaberg i vekslng (+menaitt)
3	8648 - 8651	04.10.2014					50%	Nei			Huk/galgeberg og hagaberg i vekslng
3	8651 - 8654	06.10.2014			Link		50%	Nei			Hagaberg og galgeberg i stoffen ein av seks prøvar er deponipliktig
4	8654 - 8658	07.10.2014					50%	Nei			
3	8658 - 8661	08.10.2014			Link		50%	Nei			Ingen av seks prøvar er deponipliktige
3	8661 - 8664	08.10.2014					50%	Nei			Hagaberg og galgeberg. Borkjerner frå området viser xrf-verdiar under grenseverdiar
4	8664 - 8668	09.10.2014					60%	Nei			
3	8668 - 8671	10.10.2014					50%	Nei			
5	8671 - 8676	11.10.2014					40%	Nei			
6	8676 - 8682	13.10.2014			Link		30%	Nei			Ingen av seks prøvar er deponipliktige. Hagaberg nederst. Laga heller nedover, og me går oppover igjen i lagrekka
6	8682 - 8688	14.10.2014			Link		20%	Nei			Ingen av seks prøvar er deponipliktig.
5	8688 - 8693	15.10.2014			Link		20%	Nei			Hagaberg/Galgeberg på stoff

6	8693 - 8699	16.10.2014			Link	30 %	Nei		ein av seks prøver er deponipliktige.	
3	8699 - 8702	17.10.2014			Link	50 %	Nei		Hagaberg/galgeberg på stoff	
4	8702 - 8705	20.10.2014			Link	55 %	Nei		-	
3	8705 - 8709	23.10.2014			Link	60 % ?	Nei		-	
3	8709 - 8712	24.10.2014			Link	50 % ?	Nei		større andel galgeberg på stoff	
5	8712 - 8717	27.10.2014	Link	Link	Link	30 %	Nei		galgeberg/hagaberg. Ein av seks prøver er deponipliktige	
3	8717 - 8720	28.10.2014	*	*	Link	40 %	Nei		Ingen av seks prøver er deponipliktige	
5	8720 - 8725	29.10.2014	*	*	Link	40 %	Nei		Galgeberg/hagaberg. Ingen av seks prøver er deponipliktige	
3	8725 - 8728	29.10.2014	*	*	Link	50 %	Nei		-	
3	8728 - 8731	30.10.2014	*	*	Link	50 %	Nei		kjernelogg viser materiale som ikke er deponipliktig (hagaberg i blanding med galgeberg)	
3	8731 - 8734	31.10.2014	*	*		40 %	Nei		-	
2	8734 - 8736	03.11.2014	*	*		30 %	Nei		-	
3	8736 - 8739	03.11.2014	*	*		20 %	Nei		Hagaberg i heile stoffen (vekselvís med noko innslag av svartskifer)	
3	8739 - 8742	04.11.2014	*	*		20 %	Nei		-	
5	8742 - 8747	05.11.2014	*	*		20 %	Nei		-	
6	8747 - 8753	06.11.2014	*	*		20 %	Nei		-	
6	8753 - 8759	06.11.2014	*	*		20 %	Nei		Hagaberg, flat lagdeling	
6	8759 - 8765	08.11.2014	*	*		20 %	Nei		Hagaberg dominerer	
7	8765 - 8772	11.11.2014	*	*	Link	20 %	Nei		Ingen av seks prøver er deponipliktige. (i nedre del er noko svartskifer, ellers Hagaberg + mænaitt og kalk)	
6	8772 - 8778	11.11.2014	*	*	Link	20 %	Nei		Hagaberg. Ein av seks er over grenseverdi for deponipliktig masse - i nedre del (med høge Ba-verdiar). Lagrekka heller frå stoff (går oppover i lagrekka)	
6	8778 - 8784	12.11.2014	*	*	Link	<20%	Nei		Ingen av seks prøver er deponipliktige	
5	8784 - 8789	14.11.2014	*	*		<20%	Nei		Hagaberg. Går oppover i lagrekka - laga heller inover og nedover frå stoff.	
5	8789 - 8794	15.11.2014	*	*	Link	<20%	Nei		Ingen av seks prøver er deponipliktige	
6	8794 - 8800	17.11.2014	*	*	Link	<20%	Nei		Ingen av seks prøver er deponipliktige. Steil lagdeling - går nedover i lagrekka	
6	8800 - 8806	21.11.2014	Link	*		<20%	Nei		lagdeling heller svakt nedover frå stoff - går oppover i lagrekka	
24	8806 - 8830					< 20 %	Nei		Hagaberg. Lagdeling heller svakt nedover frå stoff - går oppover i lagrekka	
5	8830 - 8835	27.11.2014				20 %	Nei		Hagaberg	
5	8835 - 8840	29.11.2014				30 %	Nei		Hagaberg	
6	8840 - 8846		Link			30 %	Nei		Hagaberg ei svartskiferone i midten	
3	8846 - 8849	02.12.2014	*			30 %	Nei		hagaberg	
7	8849 - 8856	03.12.2014	*			30 %	Nei		Hagaberg, ei some med svartskifer midt i stoff	
6	8856 - 8862	04.12.2014	*			30 %	Nei		Hagaberg. Nedre del med svartare berg. XRF frå kjerne - ok verdiar	
5	8862 - 8867	05.12.2014	*			40 %	Nei		Hagaberg. Nedre del med svartare berg. XRF frå kjerne - ok verdiar	
6	8867 - 8873	06.12.2014	*			30 %	Nei		Hagaberg og noko svartskifer i midtre deler. Flat lagdeling	
5	8873 - 8879	08.12.2014	*			30 %	Nei		Hagaberg og noko svartskifer	
5	8879 - 8888	09.12.2014	*			< 20 %	Nei		Hagaberg	
4	8884 - 8888	10.12.2014	*			< 20 %	Nei		Hagaberg	
4	8888 - 8894	11.12.2014	*			< 20 %	Nei		Hagaberg og noko svartskifer lagvis	
4	8894 - 8899	11.12.2014	*			20 %	Nei		flat lagdeling	
4	8899 - 8905	12.12.2014	*			20 %	Nei		flat lagdeling	
4	8905 - 8910	13.12.2014	*			20 %	Nei		Hagaberg. Nokre parti med svartare skifer	
4	8910 - 8914	15.12.2014	*			< 20%	Nei		-	
4	8914 - 8917	16.12.2014	*			< 20%	Nei		-	
4	8917 - 8920	17.12.2014	*			< 20%	Nei		-	
4	8920 - 8924	18.12.2014	*		Link	< 20%	Nei		-	
4	8924 - 8929,8	18.12.2014	*			< 20%	Nei		-	
4	8929,8 - 8934,7	19.12.2014	*		Link	< 20%	Nei		-	
4	8934,7 - 8939,7	06.01.2015	*			< 20%	Nei		-	
4	8939,7 - 8943	07.01.2015	*		Link	30 %	Nei		1 av 6 er deponipliktig. Denne hadde høg uranverdi og låg nede til venstre. Resten av prøvar ok.	
4	8943 - 8946	08.01.2015	*		Link	40 %	Nei		berget heller nedover og innover frå stoff ca 30 grader, men varierer. Svartskiferone i øvre del. Hagaberg og svartskifer lagvis. 1 av 6 deponipliktig	
4	8946 - 8950	08.01.2015	*		Link	50 %	Nei		svartskifer i øvre del. 1 av 6 steinprøver = deponipliktig.	
4	8950 - 8955	09.01.2015	*		Link	50 %	Nei		svartskifer i øvre del. 2 av 6 steinprøver deponipliktig	
4	8955 - 8959	10.01.2015	*		Link	25 %	Nei		svartskifer i øvre del. Ingen steinprøver er deponipliktige.	
4	8959 - 8964	12.01.2015	*		Link	20 %	Nei		-	
4	8964 - 8968	13.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Hagaberg. Svartskifer i øvre parti	
4	8968 - 8972	13.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Hagaberg dominerer.	
4	8972 - 8976	14.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Hagaberg	
4	8976 - 8981	15.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	8981 - 8984	20.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	8984 - 8986	22.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Ingen steinprøver er deponipliktige	
4	8986 - 8991	23.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Hagaberg	
4	8991 - 8996	26.01.2015	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	8996 - 9014	27.01 - 02.02	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	9014 - 9019	02.02.2015	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	9019 - 9023	03.02.2015	*		Link	< 20 %	Nei		-	
4	9023 - 9026	03.02.2015	*		Link	20 %	Nei		Hagaberg. Tok tre prøvar som bekrefta dette. Ingen var deponipliktige	
4	9026 - 9029	04.02.2015	*		Link	40 %	Nei		-	
4	9029 - 9033	05.02.2015	*		Link	50 %	Nei		Ingen prøvar er deponipliktige (0 av 6). Svartskifer i øvre deler	
4	9033 - 9037	06.02.2015	*		Link	50 %	Nei		ein av seks prøvar er deponipliktige	
4	9037 - 9040	06.02.2015	*		Link	70 %	Nei		Svartskifer (galgeberg) dominerer, ein av seks prøvar er deponipliktige	
4	9040 - 9043	10.02.2015	Link		Link	70 %	Nei		Ingen prøvar er deponipliktige (0 av 6). Svartskifer	
4	9043 - 9049	11.02.2015	*			<30%	Nei		Det vart tatt prøver, som ikkje var deponipliktige, men dei vart ved ein feiltagelse ikkje lagra	
4	9049 - 9055	11.02.2015	*		Link	<30%	Nei		Ingen av seks prøvar er deponipliktige	
4	9055 - 9061	12.02.2015	*		Link	<20%	Nei		Ingen av prøvane er deponipliktige (3 stk steinprøver frå øvre deler). Hagaberg.	
4	9061 - 9067	14.02.2015	*		Link	20 %	Nei		ingen av fire prøvar er deponipliktige. Svartskifer i øvre deler	
4	9067 - 9072	16.02.2015	*		Link	< 20 %	Nei		Hagaberg	
4	9072 - 9077	17.02.2015	*		Link	< 10 %	Nei		-	
4	9077 - 9083	17.02.2015	*		Link	<20%	Nei		-	
4	9083 - 9089	18.02.2015	*		Link	<20%	Nei		svartskifer i nedre deler. Desse er under grenseverdiar	
4	9089 - 9095	19.02.2015	*		Link	< 10 %	Nei		Berget ser fint ut. Ingen xrf	
4	9095 - 9100	19.02.2015	*		Link	< 10 %	Nei		Hagaberg på stoff. Ein av seks er over grenseverdiar (oppe til venstre i salva)	
4	9100 - 9105	20.02.2015	*		Link	30 %	Nei		Ein av seks er over grenseverdiar (oppe i midten av salva).	
4	9105 - 9111	21.02.2015	*		Link	60 %	Nei		Svartskifer, sannsynlegvis nedre deler av hagaberg og øvre deler av alunskifer. ein av seks er over grenseverdiar (nede i midten)	
4	9111 - 9117	23.02.2015	*		Link	80 % svart/ 20% alun	Ja	97.7	586.2	i toppen av alunskifer. To av seks er deponipliktige. Deponipliktig alunskifer = meir enn 10 %
6	9117 - 9123	24.02.2015	*		Link	-	Ja	96.7	580.2	-

6	9123 - 9129	24.02.2015		Link		"	Ja	94.36	566.16	"
	9129 - 9135	25.02.2015		Link		svartskifer	Nei		0	Ein av seks er over grenseverdiar (oppe i midten av salva).
	9135 - 9141	26.02.2015		Link		"	Nei		0	Ein av seks er over grenseverdiar (oppe til høgre salva).
5	9141 - 9146	26.02.2015		Link		"	Ja	98	490	To av 6 er over. Svartskifer på stoffen
	9146 - 9152	27.02.2015		Link		"	Nei		0	Ingen over grenseverdiar
	9152 - 9158	28.02.2015		Link		"	Nei		0	Svartskifer, men ikkje over grenseverdiar
	9158 - 9164	02.03.2015		Link		50 %	Nei		0	svartskifer i nedre deler. Ingen over grenseverdiar
	9164 - 9170	03.03.2015					Nei		0	
	9170 - 9176	03.03.2015		Link		< 20 %	Nei		0	Hagaberg
5	9176 - 9181	05.03.2015		Link		30 %	Ja	136	680	Alunskifer i nedre deler. Ein av tre prøvar er over grenseverdiar
5	9181 - 9186	06.03.2015		Link		50 %	Ja	130	650	
5	9186 - 9192	09.03.2015	Link	Link		70 %	Ja	122	610	Alunskifer. Alle seks prøvar frå stoff er over grenseverdiar
4	9192 - 9196	10.03.2015				80 %	Ja	126	504	
3	9196 - 9199	11.03.2015				90 %	Ja	130	390	Alunskifer
4	9199 - 9203	12.03.2015		Link		100 %	Ja	132	528	
4	9203 - 9207	13.03.2015		Link		100 %	Ja	130	520	
3	9207 - 9210	16.03.2015				100 %	Ja	130	390	Alunskifer m tidvis mænaitt
4	9210 - 9214	17.03.2015				100 %	Ja	121	484	
4	9214 - 9218	18.03.2015				100 %	Ja	125	500	
3	9218 - 9221	19.03.2015				100 %	Ja	113	339	
4	9221 - 9225	21.03.2015				100 %	Ja	114	456	
3	9225 - 9228	23.03.2015				100 %	Ja	98	294	
7	9228 -					100 %	Ja	98	686	
5	9235					100 %	Ja	105	525	
5	9240					100 %	Ja	102	510	
5	9245					100 %	Ja	104	520	
5	9250					100 %	Ja	109	545	
5	9255					100 %	Ja	111	555	
5	9260					100 %	Ja	110	550	
5	9265					100 %	Ja	111	555	
5	9270					100 %	Ja	111	555	
5	9275					100 %	Ja	103	515	
5	9280					100 %	Ja	107	535	
5	9285					100 %	Ja	116	580	
5	9290					100 %	Ja	113	565	
5	9295	27.04.2015		Link		100 %	Ja	114	570	Pelnr. 9298: XRF på stoffprøver
5	9300					100 %	Ja	116	580	
5	9305					100 %	Ja	109	545	
5	9310					100 %	Ja	117	585	
5	9315					100 %	Ja	113	565	
5	9320					100 %	Ja	115	575	
5	9325	08.05.2015		Link		100 %	Ja	110	550	pelnr. 9327: XRF på alunskifer frå stoff
5	9330					100 %	Ja	108	540	
5	9335					100 %	Ja	110	550	
5	9340					100 %	Ja	106	530	
5	9345					100 %	Ja	106	530	
5	9350					100 %	Ja	106	530	
5	9355					100 %	Ja	102	510	
5	9360					100 %	Ja	102	510	
5	9365					100 %	Ja	106	530	
5	9370					100 %	Ja	105	525	

Tot

massar i myra, nordg løp (m3)	
totalt i myra	29150.16
alun fram til 27.0	15843.56
alun estimert etter 2	8155
tot alun	23998.56
resterande massz	5151.6
galgeberg	5151.6

Dagsone									
Pel	Område	Dato sprengt	XRF- analyser	Volum salve	Prosent alun/ galgeberg	Deponipliktig	Volum deponert m3)	Deponisted i myra	Begrunnelse
	Nordtangen		Link						Mænaitt med innslag av alunskifer
9200 - 9550	Horgenmoen	aug.14	Link			Ja			Mænaitt med innslag av alunskifer
	Nordtangen nord				< 20 %	Nei			små lag med alunskifer.
	Nordtangen nord	08.09.2014	Link		60 %	Ja			Alunskifer i eit lag opp til 1,5 tjukt. Gravemaskinførar fekk sortert ut nokre lass med alunskifer til deponi
9550	Horgenmoen grøft	10.09.2014	Link		60 %	Ja			Alunskifer med innslag av kalklinser og mænaittgangar
9500	Horgenmoen	09.12.2014	Link		100 %	Ja			alunskifer (med innslag av mænaitt)
9500	Horgenmoen	09.12.2014	Link		100 %	Ja			"
9500	Horgenmoen	15.12.2014	Link		100 %	Ja			"
9500	Horgenmoen	16.12.2014	"		100 %	Ja			"
11050	Nordtangen nord	23.03.2015	Link		10 %	Nei			Lite volum av deponipliktig skifer. Analyserte det svartaste kaksulveret i sprengningsområdet - ikkje deponipliktig. Nokre stader er det gule forvitringsflater på skiferen
	totalt					totalt skjering nord for tunnel m Nordtangen	1500		
						Forskjæring tunnel	16500		
						Totale mengder	18000		

Felles deklarasjonsskjema for farlig avfall og radioaktivt avfall



Statens strålevern
Norwegian Radiation Protection Authority

Vær nøyaktig når du fyller ut blanketten. Se retningslinjer på baksiden av 1. og 5. eksemplar. Alle felter merket med * skal fylles ut.

DEKLARASJONSNR.

9780679

018

3

avfallsprodusenten/avfallsleverandøren

Fylles ut av

Må kun brettas her

ut av 1. ledd

Fylles av aktør

Kommentarer fra aktør

A. Avfallsprodusent

* ORGANISASJONSNUMMER

NAVN

NCC Construction AS

ADRESSE

Postboks. 93 Sentrum

POSTNUMMER

0101

POSTSTED

Dato

KONTAKTPERSON

Byrn Jøsefth

TELEFONNUMMER

46440742

*EAL-KODE

170504

*AVFALLSSTOFFNR.

3851

Mengde

kilo
liter

*ANTALL KILO/LITER

30450

ANTALL KOLLI

1

X Bulk

EMBALLASJETYPE

Fysiske egen-
skaper ved 20°C

Pulver/
Støv

X Fast

Tyktflytende/
Pasta

Slam

Flytende

Gass

Fra hus-
holdninger

Ja

Inneholder
halogener

Ja

Inneholder
tungmetaller

X Ja

Tåler
frost

Nei

FLAMMEPUNKT
°C

AVFALLETS FARGE

Nærmere beskrivelse (IMDG - proper shipping name)

*Transportklassifisering
(Gjelder ikke radioaktivt avfall)

UN-NUMMER

ADR	ADR-KLASSE	EMBALLASJEGR.	2.1	2.2	2.3
RID					
IMDG	IMO-KLASSE	MFAG NUMMER	3	4.1	4.2
EMS NUMMER			4.3	5.1	5.2
			6.1	8	9

Ikke klassifiseringspliktig

*DAG MND ÅR

17 12 15

*UNDERSKRIFT FRA AVFALLSPRODUSENT

Byrn Jøsefth

Kommune hvor avfallet oppstod.
For skip og avfall fra offshore
føres det opp kommune der
avfallet blir ilandført.

*KOMMUNENR.

*REG NR.

AKTØRENS NAVN

*DAG MND ÅR

AKTØRENS UNDERSKRIFT

EAL-KODE

AVFALLSSTOFFNR.

Mengde

kilo
liter

ANTALL KILO/LITER

30450

ANTALL KOLLI

1

X Bulk

EMBALLASJETYPE

ANMERKNINGER/EVENTUELLE AVVIK MELLOM AVFALLET OG BESKRIVELSEN FRA PRODUSENTEN

REG NR.

AKTØRENS NAVN

*DAG MND ÅR

UNDERSKRIFT

Øvrige aktører

REG NR.

DAG

MND

ÅR

AKTØRENS NAVN

Behandlingsanlegg

REG NR.

DAG

MND

ÅR

97 3247 197

17 12 15

NAVN

Borge Deponi

UNDERSKRIFT

B. Jøsefth

Fylt på

REF.TANK NR.

*DAG

MND

ÅR

UNDERSKRIFT

Norsk Gjenvinning Miljøprosjekt AS

Avd. Borge Pukkverk
 Lilleborgeveien 18
 1655 SELLEBAKK
 OrgNr 998901227

Vektkvittering nr: 1964

Dato: 17.12.2015 07:55

Kunde Nr. 263003
Navn NCC Construction AS
Adresse: Musmyrvegen 10
Postadr: 3520 JEVNAKER
Prosjekt: 521812 521812 RV4
Sone:

Bil nr.: 36464
Reg.Nr.: DP37635
Sjåfør: Alf Johansen as
Notat

Operatør: Borge

Vare Nr:	Varenavn	Brutto	Tara	Netto	
37	Alunskifer/Syredannende bergarter	52,15	21,70	30,45	t

Signatur: _____



Overvåkningsprogram



Innholdsfortegnelse

OVERVÅKNINGSPROGRAM	1
REFERANSER	8
VEDLEGG 1.....	10
VEDLEGG 2.....	12
VEDLEGG 3.....	13
VEDLEGG 4.....	16

OVERVÅKNINGSPROGRAM

Overvåkning anleggsperiode							
Overflatevann							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.*	Ref.	Parametere	Ant./Frekv.
Overvåkning av vannparametere i Vigga	Vigga: Oppstrøms, nedstrøms myr og ved tunnel-utslipp (kart).	Anlegg	Kontroll på utslipp fra myrområde og utslipp av tunneldrivevann	BH	1	Tetthet, ledningsevne, pH, salinitet, TDS, TSS, Turbiditet, Vannhøyde, Vanntemperatur	Kontinuerlig
Overvåkning i Vigga med DGT: metaller	Vigga: Oppstrøms, nedstrøms myr og utslipp tunnelvann	Anlegg	Kartlegging av punktkilder. Undersøkelse av biotilgjengelighet	Kons	1	Tre typer DGT 1: Hg DGT 2: As DGT 3: Al Ag Ba Ca Cd Ce Co Cr Cu Dy Er Eu Fe Gd Ho La Lu Mg Mn Nd Ni Pb Pr Sm Sr Tb Tm U Yb Zn	Prøvetaking og parametere tilpasses anleggsvirk-somheten (aktivitet og utbredelse). Frekvens vil være fra 2-4 uker. Kortere på sommeren og ved alunskifer.
Overvåking av vannparametere v Nordtangen (alunskifer)	Nedstrøms vegskjæring og oppstrøms ved behov (kart)	Anlegg	Kontroll av utslipp fra utspredning av to vegskjæringer	BH	3	Analyseliste, vedlegg 3.	Prøvetaking en tilpasses anleggsvirk-somheten (aktivitet) i lys av XRF målinger: generell frekvens: tabell 1
Overvåking av Vannparametere V/Horgenmoen (alunskifer)	Nedstrøms vegskjæring (kart)	Anlegg	Kontroll av utslipp fra utspredning av forskjæring/vegskjæring (forvittra alunskifer)				
Øvrig prøvetaking fra anleggsområde: bekker, Vigga, kummer etc ved behov.	Hele anleggsområ det	Anlegg	Generell prøvetakning for overvåkning og eventuell avdekning av unormaliteter	BH			
Radioaktive nuklider/isotoper gjennom korrelasjon med Uran	Avrenning myr under utlegging alunskifer fra tunnel	Anlegg	Avdekke eventuell avrenning av radioaktive stoffer. Analysene som tas korreleres med mengde uran i prøvene slik at uran-mengden kan brukes til å vurdere radioaktiviteten i senere vannprøver.	BH		U-238, U-235 og K-40. NORWAT/NMBU analyserer	Ved påtreff alunskifer analyseres U-238, U-235, K-40 og deres datterprodu kter i vannprøver.

*BH = Byggherre, Kons = Konsulent, EN = Entreprenør

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Tunneldrivevann							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./Frekv.
Overvåkning av tunneldrivevann fra renseanlegg	Søndre tunnelportal	Anlegg, driving av tunnel	Overvåkning og kontroll av utslippsvann. Det er satt krav til rensing	EN	1	ledningsevne, pH, turbiditet.	Kontinuerlig
1 ukes blandprøve	Søndre tunnelportal	Anlegg, driving av tunnel	Overvåkning og kontroll av utslippsvann. Det er satt krav til rensing	EN	2	Olje, susp.stoff, ammonium, totalt nitrogen og totalt fosfor, alle metall, PAH.	1/uke
Radioaktive nuklider/Isotoper gjennom korrelasjon med uran	Tunneldrivevann under sprengning i alunskifer	Anlegg	Avdekke eventuell avrenning av radioaktive stoffer. Analysene som tas korreleres med mengde uran i prøvene slik at uran-mengden kan brukes til å vurdere radioaktiviteten i senere vannprøver.	BH		U-238, U-235 og K-40. NORWAT/NMBU analyserer	Ved påtreff alunskifer analyseres U-238, U-235, K-40 og deres datterprodukter i vannprøver.
Slam renseanlegg tunnel	Søndre tunnelportal	Anlegg	Avgjøre forurensningsgrad før deponi	EN	HB 261 ¹	Metaller og olje	Før hver tømming (sugebil)
Stikkprøver renseanlegg tunnel	Søndre tunnelportal	Anlegg	Kontrollprøver	EN		Analyseliste vedlegg 3	Avh av observasjoner, avvik, prøveresultater, tabell 1.
Grunnvann							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./Frekv.
Overvåking av brønner i myr	Brønn 3, 6, 9, 12, 13 (se kart), Samt andre brønner som ennå lever, og noen nye vil etableres (sirkel kart)	Anlegg	Overvåke effekter av masseutskifting med alunskifer	BH	3	Grunnvanns-nivå pH, oppløst oksygen, redoks og temperatur.	Kontinuerlig
Overvåking av brønner i myr	--«--	Anlegg	Overvåke effekter av masseutskifting med alunskifer.	BH	3	Analyseliste vedlegg 3, redox.	Avh av framdrift/aktivitet

¹ Statens vegvesens håndbøker: <http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker>

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Løsmasser (finstoff/slam, tunnelstein, borkjerner)							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./F rekv.
XRF	Utsprengt stein tunnel, slam/finstoff tunnel, borkjerner, sprengt skjæring,	Anlegg	Klassifisere alunskifer og andre bergarter. Sjekke forurensnings- og syrepotensial	BH		Metaller, syrepotensial (Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Ba, W, Au, Pb, Bi, Th, U).	Etter hver kjerne boring og ved behov
Overvåkning driftsperiode 3 år etter anleggsslutt²							
Overflatevann							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./F rekv.
Overvåkning av vannparametere i Vigga med sonde for vannkvalitet	Oppstrøms, nedstrøms myr og ved tunnel-utslipp (kart).	Drift	Kontroll tilsig fra myrområde	BH	1	Tetthet, ledningsevne, pH, salinitet, TDS, TSS, Turbiditet, Vannhøyde, Vanntemperatur	Kontinuerlig i min. 1 år, avgjør-else etter 1 år skal begrunnes.
Overvåkning av vannparametere i Vigga (totalkjemi)	Oppstrøms, nedstrøms myr og ved tunnel-utslipp (kart).	Drift	Kontroll tilsig fra myrområde	BH	1	Analyseliste, vedlegg 3.	Min. 4/år
Overvåking av vannparametere v/ Nordtangen (alunskifer) Vannprøver (totalkjemi)	Nedstrøms vegskjæring og oppstrøms ved behov (kart)	Drift	Kontroll av eventuell utlekking og iverksettelse av tiltak	BH	3	Analyseliste, vedlegg 3.	Min. 4/år
Overvåking av vannparametere v/Horgenmoen (alunskifer) Vannprøver (totalkjemi)	Nedstrøms vegskjæring (kart)	Drift	Kontroll av eventuell utlekking og iverksettelse av tiltak	BH	3	Analyseliste, vedlegg 3.	Min. 4/år
Alle prøvelokaliteter skal også sjekkes med håndinstrument på vannparametere (pH, ledningsevne, turbiditet etc). Det skal også tas prøver på andre lokaliteter avhengig av observasjoner og vurderinger, for eksempel i Vøienbekken	Område nedstrøms myr	Drift	Kontroll av eventuell utlekking og iverksettelse av tiltak	BH	3	Analyseliste, vedlegg 3.	Min. 4/år

² Miljøovervåkning vurderes 3 år etter anleggsslutt sammen med skriftlig rapport til Statens strålevern og Miljødirektoratet, og videre program avgjøres.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Løsmasser/fjell							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./F rekv.
XRF: Overvåkning av åpne skjæringer med alunskifer	Nord for Gran sentrum	Drift	Kontroll av eventuell utlekking og iverksettelse av tiltak. Sjekke forurensnings- og syrepotensial på gjenstående skjæringer.	BH		Metaller, syrepotensial	1/år
Visuell sjekk: Overvåkning av åpne skjæringer med alunskifer	nord for Gran sentrum	Drift	Kontroll av eventuell utlekking i form av rustutfellinger og iverksettelse av tiltak	BH		Visuell sjekk etter forvitningsrester i form av rustdannelse og fragmentering	Min. 4/år
Grunnvann							
Type undersøkelse	Hvor	Når	Formål	Utf.	Ref.	Parametere	Ant./F rekv.
Overvåking av brønner rundt myr (kontinuerlig i web-hotell)	Hvilke brønner må avklares etter anleggsslutt	Drift	Overvåke effekter av masseutskifting med alunskifer	BH	3, Til-taksp lan hydro logi s. 10.	Grunnvanns-nivå pH, Eh og temperatur.	Min. 4/ år
Overvåking av brønner rundt myr (vannprøver totalkjemi)	--<--	Drift	Overvåke effekter av masseutskifting med alunskifer. Vannprøvene vil enten tas fra brønner rundt myr eller fra kummer etc. i forbindelse med brønnene	BH	3, Til-taksp lan hydro logi s. 10.	Analyseliste vedlegg 3, redox.	Min. 4/år i 5 år
Forskning og utvikling: NORWAT							
Task 1: karakterisering av alunskifer. Felt-XRF for å screene berggrunnsoverflater.	Stedsspesifikke	Før (2012 og 2013), under (2014) og eventuell etter utgraving og masseutskifting	Karakterisering av alunskiferen. Dosenivåer for å finne aktuelle grenseverdier for deponier med alunskifer. Undersøkelse av økosystemtransport: biologisk opptak av radionuklider og metaller fra vann-, jord- og plantesystemer.	NOR	4	Dosenivåer (gamma) i , U- og Th-isotoper og deres døtre spesielt radium-isotoper, Po-210, Pb-210 samt nivåer av relevante metaller i prøver.	Før, under og etter anlegg sperio de
Kartlegging av dosenivåer i felt (gamma)	Deponiets nærområde, kart	Før (2012 og 2013), under (2014) og eventuell etter utgraving	Karakterisering av alunskiferen. Dosenivåer for å finne aktuelle grenseverdier for deponier med alunskifer. Undersøkelse av økosystemtransport: biologisk opptak av radionuklider og	NOR	4	Dosenivåer (gamma) i , U- og Th-isotoper og deres døtre spesielt radium-isotoper, Po-210, Pb-210 samt nivåer av relevante	Før, under og etter anlegg sperio de 2012, 2013,
Borkjerner, vannprøver (inkl grunnvann), sedimentprøver, prøver av fisk (ulike organer), bunndyr og planter og jord	Område for masseutskifting og økosystem	Før (2012 og 2013), under (2014) og eventuell etter utgraving	Karakterisering av alunskiferen. Dosenivåer for å finne aktuelle grenseverdier for deponier med alunskifer. Undersøkelse av økosystemtransport: biologisk opptak av radionuklider og	NOR	4	Dosenivåer (gamma) i , U- og Th-isotoper og deres døtre spesielt radium-isotoper, Po-210, Pb-210 samt nivåer av relevante	Før, under og etter anlegg sperio de 2012, 2013,

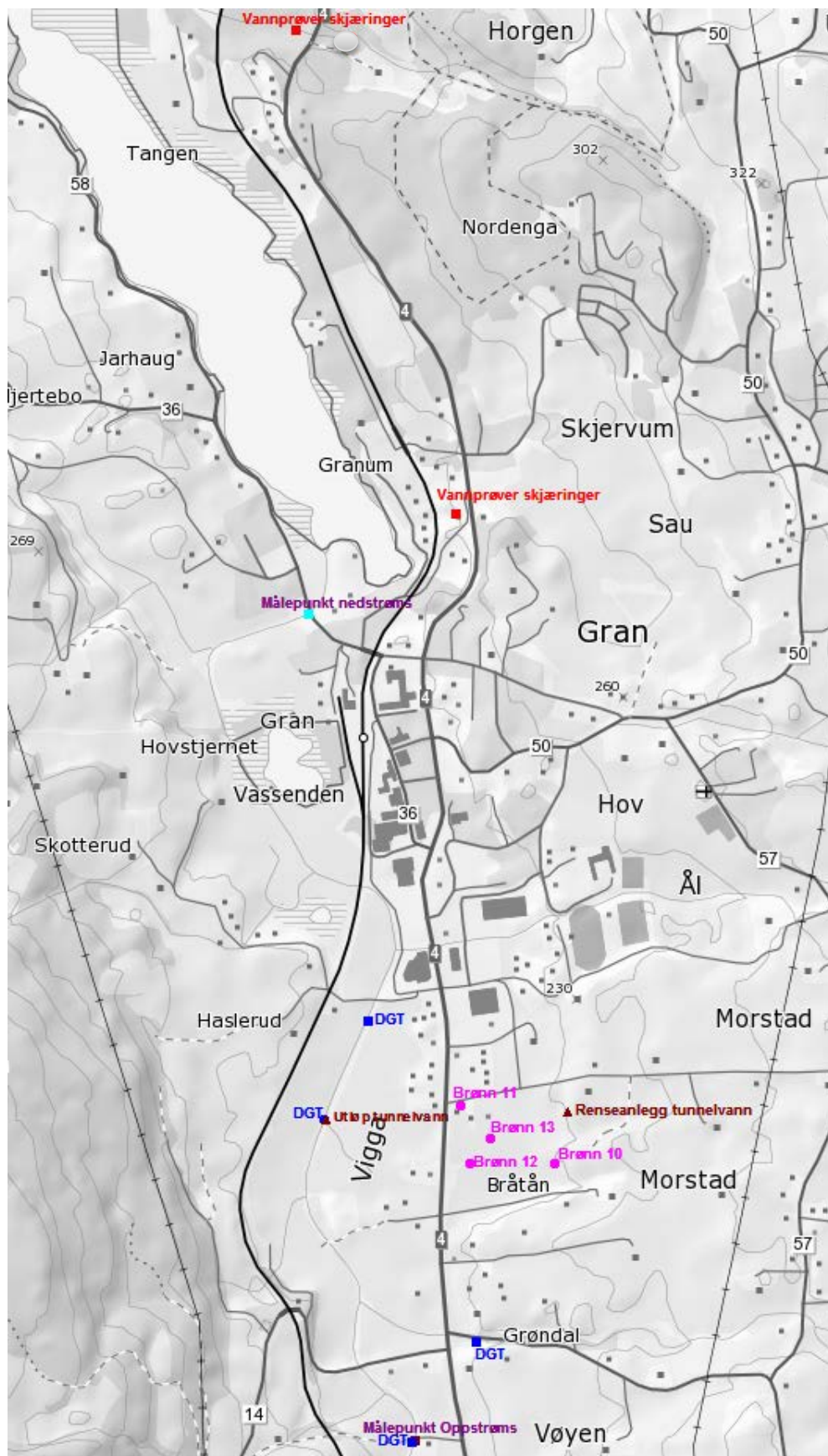
OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Task 2: Potensial for mobilisering av forurensning fra alunskifer. Karakterisering av alunskifer overflater, partikkel sammensetninger og vitringshastighet under aerobe og anaerobe forhold	Materialer fra myr og borkjerner. Ferske overflater etter sprengning	g og masseutsifting Prøver 2012 og 2013 og etter sprengning.	metaller fra vann-, jord- og plantesystemer. Bedre konsekvensutredning og ROS-analyse for alunskifer ved endring av redokspotensial. Det er 3 masteroppgaver knyttet til task 2, se eget notat.			metaller i prøver. Metaller, redokspotensial, pH etc.	2014
Task 3: Undersøke radionuklider og metaller fra avrenningsvannet og opptak i biota (prøver av fisk og bunndyr)	Vigga og bekker som drenerer til Vigga	Prøver før og under anleggsp erioden i Vigga og bekker som drenerer til Vigga.	Arbeidet vil avdekke om dyrelivet i Vigga og rundt er påvirket av anleggsarbeidene.	NOR	4	Radionuklider og metaller i vann og biota	Før, under, etter anlegg speriode
Eksponering av fisk for tunnelvann og vann fra skjæring	Tunnel og skjæring alunskifer	Under og etter anleggsp erioden					Under og etter anlegg speriode
Task 4: Stedsspesifikk vurdering av konsekvenser og risiko for bruk i beslutninger og regulering av forurensning av denne typen inngrep.		Etter task 1-3. Kunnskap fra task 1-3 brukes til å gi en slik vurdering.	Kunnskapsoverføring, rapportering	NOR	4	Bearbeiding av data fra task 1-3 til vurdering av konsekvenser.	Etter anlegg sslutt
Task 5: Vurdering av sorbenter og flokkulanter som tiltak for å fange opp metaller og uran fra vann og sedimentering ved rensing.	Egnede sorbenter fra modellforsøk vil testes på jord- og vannsystemer fra deponiområdet	Etter teststudies skal metaller og uran i tunnelvann og avrenningsvann fra vegskjæring renses.	Videreutvikling av sorbenter for økt sorpsjonskapasitet.	NOR	4	Metall og forurensningskomponenter	Polyclyay er besluttet å brukes som absorberent for vann fra myr under masseutskifting med alunskifer.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

NORWAT (<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/NORWAT>) er et fireårig forskningsprogram som omhandler tiltak for vannbehandling for vegavrenning og utbygging, drift og vedlikehold. Det kan skje endringer i programmet til NORWAT. Programmet vil gi lignende prosjekter et godt utgangspunkt og erfaringsoverføring, men det vil også være til direkte nytte for prosjektet Rv. 4 Gran.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN



Figur 1 Kart som viser prøvepunkter for anleggsperiode.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Tabell 1. Frekvenser for prøvetagning vannprøver anleggsområde Rv. 4 Gran gr. Jaren

	Frekvens	Visuell insp	Eh-pH turbiditet mm**	XRF***
Vigga	hver 2 uke	ukentlig		
Bekker				
<u>Vøien</u> *	1-2/mnd	ukentlig	Ja	Ja
<u>Horgenmoen</u> Nedstrøms forskjæring tunnelpåhogg	1-(2)/mnd	månedlig	Ja	Ja
<u>Nordtangen</u> Mellom vegskjæringer i nord	1-2/mnd	ukentlig	Ja	Ja
Grunnvann				
<u>Brønn 10</u> (om den virker)	1/mnd	månedlig	Ja	
<u>Brønn 12</u>	1/mnd	månedlig	Ja	
<u>Brønn 13</u>	1/mnd	månedlig	Ja	
<u>Brønner i deponi</u> Deretter tilpassa framdrift: 1/hver 2 uke	1/mnd	månedlig	Ja	
<u>Vann i deponi</u> Ved oppgraving	1 /hver 2 uke: Ja Avhengig av framdrift		Ja(spesielt viktig)	Ja
Kum				
<u>Bak renseanlegg</u> <u>utløp Vigga</u>	1/hver 2 uke	daglig	(kan)	(evt slam)
Rensanlegg				
Renset vann Vann i renseprosess, samt inn og ut (renseeffekt)	Tilpasset resultat fra ukeblandprøve	Ja	(kan)	(evt slam)

*) prøver både oppstrøms og nedstrøms veganlegg

**) In situ målinger

***) Analysere på finstoff

REFERANSER

Notat Logger vannparametere og DGT i Vigga	VEDLEGG 1
Analyseliste fra kontrakt (krav til analyser for EN)	VEDLEGG 2
Analyseparameterar for vatn	VEDLEGG 3
Kort notat: info om task 1-5 i NORWAT	VEDLEGG 4

–

VEDLEGG 1

Prøvepunkter i Vigga og overvåkning av avrenning fra myr masseutskiftet med alunskifer

Oversikt over målepunkter (inkl parametere) i Vigga (1) samt forslag til videre prøvetagning/målepunkter (2)

Dette notat tar for seg prøvetaking av Vigga gjennom anleggsperiode som holdes av Statens vegvesen. I tillegg har NORWAT (etatsprosjektet Nordic Road Water) et omfattende samarbeid med UMB (Universitet for miljø- og biovitenskap) og Bioforsk som inneholder flere arbeidspakker vedrørende radioaktivitet, avrenning, økologiske effekter av anleggsvirksomheten, sorbenter og flokkulanter for rensing av metaller og uran. NORWAT sitt prosjekt beskrives i nærmere detalj i vedlegg 6.

1. Permanente loggere

Det er opprettet to målepunkter i Vigga som Statens vegvesen skal bruke til prøvetaking, og disse skal opprettholdes hele året, se kartutsnitt nedenfor. Disse skal være oppstrøms og nedstrøms deponiområdet. Vi bruker samme type måleinstrument på begge punkter. Dette sikrer at dataene kan sammenlignes.

Instrumentet består av en multiparametersonde som logger kontinuerlig. Multiparametersonden inneholder sensorer for:

- Vannhøyde (trykkcelle)
- Temperatur
- pH
- Ledningsevne
- Turbiditet
- I tillegg avledes salinitet og total suspendert materiale (TSS) fra de øvrige parameterne. TSS varierer fra lokalitet til lokalitet og krever kalibrering mot turbiditet for å gi tilfredsstillende resultater og er ikke gjort. Dette kan eventuelt gjøres senere ved å analysere vannprøver med ulikt partikkelinnhold. Da kan også tidligere verdier beregnes.

All data legges ut på følgende nettsted (krever innlogging): <http://128.39.191.5/projects/login.php>

Entreprenør er pålagt å kontinuerlig logge turbiditet, pH og konduktivitet av vannet i deres rensenanlegg for tunneldrivevann. De skal i tillegg ta ukeblandprøver av utslippsvann fra anlegget. For den kontinuerlige loggingen bruker entreprenør samme måleutstyr som brukes i Vigga. Resultatene fra deres kontinuerlige målinger legges direkte inn på samme nettside som vi bruker til våre loggere.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

2. Vannprøver, DGT (Diffusion gradient in thin films) og BLM (Biotic Ligand Model)

For måling av metaller i Vigga brukes DGT. De er nå plassert i forhold til myr som skal masseutskiftes og utløp for rensset tunneldrivevann, men mulig utvidelse til bruk lenger nord ved tunnelen. DGT er små kopper med gel som settes ut i vann. DGT baserer seg på passiv diffusjon av ioner over en membran. Det betyr at det er den løste fraksjonen (og den biotilgjengelige) som måles (ikke total). DGT ligger ute en gitt tidsperiode før de samles inn. Resultatet er en tidsintegrert konsentrasjon av f.eks. løst Cu. DGTene skal analyseres for en rekke metaller, samt noen radioaktive stoffer.

I tillegg skal det suppleres med vannprøver for å analysere på en rekke parametere som en del av overvåkingen av Vigga.

Det er ønskelig å bruke parameterne fra vannprøvene i BLM (biotic ligand model) for å ha en pekepinn på tilstanden i Vigga og dens biotilgjengelighet. Informasjon og verktøy for BLM finnes her: http://www.hydroqual.com/wr_blm.html.

Overvåking av Vigga skal holdes gjennom hele anleggsperioden. Omfanget og prøvefrekvensen vil variere gjennom anleggsperioden med et generelt utgangspunkt på 3-4 uker for DGTene før de skiftes ut. Hyppigere frekvens under utlasting og sprengning i alunskifer.

VEDLEGG 2

Utdrag fra Kontrakt mellom NCC og Statens vegvesen:

Ukeblandprøvene fra rensset vann i renseanlegg for tunnel skal minimum analyseres for:

- Alkalinitet
- Aluminium
- Ammonium
- Arsen
- Bly
- Jern
- Kadmium
- Kalium
- Kalsium
- Klorid
- Klorid dersom dersom saltsyre benyttes i pH-regulering
- Kobber
- Kobolt
- Krom
- Magnesium
- Mangnan
- Molybden
- Natrium
- Nikkel
- Nitrat
- Oppløst ammoniakk
- pH-verdi
- Sink
- Sulfat
- Totalt organisk karbon
- Uran
- Vanadium
- Filtrerte prøver
- Kjemikalier i renseprosessen: analyse på aktive reagenser
- I tillegg legges minimum følgende inn: Hg , Fosfat-P og olje

VEDLEGG 3

Vedlegg – Analyseparameterar for vatn

Bakgrunn

- a) *Det skal utførast analysar i samsvar med krava til Fylkesmannen, gitt i utslippstillatelsen datert 19.11.2013.*
- b) *Det er også behov for å analysere for fleire parameterar enn krava frå Fylkesmannen (sjå punkt 3 under). Hovudårsakene til dette er:*
 - *Behov for tidleg varsel om sulfidoksidasjon: Ein del parameterar (totalt Fe, sulfat og alkalinitet = bufferevne) gir utfyllande og heilt nødvendig bakgrunn for få tidleg varsel om sulfidoksidasjon. Poenget er at sulfidoksidasjon og akselerert metallutlekking ikkje gjør seg utslag i låge pH verdier før bufferevna er betrakteleg redusert.*
 - *Behov for å kunne gje ei moderne fagleg vurdering av mekanismane som styrer miljøeffektane, både i anleggsfasen og driftsfasen. Parameterane er til saman indikatorar på ulike reaksjonar som går føre seg mellom veg, vatn og berg. Jo meir vi forstår om mekanismane, jo lettare er det å justere avbøtande tiltak i rett lei.*
 - *Det gjer oss i stand til å dokumentere endringar i forhold til alle bakgrunnsverdiane («før-tilstand») på ein fullstendig måte.*
- c) *Analysekvaliteten må dokumenterast og vere sporbar for ettertida. Byggherre og entreprenør bør derfor utveksle dokumentasjon av analyseusikkerhet/ analysemetodar frå dei laboratoria ein til ei kvar tid bruker. Dette er særleg viktig dersom ein endrar leverandørar undervegs.*
- d) *Ein tar alltid ut prøver store nok til at analyselaboratoriet kan oppnå deklarererte deteksjonsgrenser*

Analysar av 1 vekes blandprøver.

1 vekes blandprøver samlast inn i samband med kontinuerlege målingar av pH, turbiditet og konduktivitet på følgjande stader etter frekvensar pålagt av Fylkesmannen:

- Utslepp av tunnelvatn frå reinseanlegg, samt område for masseutskifting av myr med alunskifer etter behov (når/dersom ein må pumpe ut vatn)
- Elva Vigga; oppstrøms og nedstrøms

Entreprenør har ansvar for uttak av blandprøver frå tunnelvatn og analysere: pH, alkalinitet, næringsstoffer og metaller, oppløst ammoniakk og eventuelle kjemikalier brukt i renseprosessen.

Byggherre har ansvar for analyse av stikkprøver frå Vigga og etter behov i samband med masseutskifting av myr. *Byggherre bestiller alltid analysar etter analyselista i Tabell 1.*

Byggherre har vidare ansvar for in situ målingar av pH og redox (Eh) i reinseanlegg, samt i vatn som er oppsamla eller renner inn i myra under massutskifting.

Analysar av overflatevatn i bekker, elver og vatn, samt grunnvatn i observasjonsbrønner

Prøveuttak og analyse utførast av Byggherre etter nærmare bestemte frekvensar avhengig av aktiviteten på anlegget. Faste lokalitetar går fram av eige kart. Det er vidare nødvendig å samle prøver av a) årstidsavhengige bekker som renner langs vegen i alunskifer, b) avrenning frå torvmasser lagra oppstrøms masselageret på myra & c) avrenning frå eventuell mellomlagra alunskifer. Alle analysar av vatn skal utførast i hht. analyseprogram i Tabell 1. pH og Eh skal målast *in situ* saman med alle prøveuttak.

OVERVÅKNINGSPROGRAM RV 4 GRAN GRENSE JAREN

Tabell 1 Analyseliste for vatn. **Alle prøver skal vere filtrerte.** Merknadene viser kva den enkelte parameteren betyr. Ukommenterte parameterar kjem uansett med i ICP-MS analysar, saman med metalla. **NB!** Det er viktig at ein velger analyselaboratorium som detekterer alle parameterar nøyaktig nok.

Parameter	Merknad
Ca (Kalsium)	Bufferevne
Fe (Jern)	Redoksfølsomt & effektar av forsuring
K (Kalium)	Statens strålevern
Mg (Magnesium)	Bufferevne
Na (Natrium)	
Al (Aluminium)	Relatert til effekt av forsuring
As (Arsen)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Ba (Barium)	
Cd (Kadmium)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Co (Kobolt)	
Cr (Krom)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Cu (Kopper)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Hg (Kvikksølv)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Mn (Mangan)	Redoks-følsomt
Mo (Molybden)	
Ni (Nikkel)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
P (Fosfor)	
Pb (Bly)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Si (Silisium)	
Sr (Strontium)	
Zn (Sink)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
V (Vanadium)	
B (Bor)	
Th (Thorium)	Statens strålevern
U (Uran)	Statens strålevern
S-total	Relatert til effekt av forsuring
Sulfat (SO ₄)	Relatert til effekt av forsuring
Nitrat-N (NO ₃ -N)	Sprengstoffrestar
Ammonium-N (NH ₄ -N)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Oppløyst ammoniakk (NH ₃)	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Fosfat-P (ortofosfat-P)	
P-total	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Klorid (Cl ⁻)	
Sulfid (H ₂ S i vann)	Redoksfølsomt
TOC (total organic carbon)	Generelt viktig
DOC (dissolved organic carbon)	Generelt viktig. Bl.a. Relatert til tungmetall/biologi BLM
Turbiditet	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
pH	Generelt viktig parameter
Ledningsevne (konduktivitet)	Generelt viktig parameter
Alkalinitet pH 4.5	Bufferevne
Alkalinitet pH 8.3	Bufferevne
PAH	I hht Fylkesmannen/utsleppst.
Olje	I hht. Fylkesmannens/utslippst.

Prøveemballasje

Ein konfererer med analyselaboratoriet og får tilsendt riktig type prøveemballasje. Det er viktig at det til ei kvar tid er tilgjengeleg eit stort nok lager av prøveflasker av riktig type på anlegget. Byggherre bør sjå til at også entreprenør bruker riktig emballasje. For PAH og H₂S er det normalt behov for spesialflasker av glas, eller bruker ein eigna plastflasker frå analyselaboratoriet.

VEDLEGG 4

Notat - Kort informasjon om samarbeidet mellom UMB og NORWAT for Rv. 4 Gran - Jaren

Arbeidspakke 1

Arbeidspakken omfatter karakterisering av alunskifer i tunnel- og veiskjæring og deponi. Basert på tidligere geologisk kartlegging av området, vil felt-XRF benyttes til å karakterisere metallfordelinger på bergartsoverflater.

Det gjennomføres feltarbeid og prøvetaking før (sommer og høst 2013), under (2014) og eventuelt etter tunnel- og vegskjæring utgraving og deponering av alunskifer er foretatt. Dosenivåer (gamma) i deponiets nærområde vil også kartlegges for å vurdere hvilke grenseverdier som vil være rimelig å kreve for deponi. Prøvetaking vil fokusere på stedsspesifikk karakterisering mhp. konsentrasjoner av U- og Th-isotoper og deres døtre spesielt radium-isotoper, Po-210, Pb-210 samt nivåer av relevante metaller i prøver fra utvalgte steder ved hjelp av avanserte metoder.

Arbeidspakke 2

Mål: Vurdere potensialet for mobilisering av forurensning fra alunskifer fra ferske overflater etter sprengning og skaffe informasjon om forvitningsmekanismer og kinetikk.

Masteroppgaven til Halldis Fjermestad og Tari Helmers er en del av disse undersøkelsene vedrørende utlekkingspotensial.

Arbeidet vil gi en bedre konsekvensutredning og ROS-analyse for alunskifer ved endring av redokspotensial.

Arbeidspakke 3

Mål: Undersøke radionuklider og metaller i avrenningsvannet og opptak i biota (fisk, bunndyr) samt biologiske effekter av økologisk relevans. Fokus på bunndyr og ørret i Vigga og bekker som drenerer til Vigga. I tillegg skal det gjennomføres eksponering av fisk for tunnelvaskevann og vann fra skjæringa. Det skal tas prøver før og under anleggsperioden.

Arbeidet vil avdekke om dyrelivet i Vigga og rundt er påvirket av anleggsarbeidene.

Arbeidspakke 4

For å vurdere langsiktige konsekvenser fra radioaktiv forurensning forbundet med uran, thorium og deres døtre i tillegg til metaller i avrenning fra anleggsområdet, veiskjæring, og fra deponi med alunskifer, er det nødvendig å ha nødvendig informasjon om konsentrasjoner, mobilitet og økosystemtransport av radionuklider og metaller (Task 1 og 2), biologisk opptak, akkumulering og dose-respons effekter (Task 3). Målet for Task 4 er å sette grunnleggende kunnskap fra Task 1-3 inn i et økologisk perspektiv, og å gi en stedsspesifikk vurdering av konsekvenser og risiko for bruk i beslutninger og regulering av forurensning av denne typen inngrep.

Arbeidspakke 5

Mål: Undersøke sorbenter og flokkulanter som tiltak for å fange opp metaller og uran fra vann og sedimentering ved rensing.

Sorbenter som viser seg egnet i modellforsøk vil testes på jord – vannsystemer fra deponiområdet, dvs myr og leirjord under aerobe og anaerobe forhold.

Bentonitt er en lovende sorbent for reduksjon av tungmetaller og uran i ferskvann. Det kan benyttes som fast tilsetningsstoff i deponi eller som en barriere for utslippsvann fra deponi.

Sorbentene må videreutvikles med varmebehandling for å oppnå økt sorpsjonskapasitet. Etter teststudier skal metaller og uran i tunnelvann og avrenningsvann fra vegskjæring renses.

20.05.15	18.06.15	01.07.15	Klasse
	<0.010		
	<0.010		
67.7	18,2	13,9	
1.28	1.77	1.43	
<0.150	<0.150	<0.150	
2.21			
11	5.78	3	
	<0.010		
7.03	1.57	<3	2-3
118	96,9	142	
64.2	58,9	92,8	
	<0.010		
	<0.010		
	<0.010		
	<0.010		
111	124	214	
3.84	2.34	4.13	2-4
0.35	0.649	0.437	
0.723	0.0332	<0.5	1-2
<5	<0.2	<5	1-2
	ja		
	<0.010		
<0.02	0.00083	<0.02	
	<0.020		
nei	Ja	Ja	
	<0.010		
	<0.010		
0.022	<0.010	<0.010	
	9.3		
	85		
	8.2		
	71		
	63		
	<10		
<0.002	<0.002	<0.002	2
	<0.010		
21.1	16,5	32,3	
22.2	22,4	25,9	
	<0.010		
150	134	204	
19.7	21,9	38,3	
20.3	79,8	35,7	
4610	1680	3700	
160	122	217	
	<0.030		
11.7	38,5	16,1	2-3
20	6,57	7,29	
42.6	11,5	10,4	
<50	8,11	<50	
<0.5	<0.02	<0.5	1-3
8.54	8,01	8,46	
0.184	0.616	<0.010	
	<0.010		
175	185	330	
2.93	3.47	2,05	
5090	3230	5480	
564	524	1000	
	n.d.		
	n.d.		
158	753	11,2	
<0.02	0.168	<1	
<1.00	0.82	2,24	
141	712	2,05	
225	177	278	
45.3	5,03	5,02	
<10	5,09	<10	1-4

Vedlegg 12.2

Drensvatn frå mellomlager ned til masselager			
ELEMENT	SAMPLE	Drensvann fra mellomlager ned til myr, dam 1 (30.04.2014)	Drensvann fra mellomlager ned til myr, dam 2 (30.04.2014)
Acenaften	µg/l	<0.010	
Acenaftylen	µg/l	<0.010	
Al (Aluminium)	mg/l		0.027
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l		5.34
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l		<0.150
Ammoniakk (NH3)	mg/l		<0.010
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l		<0.003
Antracen	µg/l	<0.010	
As (Arsen)	µg/l		0.683
B (Bor)	mg/l		0.0245
Benso(a)antracen^	µg/l	<0.010	
Benso(a)pyren^	µg/l	<0.010	
Benso(b)fluoranten^	µg/l	<0.010	
Benso(ghi)perylen	µg/l	<0.010	
Benso(k)fluoranten^	µg/l	<0.010	
Cd (Kadmium)	µg/l		0.0608
Cr (Krom)	µg/l		0.154
Cu (Kopper)	mg/l		0.00118
Dibenso(ah)antracen^	µg/l	<0.010	
Fe (Jern)	mg/l		2.98
Fenantren	µg/l	<0.020	
Fluoranten	µg/l	<0.010	
Fluoren	µg/l	<0.010	
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l		<0.001
Fraksjon >C10-C12	µg/l	5.4	
Fraksjon >C10-C40	µg/l	51	
Fraksjon >C12-C16	µg/l	13.3	
Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l	13.3	
Fraksjon >C16-C35	µg/l	<30	
Fraksjon >C35-C40	µg/l	<10	
Hg (Kvikksølv)	µg/l		<0.002
Indeno(123cd)pyren^	µg/l	<0.010	
Klorid (Cl-)	mg/l		12
Krysen^	µg/l	<0.010	
Ledningsevne	mS/m		75
Mn (Mangan)	mg/l		0.944
Na (Natrium)	mg/l		11.5
Naftalen	µg/l	0.062	
Ni (Nikkel)	µg/l		3.93
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l		0.012
N-total	mg/l		4.74
Pb (Bly)	µg/l		0.103
pH		6.92	7.1
P-total	mg/l		0.01
Pyren	µg/l	<0.010	
Sb (Antimon)	µg/l		0.512
Se (Selen)	µg/l		<0.5
S-total	mg/l		9.97
Sulfat (SO4)	mg/l		27
Sum PAH carcinogene^	µg/l	n.d.	
Sum PAH-16	µg/l	0.062	
Suspendert stoff	mg/l		8.2
Th (Thorium)	µg/l		0.022
TOC	mg/l		33
Turbiditet	FNU		24
U (Uran)	µg/l		4.1

Vedlegg 13.1

Målinger av vatnet i open byggegrop i masselageret med handholdt multiparametersonde (q-SENSE multi parameter water quality probe, Eijkelkamp)

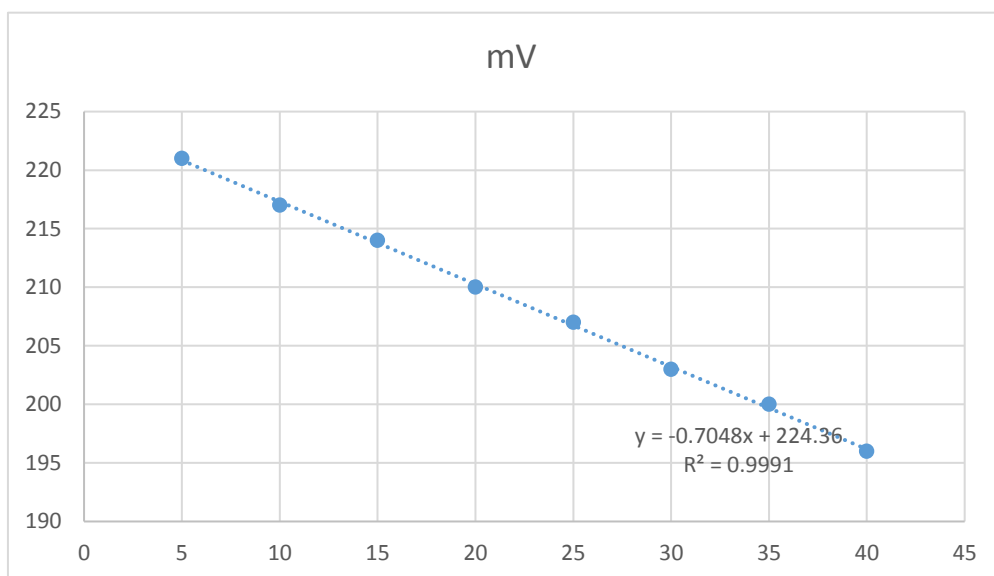
Tag	Lokalitet	Date	Time	Temp (C)	Baro (mb)	Dyp (m)	pH	pHmV	ORP (REDOX)	ORP Korrigeret til Eh	DO (% Sat)	EC (uS/cm @25C)	RES (Ohms.cm)	TDS (mg/L)	SAL (PSU)	SSG (st)	Lat	Lon	Alt
1		22.10.2014	12:25:03	8.6	990		7.2	-24.9	76.1	294	31.8	0		0	0	0	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
2		22.10.2014	12:29:48	8.6	990		7.5	-43.5	88.2	306	29.6	1119	1300	727	0.53	0.2	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	186
13		29.10.2014	11:36:24	8.4	983	2.43	7.2	-26.3	-1.6	217	9.2	1455	1006	945	0.69	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
14		29.10.2014	11:42:26	8.4	983	2.62	7.3	-31.4	-8.3	210	8.9	1455	1006	945	0.69	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
15		29.10.2014	11:47:02	8.5	984	2.45	7.6	-46	-14.9	203	10.1	1452	1005	943	0.69	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	188
16		29.10.2014	11:50:42	8.4	984	2.55	7.8	-61	-16.8	202	9.8	1446	1012	939	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
17		29.10.2014	11:54:25	8.4	984	2.50	8.1	-75	-21.7	197	9.4	1442	1015	937	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	188
18		29.10.2014	11:57:58	8.4	984	2.56	8.2	-82.1	-24.7	194	13.9	1440	1016	936	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	184
19		29.10.2014	11:59:52	8.4	983	0.78	8.0	-67.5	-18.9	200	10.3	1445	1013	939	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	185
20		29.10.2014	12:00:54	8.4	984	0.84	8.0	-71.3	-21.2	197	9.3	1443	1014	937	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	186
21		29.10.2014	12:03:20	8.3	984	0.10	7.6	-45	-14.5	204	12.9	1447	1014	940	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	186
22		29.10.2014	12:05:00	8.2	984	0.08	7.6	-45.6	-12.5	206	17.3	1447	1017	940	0.68	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
33		06.nov.14	11:27:33	10.4	993	0.14	8.6	-104.5	155	372	111	1193	1161	775	0.56	0	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	-----
34		06.nov.14	11:29:19	10.6	993	0.01	10.8	-220.9	71.2	288	119	1060	1300	689	0.5	0	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	-----
35		06.nov.14	11:52:11	10.6	992	0.14	9.8	-167	160.8	378	118	1143	1206	742	0.54	0	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	-----
36		06.nov.14	11:54:55	10.6	992	0.14	9.2	-135.8	151.8	369	116	1204	1145	782	0.57	0	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	-----
37		06.nov.14	16:56:29	6.9	991	0.34	7.3	-39.2	45.5	265	20.5	1322	1156	859	0.63	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	185
38		06.nov.14	17:17:04	5.1	991	-0.01	7.2	-33.4	33.7	254	13.8	1311	1230	852	0.62	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	185
49		19.nov.14	16:05:26	6.6	1007	9.10	10.5	-207.3	43.1	263	10.4	1310	1176	851	0.62	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	182
50		19.nov.14	16:18:14	6.6	1008	9.37	8.3	-91.6	-45.9	174	0.1	918	1677	596	0.39	0.2	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	181
51		19.nov.14	16:19:18	6.6	1008	9.34	8.4	-92.4	-50.6	169	0	928	1661	603	0.39	0.2	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	181
52		19.nov.14	16:22:27	6.6	1008	9.37	8.4	-94.9	-60.1	160	0	918	1677	596	0.39	0.2	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	182
53		19.nov.14	16:33:27	6.2	1008	5.18	7.4	-41.7	26	246	20.1	1215	1283	789	0.57	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	187
54		19.nov.14	16:40:59	6.5	1008	9.16	7.4	-40.6	43.5	263	12	1292	1196	839	0.61	0.3	N 60°20.9363'	N 60°20.9363'	192
55		19.nov.14	16:46:27	6.1	1006	5.39	7.4	-39.6	54.6	275	21.3	1247	1254	810	0.59	0.3	N 60°20.9241'	E 010°34.6861'	193
56		19.nov.14	16:49:14	6.4	1008	9.30	7.4	-38.8	56.9	277	14.2	1298	1194	843	0.61	0.3	N 60°20.9248'	E 010°34.6877'	194
57		19.nov.14	16:52:16	6.5	1007	9.22	7.3	-38.3	58.7	278	13	1319	1172	857	0.62	0.3	N 60°20.9291'	E 010°34.6932'	193
58		19.nov.14	17:01:54	6.4	1008	9.34	7.3	-37.2	44.5	264	13.1	1290	1201	838	0.61	0.3	N 60°20.9173'	E 010°34.6897'	192
59		19.nov.14	17:12:22	6.5	1008	9.27	7.3	-35.1	35	255	10.6	1268	1219	824	0.6	0.3	N 60°20.9254'	E 010°34.6243'	190
60		19.nov.14	17:17:47	6.5	1007	5.51	7.3	-35.6	46.6	266	10.8	1264	1222	821	0.6	0.3	N 60°20.9285'	E 010°34.6060'	188
61		19.nov.14	17:27:05	6.6	1007	9.37	7.3	-33.7	12.7	232	6.5	1268	1215	824	0.6	0.3	N 60°20.9290'	E 010°34.6394'	190
62		19.nov.14	17:28:01	6.6	1007	9.41	7.3	-34.3	18.9	239	8.8	1265	1218	822	0.6	0.3	N 60°20.9289'	E 010°34.6393'	190
63		19.nov.14	17:31:24	6.4	1007	5.29	7.3	-36.1	39	259	14.5	1257	1233	817	0.59	0.3	N 60°20.9285'	E 010°34.6415'	189
77	i myr	03.12.2014	12:01:47	4.9	996	7.92	10.4	-179.2	-26.3	195	1.4	983	1650	638	0.41	0.2	N 60°20.9364'	E 010°34.6664'	197
78	i myr	03.12.2014	12:07:24	4.5	996	1.37	9.6	-140.7	27.9	249	17.6	1176	1396	764	0.56	0.3	N 60°20.9368'	E 010°34.6661'	196
79	i myr	03.12.2014	12:13:37	4.3	996	4.21	10.7	-195.2	22.5	244	18.9	1192	1386	774	0.56	0.3	N 60°20.9368'	E 010°34.6663'	196
80	i myr	03.12.2014	12:21:16	4.6	996	7.29	11.5	-233.8	-12.7	208	18.1	1194	1371	776	0.56	0.3	N 60°20.9356'	E 010°34.6665'	195
80	i myr	03.12.2014	12:23:39	4.5	996	6.92	11.6	-241.9	-11.6	210	18.6	1194	1375	776	0.56	0.3	N 60°20.9353'	E 010°34.6672'	194
89	i enden av myr mot veg	11.12.2014	12:57:16	5.5	962	0.04	8.3	-75.2	-67.9	153	104	664	2398	431	0.28	0.1	N 60°21.8417'	E 010°34.2741'	190
90	nedanfor veg	11.12.2014	13:16:36	5.7	961	0.03	8.1	-64.6	-45.3	175	93.1	638	2481	414	0.27	0.1	N 60°22.5204'	E 010°33.8835'	184
91	1. ishol innved land	17.12.2014	13:46:16	3.4	975	0.78	7.0	-28.9	141.6	364	34	1400	1215	910	0.66	0.4	N 60°20.9374'	E 010°34.6847'	185
92	2. ishol litt utanfor	17.12.2014	13:50:57	3.2	975	2.08	7.1	-35.7	127.2	349	16	1394	1228	906	0.66	0.4	N 60°20.9357'	E 010°34.6852'	183
93	3. ishol	17.12.2014	13:58:59	3.2	975	8.09	7.2	-37.4	111.4	334	15.9	1394	1228	906	0.66	0.4	N 60°20.9307'	E 010°34.6890'	181
94	3. ishol	17.12.2014	14:09:09	3.3	976	0.84	7.1	-35.3	87.2	309	16.2	1397	1222	908	0.66	0.4	N 60°20.9309'	E 010°34.6876'	180
95	3. ishol	17.12.2014	14:27:49	3.4	975	8.96	7.1	-34.6	20.8	243	4.7	1084	1569	704	0.51	0.3	N 60°20.9300'	E 010°34.6895'	179
149	myr, nærme veien	20.apr.15	11:41:28	8.3	1005	0.01	8.3	-84.2	0.3	219	77.7	875	1677	568	0.37	0	N 60°20.8868'	E 010°34.5191'	207
150	myr, nærme veien	20.apr.15	11:41:55	8	1003	-0.02	8.3	-83.8	6	225	78.2	968	1529	629	0.41	0.1	N 60°20.8868'	E 010°34.5191'	207
151	myr ved prøvetakingss ted	20.apr.15	11:45:22	8.5	1002	0.06	8.3	-82.6	57.2	276	81.7	887	1644	576	0.37	0	N 60°20.8973'	E 010°34.5697'	206
154	basseng 1	13.05.2015	13:30:32	10	980	0.40	8.0	-43.7	201.7	419	30.1	1283	1091	833	0.61	0.1	N 60°20.9077'	E 010°34.5961'	192
155	basseng 1 nær flotasjonsmas mot	13.05.2015	13:38:29	10.7	981	0.67	8.1	-46.6	204.3	421	39.9	1276	1077	829	0.6	0	N 60°20.9017'	E 010°34.5688'	193
156	utpumping	13.05.2015	13:47:36	9.4	980	0.80	7.6	-23.4	35	253	5.4	1183	1203	768	0.56	0.1	N 60°20.9019'	E 010°34.5594'	193
		maks		10.7	1008	9.40999985	11.6	-23.4	204	421	119	1455	2481	945	0.69	0.4			
		min		3.2	961	-0.02	7	-242	-67.9	153	0	0	1005	0	0	0			

Vedlegg 13.2

Korrigering av ORP til Eh

$$y = -0.7048x + 224.36$$

Temperature Potential	Temperatur °	mV
5 °C 221 mV	5	221
10 °C 217 mV	10	217
15 °C 214 mV	15	214
20 °C 210 mV	20	210
25 °C 207 mV	25	207
30 °C 203 mV	30	203
35 °C 200 mV	35	200
40 °C 196 mV	40	196



Vedlegg 14.1

Brønn 1 (5 m djup)	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1	Brønn 1 myr	Brønn 1	B1
	12.01.16	21.01.16	04.02.16	18.02.16	02.03.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	22.11.16	13.12.16	03.03.17	02.06.17	12.10.17	21.11.17	
Ca (Kalsium)	mg/l	77.6	89.1	118	136	142	148	182	190	226	239	174	194	180	210
Fe (Jern)	mg/l	2.35	0.281	0.0007	0.00046	0.0202	0.00292	0.00065	0.00052	0.00278	0.00631	0.0102	0.00247	0.012	0.00088
K (Kalium)	mg/l	18.8	18.7	20.5	18.7	21	20.4	10.9	14.5	13	11.6	8.88	8.87	10	8.9
Mg (Magnesium)	mg/l	14.2	17.1	23.7	27	27.2	30.5	22.9	24.2	33.7	36.4	25.9	25.1	24	23
Na (Natrium)	mg/l	108	103	101	87.2	80.4	95.8	51.1	52.1	55.4	46.3	32.3	28.1	33	29
Al (Aluminium)	µg/l	682	106	11.4	6.38	3.63	4.89	5.25	12.6	4.63	4.15	2.16	1.32	< 1.0	1.5
As (Arsen)	µg/l	7.69	5.92	3.5	1.21	1.06	0.89	1.11	0.768	0.489	<0.5	0.324	0.281	0.26	0.32
Ba (Barium)	µg/l	175	65.4	36.9	38.9	34	34.8	38.3	35.5	34.2	27.8	25.2	26	26	30
Cd (Kadmium)	µg/l	1.99	1.38	1.05	1.44	1.32	1.26	1.57	0.869	0.927	1.41	0.783	1.81	0.018	0.014
Co (Kobolt)	µg/l	1.98	0.908	1.43	1.24	1.38	1.21	3.2	2.36	3.86	5.81	3.57	0.208	0.57	2.3
Cr (Krom)	µg/l	1.91	0.359	6.88	0.0273	0.0224	0.0711	<0.01	0.0544	0.124	<0.1	0.0197	0.019	< 0.050	< 0.050
Cu (Kopper)	µg/l	7.57	3.82	1.55	1.03	1.11	1.51	0.88	1.07	1.33	1.51	0.428	0.873	< 0.050	0.11
Hg (Kvikksølv)	µg/l	0.0236	0.00284	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	< 0.005	< 0.005
Mn (Mangan)	µg/l	121	92.5	125	162	171	196	195	217	405	630	462	144	440	490
Mo (Molybden)	µg/l	1780	1660	1220	1010	927	1040	308	307	261	183	121	102	100	92
Ni (Nikkel)	µg/l	56.6	39.5	59.7	44.9	48.4	52.7	98.7	79.6	165	221	159	242	68	73
P (Fosfor)	µg/l	292	38.1	<1	<1	<2	<1	<1	4.14	2.53	<10	2.95	2.83	< 300	< 0.30
Pb (Bly)	µg/l	4.9	0.88	0.0288	<0.1	0.0419	0.02	0.0254	0.0109	0.0217	<0.1	<0.01	0.0148	0.014	0.013
Si (Silisium)	mg/l	4.33	3.74	3.59	3.73	3.77	3.87	3.82	3.58	4.23	4.13	3.28	2.9	4.3	4.4
Sr (Strontium)	µg/l	2370	2580	3230	3390	3360	3720	2610	2830	3200	2740	2010	1980	2300	2200
Zn (Sink)	µg/l	64	30.3	15.9	38	32.6	30.7	37.4	49.4	139	175	63.5	164	6.5	19
V (Vanadium)	µg/l	16.6	6.81	2.11	1.18	0.933	0.672	1.14	0.811	0.22	0.166	0.064	0.0774	0.058	0.053
B (Bor)	µg/l	195	185	150	132	128	128	83.8	91.5	120	108	85.9	77.6	82	82
Th (Thorium)	µg/l	1.7	0.066	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	< 100	< 0.010
U (Uran)	µg/l	260	361	631	839	699	933	332	336	249	182	127	141	180	200
TOC	mg/l	12	1.83	1.78	1.09	<0.50	<0.50	0.58	0.58	0.82	1.47	2.23	2.51	8.1	3
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	1.87	3.34	3.85	5.16	5.48	5.09	5.94	5.24	5.26	5.63	4.62	4.22	6.1	6.9
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-1	0
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m	101	106	112	115	121	23.1	110	112	135	144	104	108	103	125
Turbiditet	FNU	102	26.7	985	20.9	5.3	3.12	51.4	12.5	4.71	7.76	8.59	9.54		
Suspendert stoff	mg/l	131	34.4	1160	31.3	6.9	12.2	119	26.2	51.6	23.3	25.7	53.4	9.4	96
pH		7.98	7.74	7.96	7.78	8.08	7.71	7.72	7.7	7.4	7.33	7.4	7.34	7.4	7.3
S (Svovel)	mg/l	93.2	96.5	127	132	118	144	108	147	165	176	105	124	110	140
N-total	mg/l	43.3	13.8	12.3	6.32	8.22	5.95	4.27	3.56	2.08	3.36	1.59	0.69		
P-total	mg/l	0.137	0.043	0.673	0.032	<0.010	<0.010	0.045	0.019	0.021	0.017	0.02	<0.050	0.019	0.072
Klorid (Cl-)	mg/l	22.4	21.1	20.3	19	21.4	19.3	14.3	14.3	15.6	15.9	13	10	19	19
Sulfat (SO4)	mg/l	290	323	368	411	379	411	348	414	501	519	328	356	344	462
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	19.6	11.9	4.17	0.405	0.486	<0.060	<0.500	0.168	0.154	<0.060	0.123	0.27	0.34	0.49
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0029	0.0035
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	11.4	9.41	7.14	5.69	5.58	4.97	2.3	3.11	1.38	1.02	0.588	0.672	1	0.86
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l													7.5	2.2
Filtrering		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Dekantering															

Vedlegg 14.2

Brønn 2 (ca 10 m djup)												
ELEMENT		04.05.16	03.06.16	17.08.16	14.09.16	12.10.16	22.11.16	13.12.16	03.03.17	02.06.17	12.10.17	21.11.17
Filtrering		ja	ja	ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		ja	Ja
Ca (Kalsium)	mg/l	67.3	71.5	71.4	74	73.6	85.2	93.9	89.5	72.8	93	160
Fe (Jern)	mg/l	0.0011	0.0023	0.00493	<0.0004	0.00083	0.00428	0.0109	0.00365	<0.0008	0.001	0.00057
K (Kalium)	mg/l	11	10.1	14.2	11.5	12.9	9.87	9.46	9.29	8.82	8.2	8.2
Mg (Magnesium)	mg/l	15.9	15.8	16.1	16	15.9	16.2	16.9	16.9	15.7	16	20
Na (Natrium)	mg/l	114	112	109	111	111	90.8	84.9	87.8	95.3	68	48
Al (Aluminium)	µg/l	15.3	6.36	1.07	<0.2	0.646	1.24	1.91	0.678	<0.4	< 1.0	< 1.0
As (Arsen)	µg/l	5.53	0.74	0.696	0.683	0.613	0.699	0.394	0.363	0.288	0.43	0.59
Ba (Barium)	µg/l	28.6	28.4	29.1	27.6	28.8	25.4	27	24.9	23.3	22	37
Cd (Kadmium)	µg/l	0.74	0.234	0.509	0.169	0.181	0.542	0.309	0.235	0.0335	0.012	0.024
Co (Kobolt)	µg/l	0.391	0.485	0.558	0.498	0.505	0.419	0.443	0.393	0.276	0.27	0.41
Cr (Krom)	µg/l	0.0514	0.0116	0.0286	0.0108	<0.01	0.0923	0.0169	0.013	<0.02	< 0.050	< 0.050
Cu (Kopper)	µg/l	4.13	0.854	1.15	0.277	0.276	0.198	0.552	0.549	<0.2	< 0.050	0.1
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	< 0.005	< 0.005
Mn (Mangan)	µg/l	154	411	639	697	688	575	477	573	1240	380	290
Mo (Molybden)	µg/l	434	369	301	286	271	244	254	215	59.7	180	110
Ni (Nikkel)	µg/l	13.9	10.7	12.3	9.21	9.85	7.13	7.21	7.49	4.63	2.4	10
P (Fosfor)	µg/l	2.72	<1	1.33	1.49	12.1	29.5	21.7	11.8	11.7	< 300	< 0.30
Pb (Bly)	µg/l	0.019	<0.01	0.0153	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	< 0.010	< 0.010
Si (Silisium)	mg/l	2.61	2.38	2.03	1.99	2.04	2.65	3.13	2.9	1.69	3.4	4.6
Sr (Strontium)	µg/l	3000	2830	2600	2670	2580	2570	2630	2530	2140	2600	2800
Zn (Sink)	µg/l	30.6	12	13.2	3.71	10.6	5.55	15.8	9.85	4.66	0.75	2.8
V (Vanadium)	µg/l	2.49	0.0352	0.00555	0.0112	<0.005	0.0372	0.0208	0.00539	0.0106	< 0.020	0.021
B (Bor)	µg/l	108	110	111	114	130	156	189	195	254	130	500
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.04	< 100	< 0.010
U (Uran)	µg/l	628	466	314	299	287	290	301	288	110	270	190
TOC	mg/l	<0.50	<0.50	1.27	1.99	1.39	1.16	0.91	0.99	0.97	4.4	1.8
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	2.07	2.28	2.43	2.08	2.26	2.45	2.62	2.5	1.65	2.8	5.4
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-15.38	0
Ledningsevne (kcmS/m)		95.6	90.7	101	102	103	96.1	97.4	93.8	92.4	93.1	105
Turbiditet	FNU	14.8	3.51	7.66	3.46	37.4	4.3	4.24	2.17	53.3		
Suspendert stoff	mg/l	44.1	<5.0	20.6	10.9	28.7	10.3	12.3	6.4	31.2	13	130
pH		7.96	7.64	7.62	7.56	8.07	7.45	7.51	7.58	7	7.5	7.4
S (Svovel)	mg/l	112	116	136	125	114	114	118	113	116	110	110
N-total	mg/l	7.54	7.25	5.64	6.74	6.63	5.01	6.52	3.96	3.93		
P-total	mg/l	0.023	<0.010	0.01	<0.050	0.03	0.035	0.02	0.01	<0.050	0.02	0.13
Klorid (Cl-)	mg/l	17.7	16.7	22.9	19.6	20.1	17.8	17.9	19.1	16.7	18	19
Sulfat (SO4)	mg/l	374	343	383	360	355	350	335	340	323	305	359
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	<0.500	<0.060	<0.060	<0.060	<0.060	0.093	<0.060	<0.060	0.13	<0.005	0.059
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0022	0.006
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	6.59	6.46	6.13	6.34	6.31	4.7	4.24	4.4	4.3	3.6	2.9
Løst organisk karbon (DOC)											4.10	1.1

Vedlegg 14.3

Brønn 3 (ca 15 m djup)												
ELEMENT		04.05.16	03.06.16	17.08.16	14.09.16	12.10.16	22.11.16	13.12.16	03.03.17	02.06.17	12.10.17	21.11.17
Filtrering		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ca (Kalsium)	mg/l	116	110	106	106	104	105	102	98.4	98.9	93	97
Fe (Jern)	mg/l	0.00102	0.00095	0.0196	0.0587	0.0754	0.0494	0.00376	0.00237	0.00212	0.06	0.03
K (Kalium)	mg/l	2.56	2.48	2.76	3.01	3.21	3.39	3.2	3.57	3.28	3.60	2.9
Mg (Magnesium)	mg/l	10.7	10.3	10.7	10.5	10.6	10.6	10.4	10.5	10.5	10	9.2
Na (Natrium)	mg/l	26.7	26.4	26.2	27.1	27.4	27.5	26.4	27.3	26.2	24	22
Al (Aluminium)	µg/l	3.19	1.77	3.67	1.37	2.51	3.64	1.39	3.81	1.94	< 1.0	1.7
As (Arsen)	µg/l	0.539	0.444	0.376	0.275	0.212	0.317	0.212	0.124	0.186	0.20	0.7
Ba (Barium)	µg/l	78.2	81.7	77.2	76.9	72.5	72.1	69.9	67.5	64.7	63	89
Cd (Kadmium)	µg/l	0.069	0.0416	0.05	0.014	0.0311	0.0858	0.0309	0.0267	0.0177	< 0.0040	0.013
Co (Kobolt)	µg/l	0.578	0.49	0.679	0.605	0.594	0.581	0.445	0.0574	0.0341	0.08	0.74
Cr (Krom)	µg/l	<0.01	<0.01	0.0386	0.0295	0.0203	0.0257	0.0294	0.0422	0.0208	< 0.050	< 0.050
Cu (Kopper)	µg/l	0.392	0.209	0.862	0.197	0.15	0.202	0.113	0.3	0.506	< 0.050	0.24
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	< 0.005	< 0.005
Mn (Mangan)	µg/l	133	168	183	211	214	214	202	92.5	37	150	130
Mo (Molybden)	µg/l	30.7	30.3	24.9	27	31.5	26.4	26.7	23.1	24.4	14	33
Ni (Nikkel)	µg/l	1.31	1.16	2.64	2.19	2.1	2.05	1.87	1.75	1.49	1.20	4.0
P (Fosfor)	µg/l	<1	<1	1.65	1.09	1.75	4.85	2.49	1.42	1.72	< 300	< 0.30
Pb (Bly)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0.0364	<0.01	0.0124	<0.01	<0.01	0.0138	< 0.010	0.02
Si (Silisium)	mg/l	3.43	3.38	3.28	3.19	3.1	3.17	3.06	2.98	2.89	3	3.2
Sr (Strontium)	µg/l	691	669	638	642	625	639	621	603	598	570	580
Zn (Sink)	µg/l	5.6	4.71	19	4.06	18	6.54	8.38	24.6	5.29	3.10	2.8
V (Vanadium)	µg/l	0.0548	0.0203	0.0263	0.0283	0.00616	0.0267	0.0103	0.021	0.0185	< 0.020	0.031
B (Bor)	µg/l	78.9	81.7	82.6	85.1	84	86.8	83.4	86.5	85.4	76	73
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	< 100	< 0.010
U (Uran)	µg/l	6.71	7.34	6.86	6.6	6.4	7.29	6.33	6.26	6.4	5.10	6.7
TOC	mg/l	<0.50	<0.50	3.45	1.44	3.3	3.26	2.95	2.76	2.61	7.60	1.8
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	4.97	4.86	5.6	4.54	4.81	4.78	4.39	4.43	4.1	4.50	4.7
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-26.13	0
Ledningsevne	mS/m	68.1	64	68.2	67.9	67.5	65.1	65.8	60.6	62.6	61.90	61.8
Turbiditet	FNU	4.65	7.56	21.9	19.1	13.4	5.52	5.08	1.69	2.08		
Suspendert stoff	mg/l	8.6	28.3	39.8	50.8	19.6	23.6	12.6	7.4	7.5	5.00	600
pH		7.7	7.71	7.94	7.72	8.29	7.58	7.64	7.76	7.71	7.60	7.6
S (Svovel)	mg/l	37.8	37.5	42.8	38.9		35.2	38.4	37.4	35.8	35	37
N-total	mg/l	0.4	0.23	0.62	0.48	0.52	0.43	1.2	0.4	0.35		
P-total	mg/l	0.013	0.038	0.026	<0.050	0.016	0.016	<0.010	<0.010	<0.050	0.01	0.51
Klorid (Cl-)	mg/l	10.2	9.1	9.37	9.84	9.76	9.68	9.51	10.3	9.09	11	9.4
Sulfat (SO4)	mg/l	122	106	123	113	110	114	112	111	102	112	93.7
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	<0.500	<0.060	0.089	<0.060	<0.060	<0.060	0.113	0.101	0.269	0.05	0.0067
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.00	0.0035
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	0.161	0.179	0.193	0.284	0.259	0.19	0.052	0.04	0.033	0.08	0.11
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l										7.40	2

Vedlegg 15.1

Målinger i Brønn 1 i masselageret med handholdt multiparametersonde (q-SENSE multi parameter water quality probe, Eijkelkamp)																						
Date	Time	Temp (C)	Baro (mb)	Depth (M)	pH	pHmV	ORP (REDOX)	Eh (utrekna frå ORP)	DO (% Sat)	EC (uS/cm @25C)	RES (Ohms.cm)	TDS (mg/L)	SAL (PSU)	SSG (st)	Turbidit y (NTU)	Lat	Lon	Alt	grunnvass-spegel m frå topp røyr	høgde på grunnvass-spegel (kote)	Kommentar	
07.01.16	12:11:16	6.7	989	3.08	9.1	-122.2	-287.4	-67.8	0	1040	1477	676	0.49	0.2		N 60°20.9321'	E 010°34.6701'	196				
12.01.16	14:19:34	6.6	974	2.86	7.9	-55.3	-85.8	133.9	0	1070	1440	695	0.51	0.3		N 60°20.9320'	E 010°34.6659'	197	2.68	205.68		
21.01.16	12:14:44	6.6	1000	2.96	8.0	-59.8	-164.6	55	0	1131	1362	735	0.54	0.3		N 60°20.9320'	E 010°34.6699'	199				
27.01.16	11:36:45	5.1	966	1.49	7.8	-46.1	102.5	323	5.4	1143	1410	742	0.54	0.3		N 60°20.9304'	E 010°34.6716'	191				
29.01.16	11:18:50	5.1	966	1.14	8.1	-63	101.2	322	8.7	1092	1477	709	0.52	0.3		N 60°20.9296'	E 010°34.6692'	199				
01.02.16	14:39:17	6.2	967	3.00	8.1	-63.9	13.7	234	0	1145	1362	744	0.54	0.3		N 60°20.9356'	E 010°34.6653'	212				
03.02.16	11:07:23	3.6	970	0.65	7.8	-49.7	63.3	285	9.3	1099	1538	714	0.52	0.3	0	N 60°20.9285'	E 010°34.6749'	190			ikkje kalibrert for turbiditet	
04.02.16	12:12:28	6.1	981	2.93	7.9	-56	31.4	251	0	1123	1392	729	0.53	0.3	0	N 60°20.9361'	E 010°34.6685'	208			tok vassprøve	
12.02.16	12:13:02	4.9	977	2.00	7.9	-52	134.1	355	1.3	1209	1342	785	0.57	0.3	15.8	N 60°20.9314'	E 010°34.6662'	199	2.52	205.84		
16.02.16	12:05:03	5.7	1007	2.77	7.9	-51.3	47.5	268	0	1251	1265	813	0.59	0.3	0	N 60°20.9326'	E 010°34.6678'	208	2.65	205.71		
18.02.16	11:03:24	5.4	989	2.42	11.7	-268.4	93.9	314	0	1214	1315	789	0.57	0.3	0	N 60°20.9347'	E 010°34.6678'	207	2.63	205.73	pH er feil. Testa i springvatn og pH var rundt 11. Tok vassprøve samtidig. Kalibrerte ORP. Verdi stemte godt med kalibreringsvaska	
23.02.16	10:44:15	5	974	1.99	12.8	-328.6	25.1	246	2.8	1313	1231	853	0.62	0.3	0	N 60°20.9347'	E 010°34.6701'	214	2.69	205.67		
29.02.16	12:29:26	4.8	1002	2.05	12.8	-328.8	114.2	335	1.9	1203	1353	781	0.57	0.3	0	N 60°20.9314'	E 010°34.6651'	195	2.74	205.62		
02.03.16	11:06:52	5.2	972	2.08	11.7	-265.2	37.4	258	0	1231	1305	800	0.58	0.3	0	N 60°20.9321'	E 010°34.6673'	202	2.71	205.65	lot pH-sonden stå i vatn over natta for å sjekke om det hjalp på pH.	
09.03.16	15:53:18	4.9	990	2.14	12.2	-296	47.8	269	0.2	1399	1160	909	0.66	0.4	201	N 60°20.9313'	E 010°34.6688'	206	2.82	205.54	kalibrert dagen før for alle parameter unntatt pH (error out of cal range) og ORP (kalibrert 18. februar)	
11.03.16	11:23:00	5.3	1007	2.27	12.0	-281.7	7.9	229	0	1292	1240	839	0.61	0.3	56.9	N 60°20.9341'	E 010°34.6691'	199				
14.03.16	14:25:26	4.8	1010	2.07	12.2	-297.6	25.2	246	3.5	1309	1243	850	0.62	0.3	160	N 60°20.9323'	E 010°34.6686'	204				
17.03.16	10:49:09	4.7	1001	1.79	7.9	-52.2	-3	218	0.2	1303	1253	846	0.62	0.3	152	N 60°20.9315'	E 010°34.6691'	202	2.8	205.56	pH ser ut til å stemme igjen. Kan det ha noko med dårleg straumforbindelse å gjere?	
30.03.16	11:02:57	4	976	2.22	8.0	-56.7	26.1	248	0	1377	1212	895	0.65	0.4	154	N 60°20.9329'	E 010°34.6664'	204	2.06	206.3		
01.04.16	12:27:35	4.7	991	1.97	7.8	-47.9	158.9	380	0	1331	1226	865	0.63	0.3	146	N 60°20.9318'	E 010°34.6655'	201		206		
04.04.16	14:31:39	4.7	987	2.30	7.9	-55	71.7	293	0.4	1442	1132	937	0.68	0.4	154	N 60°20.9315'	E 010°34.6687'	202				
07.04.16	13:13:24	4.9	971	2.52	7.9	-52.1	28	249	0	1652	982	1073	0.81	0.5	191	N 60°20.9345'	E 010°34.6650'	218				
11.04.16	15:35:28	6.1	999	-0.73	7.7	-41.1	-0.3	220	9.1	1226	1275	796	0.58	0.3	189	---	---	---				
18.04.16	11:52:51	4.7	974	2.25	7.9	-52.8	34.6	256	0	1469	1111	954	0.7	0.4	145	N 60°20.9308'	E 010°34.6690'	195		205.72		
25.04.16	15:11:54	5	979	2.52	8.0	-56.4	18.5	239	0	1411	1146	917	0.67	0.4	121	N 60°20.9335'	E 010°34.6680'	199				
27.04.16	10:51:06	4.6	980	-0.66	7.7	-41.1	-4.6	217	0	1322	1239	859	0.63	0.3	108	N 60°20.9298'	E 010°34.6668'	202			etter pumping i brønn 2	
27.04.16	11:21:55	4.8	981	2.78	7.7	-43.7	84.1	305	1.7	1185	1373	770	0.56	0.3	57.4	N 60°20.9292'	E 010°34.6681'	202	2.63	205.73	etter pumping i brønn 1	
04.05.16	10:56:25	4.7	1001	2.01	7.79	-47.7	56.8	278	2.9	1269	1287	824	0.6	0.3	167	N 60°20.9307'	E 010°34.6668'	204				
13.05.16	10:39:30	4.9	985	2.21	8.16	-68.2	36.9	258	0	1369	1184	889	0.65	0.4	117	N 60°20.9313'	E 010°34.6673'	206				

Vedlegg 15.2

Målinger i brønn 2 og 3 i masselageret med handholdt multiparametersonde (q-SENSE multi parameter water quality probe, Eijkelkamp)																			
Brønn 2																			
Date	Time	Temp (C)	Baro (mb)	Depth (M)	pH	pHmV	ORP (REDOX) mV	Eh (justert frå ORP) mV	DO (% Sat)	EC (uS/cm @25C)	RES (Ohms.cm)	TDS (mg/L)	SAL (PSU)	SSG (st)	Turbidit y (NTU)	Lat	Lon	Alt	Kommentar
01.04.2016	12:33:57	4.6	991	3.83	9.4	-140.2	127	348	10.3	930	1760	604	0.39	0.2	167	N 60°20.9315'	E 010°34.6641'	202	
04.04.2016	14:36:04	4.6	987	3.97	9.7	-151.9	49.4	271	13.8	969	1689	629	0.41	0.2	155	N 60°20.9311'	E 010°34.6660'	201	
07.04.2016	13:18:48	4.6	970	3.00	9.5	-144	25.1	246	15.3	1204	1360	782	0.57	0.3	155	N 60°20.9329'	E 010°34.6616'	213	
11.04.2016	15:42:07	4.9	999	4.87	9.4	-137	17.3	238	14.2	871	1862	566	0.37	0.1	153	N 60°20.9313'	E 010°34.6661'	198	
18.04.2016	12:00:13	4.7	974	4.67	9.4	-135.1	49.5	271	11	1040	1569	676	0.49	0.2	119	N 60°20.9315'	E 010°34.6637'	198	
25.04.2016	15:17:54	4.5	979	3.34	9.2	-125.1	26.7	248	9.2	1018	1612	661	0.48	0.2	142	N 60°20.9334'	E 010°34.6657'	199	
27.04.2016	10:48:32	5.2	981	5.30	8.3	-74.7	29.2	250	2.5	993	1618	645	0.42	0.2	167	N 60°20.9303'	E 010°34.6633'	202	etter pumping
04.05.2016	11:02:11	4.5	1000	3.39	8.3	-75	-82.8	138	0	991	1658	644	0.42	0.2	132	N 60°20.9310'	E 010°34.6636'	204	
13.05.2016	10:42:50	4.5	983	3.60	8.39	-81.1	50.4	272	3.2	1004	1636	652	0.47	0.2	118	N 60°20.9313'	E 010°34.6638'	207	
30.06.2016	11:03:15	5.3	981	2.49	11.87	-319.9	-87.7	133	0	966	1658	627	0.41	0.2	132	N 60°20.9334'	E 010°34.6662'	211	
17.08.2016	10:35:56	8.8	994	1.43	9.62	-195.2	-170.5	48	5.5	1029	1406	668	0.49	0.1	115	N 60°20.9320'	E 010°34.6656'	204	
14.09.2016	10:37:16	7.6	998	2.65			-221.9	-3	0	919	1628	597	0.39	0.1	126	N 60°20.9304'	E 010°34.6656'	192	
Brønn 3																			
04.04.2016	14:45:55	5.6	987	3.95	7.5	-31.8	84.3	305	5.8	672	2364	436	0.28	0.1	164	N 60°20.9237'	E 010°34.6470'	202	
07.04.2016	13:22:52	5.2	970	3.13	7.6	-34.2	54.5	275	5.8	892	1801	579	0.37	0.1	156	N 60°20.9230'	E 010°34.6438'	207	
11.04.2016	15:47:17	5.4	999	4.11	7.4	-23.9	60	281	3.8	599	2666	389	0.25	0	157	N 60°20.9246'	E 010°34.6455'	194	
18.04.2016	12:12:16	6	975	6.26	7.4	-26.9	86.2	306	4.8	715	2192	464	0.3	0.1	136	N 60°20.9225'	E 010°34.6449'	197	
25.04.2016	15:22:16	5.5	980	4.64	7.5	-31.9	62.3	283	5.2	704	2262	457	0.3	0.1	142	N 60°20.9260'	E 010°34.6451'	200	
27.04.2016	10:41:05	6.1	981	6.46	7.5	-34	58.7	279	5.2	671	2331	436	0.28	0.1	142	N 60°20.9224'	E 010°34.6432'	202	
27.04.2016	11:06:03	6.1	981	6.22	7.6	-34.3	-32.8	187	0	694	2252	451	0.29	0.1	126	N 60°20.9225'	E 010°34.6436'	202	etter pumping
04.05.2016	11:08:39	6	1000	6.49	7.6	-37.1	3.8	224	0	689	2277	447	0.29	0.1	134	N 60°20.9237'	E 010°34.6448'	203	
13.05.2016	10:51:39	5.5	982	4.61	7.79	-47.6	12.2	233	0	699	2277	454	0.29	0.1	116	N 60°20.9232'	E 010°34.6431'	208	
30.06.2016	11:14:08	6	981	2.95	10.93	-267.7	-1.7	218	0.3	627	2500	407	0.26	0.1	130	N 60°20.9259'	E 010°34.6458'	211	
17.08.2016	10:42:13	7.8	994	2.09	8.7	-142.6	-145.2	74	0	659	2257	428	0.28	0	119	N 60°20.9245'	E 010°34.6454'	207	
14.09.2016	10:43:15	7.9	998	3.11			-187.4	31	0	576	2577	374	0.24	0	128	N 60°20.9221'	E 010°34.6471'	200	

Vedlegg 16

Brønn	date/time	temperat	kondukti		saltinnho		vanntett		O2		ORP	Turbidite	
		ur °C	vitet mS	vannivå m	ld	TDS g/L	het	pH	O2 kons mg/L	metning %	(redox) mV	t NTU	TSS g/L
BO1	23.11.2017 08:53	7.7	1.3	0.42	0.64	0.84	1000.4	7.4	8.80	81.0	211.1	98	0.39
	23.11.2017 08:55	8.4	2.3	2.72	1.19	1.55	1000.8	7.1	4.64	43.7	109.7	2148	8.59
BO2	23.11.2017 09:23	10.0	3.3	0.75	1.72	2.21	1001.1	6.9	5.49	53.8	132.7	5	0.02
	23.11.2017 09:24	10.0	3.3	1.72	1.74	2.24	1001.1	6.8	3.53	34.6	136.0	4	0.02
	23.11.2017 09:25	9.6	3.4	2.71	1.74	2.25	1001.1	6.8	2.85	27.7	139.3	2	0.01
BO3	23.11.2017 09:42	7.6	1.4	0.29	0.71	0.93	1000.4	7.5	4.81	44.2	23.1	6	0.02
	23.11.2017 09:43	7.5	1.5	13.51	0.73	0.97	1000.5	7.1	0.30	2.8	-90.3	0	0.00
BO4	23.11.2017 10:14	9.2	3.2	0.32	1.67	2.16	1001.1	7.3	9.83	94.4	97.5	21	0.08
	23.11.2017 10:15	9.2	3.3	2.83	1.70	2.19	1001.1	7.0	4.72	45.4	77.2	967	3.87
B2	23.11.2017 11:19	6.4	0.9	0.35	0.45	0.60	1000.3	7.9	9.99	88.9	2.5	94	0.37
	23.11.2017 11:19	7.2	1.1	6.37	0.54	0.71	1000.3	7.4	4.61	41.9	-166.6	61	0.24
B3	23.11.2017 11:37	7.4	0.6	0.35	0.31	0.42	1000.1	7.7	7.62	69.5	195.8	5	0.02
	23.11.2017 11:37	7.9	0.6	2.31	0.31	0.42	1000.1	7.7	4.99	46.0	245.0	1	0.01
	23.11.2017 11:38	7.9	0.6	3.31	0.31	0.42	1000.1	7.6	3.64	33.6	186.4	11	0.04
	23.11.2017 11:39	7.8	0.6	4.24	0.32	0.43	1000.1	7.5	2.08	19.1	19.9	1	0.00
	23.11.2017 11:39	7.5	0.6	5.28	0.32	0.43	1000.1	7.5	0.99	9.0	-151.3	1	0.00
	23.11.2017 11:40	7.1	0.6	6.29	0.32	0.43	1000.2	7.5	0.46	4.1	-181.8	1	0.00
	23.11.2017 11:41	6.8	0.6	7.29	0.32	0.43	1000.2	7.5	0.27	2.4	-189.1	1	0.00
	23.11.2017 11:42	6.6	0.6	8.30	0.32	0.43	1000.2	7.5	0.17	1.5	-186.2	0	0.00
	23.11.2017 11:42	6.5	0.6	9.29	0.32	0.43	1000.2	7.4	0.14	1.3	-179.7	0	0.00
	23.11.2017 11:44	6.5	0.6	10.31	0.32	0.43	1000.2	7.4	0.14	1.3	-177.1	1	0.00
	23.11.2017 11:44	6.5	0.6	11.29	0.32	0.43	1000.2	7.4	0.14	1.3	-179.8	0	0.00
	23.11.2017 11:45	6.5	0.6	12.28	0.32	0.43	1000.2	7.4	0.14	1.3	-184.1	0	0.00
	23.11.2017 11:46	6.5	0.6	13.30	0.32	0.43	1000.2	7.4	0.14	1.3	-189.0	0	0.00
	23.11.2017 11:47	6.6	0.6	14.29	0.32	0.44	1000.2	7.4	0.14	1.3	-191.5	92	0.37
23.11.2017 11:48	6.7	0.8	15.29	0.40	0.53	1000.2	7.4	0.14	1.3	-182.5	0	0.00	
B13	23.11.2017 12:27	6.8	1.1	0.40	0.56	0.75	1000.4	7.3	9.08	81.7	-178.1	311	1.24
	23.11.2017 12:28	7.1	1.1	4.72	0.56	0.74	1000.3	7.0	5.57	50.4	-194.2	49	0.19
B2	15.02.2018 13:16	4.8	0.91	1.01	0.45			6.7	9.64	82.24	140.78	2.16	
	15.02.2018 13:17	5.6	0.93	2.95	0.47			6.9	5.76	50.28	152.20	5.09	
	15.02.2018 13:18	5.9	0.97	3.91	0.49			7.0	2.32	20.43	120.11	5.49	
	15.02.2018 13:19	6.1	1.05	4.93	0.53			7.0	1.00	8.81	80.37	0.98	
	15.02.2018 13:19	6.2	1.05	5.90	0.53			7.0	0.56	4.94	38.18	8.42	
B3	15.02.2018 13:48	5.3	0.63	1.02	0.31			7.4	7.62	65.87	54.24	6.27	
	15.02.2018 13:49	5.6	0.62	1.93	0.31			7.3	3.85	33.55	69.70	2.65	
	15.02.2018 13:50	5.7	0.62	2.94	0.31			7.3	2.01	17.55	80.71	2.35	
	15.02.2018 13:51	5.8	0.63	3.92	0.31			7.2	1.16	10.19	81.24	2.25	
	15.02.2018 13:52	5.9	0.63	4.90	0.31			7.2	0.56	4.91	14.99	3.92	
	15.02.2018 13:53	6.0	0.63	5.91	0.32			7.2	0.31	2.76	-20.23	3.92	
	15.02.2018 13:54	6.2	0.64	6.91	0.32			7.2	0.17	1.52	-39.99	8.91	
	15.02.2018 13:55	6.2	0.64	7.92	0.32			7.2	0.15	1.31	-54.77	5.09	
	15.02.2018 13:55	6.2	0.64	8.79	0.32			7.2	0.15	1.31	-62.31	9.50	
	15.02.2018 13:56	6.2	0.65	9.90	0.33			7.2	0.15	1.31	-69.96	7.45	
	15.02.2018 13:57	6.1	0.69	10.91	0.34			7.2	0.15	1.31	-75.50	16.16	
	15.02.2018 13:58	6.1	0.72	11.91	0.36			7.2	0.15	1.31	-80.86	4.02	
	15.02.2018 13:59	6.1	0.77	12.92	0.39			7.2	0.15	1.31	-85.57	2.45	
	15.02.2018 14:00	6.2	0.77	13.91	0.39			7.2	0.15	1.31	-87.04	244.42	

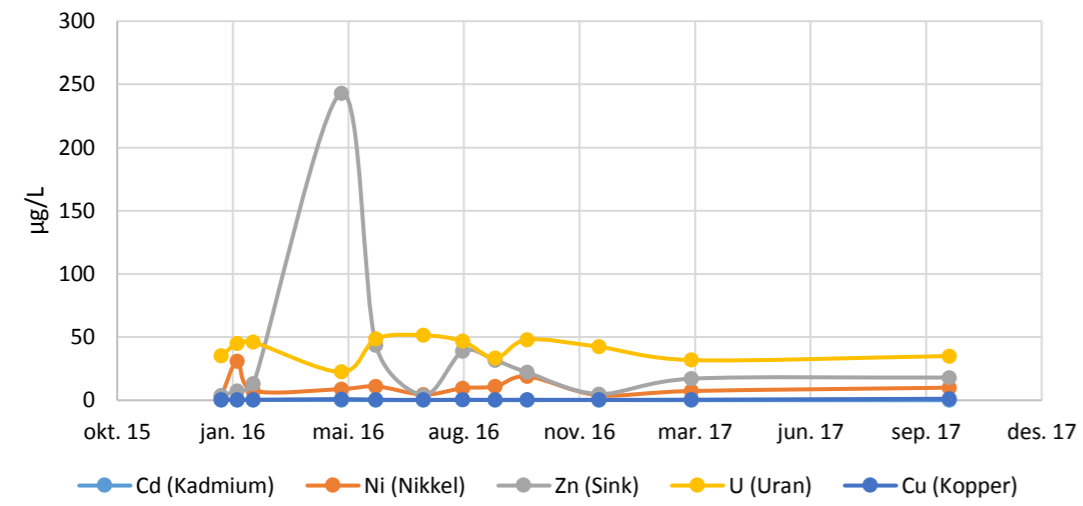
Vedlegg 17

Pumpesump = utjevningsmagasin i tunnel der innlekkasjevann samles før det pumpes ut til Vøienbekken. Utløp pumpesump/TUN-UT = utløp for innlekkasjevann tunnel og dreisvann fra port																	
		Pumpesump	Utløp Pumpesump	Utløp pumpesump	Pumpesump	Utløp pumpesump	Pumpesump i hjørnet	Utløp pumpesump	Utløp pumpesump 10.03.16	Kum 0222	Kum 0222-ufiltrert	Utløp pumpesump i innblandingssone til	Pumpesump	Utløp pumpesump	Pumpesump	Utløp pumpesump	Pumpesump
		21.01.2016	21.01.2016	04.02.2016	04.02.2016	18.02.2016	18.02.2016	02.03.2016	10.03.2016	10.03.2016	10.03.2016	30.03.2016	04.05.2016	04.05.2016	03.06.2016	14.07.2016	14.07.2016
Filtrering				Ja	Ja	JA	JA	Ja		Ja		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ca (Kalsium)	mg/l	45.5	103	117	104	176	49.2	187	61.4	194	295	50.1	50.2	235	60.2	90.9	46.4
Fe (Jern)	mg/l	0.0182	0.00737	0.00104	0.00141	0.00124	0.00142	0.00149	0.0347	0.00048	56.5	0.0222	<0.0004	0.00117	0.00041	0.0012	0.0024
K (Kalium)	mg/l	10.8	12.1	11.2	10.6	12.5	11	11.6	10.8	12.5	19.3	4.44	10.7	16.4	11	11.2	10.4
Mg (Magnesium)	mg/l	17.8	22.3	22.5	19.3	29.1	17.2	28.1	17.6	26.9	40.5	6.78	16.6	55.2	17.3	23.8	18.1
Na (Natrium)	mg/l	122	96.9	101	89.9	74.4	112	76.2	112	63.3	64	13.9	104	125	108	110	113
Al (Aluminium)	µg/l	35.1	16.4	8.06	17.9	4.75	16.4	3.69	46.2	6.74	21200	26.8	15.9	2.78	13.5	10.3	16
As (Arsen)	µg/l	2.44	1.13	0.9	0.648	0.298	1.88	<0.4	1.2	0.305	20.4	0.292	1.1	0.224	1.54	0.999	2.03
Ba (Barium)	µg/l	93	61	59.5	67	41.4	77.1	42	47.6	53.7	505	22	56.8	46.2	71	51.3	75.5
Cd (Kadmium)	µg/l	0.241	0.14	0.176	0.148	0.184	0.25	0.146	0.127	0.0616	2.52	0.0541	0.196	0.481	0.14	0.128	0.134
Co (Kobolt)	µg/l	0.0335	0.063	0.0869	0.138	2.33	0.0558	1.4	0.211	0.0484	47.7	0.0749	0.163	1.33	0.0414	0.0931	0.0356
Cr (Krom)	µg/l	0.515	0.207	0.199	0.233	<0.1	0.226	0.0306	0.2	0.186	37.7	0.185	0.284	0.0179	0.169	0.134	0.143
Cu (Kopper)	µg/l	0.398	0.545	0.366	0.576	1.88	0.432	1.47	0.713	0.576	136	1.02	0.95	1.68	0.463	0.508	0.321
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0428	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Mn (Mangan)	µg/l	0.746	1.33	51.7	77.7	183	0.404	82.5	10.9	1.87	1910	0.171	3.16	148	0.588	5.56	0.0322
Mo (Molybden)	µg/l	291	143	145	140	120	245	85.9	125	70.3	79.2	15.9	117	163	166	122	192
Ni (Nikkel)	µg/l	3.17	48.1	29.8	30.8	126	7.52	104	26.4	55.5	474	4.65	8.92	142	11.1	27.9	4.51
P (Fosfor)	µg/l	1.93	1.14	1.91	7.3	1.33	3.88	1.2	1.63	1.53		26.8	2.67	1.38	1.81	1.1	2.31
Pb (Bly)	µg/l	0.0663	0.0299	<0.01	0.0138	<0.1	<0.1	0.0196	0.0884	0.0119	45.3	0.0136	0.0965	<0.01	0.0142	0.0155	0.119
Si (Silisium)	mg/l	5.03	4.51	3.98	4.09	3.49	4.56	3.57	4.01	4.11		2.53	4.3	3.6	4.4	4.29	4.69
Sr (Strontium)	µg/l	1850	2400	2150	2040	2920	1880	2730	1780	3060		404	1680	3500	1990	2000	1890
Zn (Sink)	µg/l	3.73	5.69	7.33	7.52	28.7	13.1	22.6	7.43	11.4	547	0.883	243	47.6	43.4	14.9	3.86
V (Vanadium)	µg/l	2.53	1.07	0.733	0.679	0.351	2.05	0.203	1.21	0.256	59.5	0.218	1.13	0.125	1.44	0.846	1.98
B (Bor)	µg/l	238	210	170	178	106	230	99.5	245	113	135	16.6	241	103	253	237	239
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	5.71	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
U (Uran)	µg/l	35.2	42.1	58.3	45.1	116	46	77.4	32.1	64.4	102	8.86	22.4	167	48.6	60.7	51.4
TOC	mg/l	0.87	1	1.13	1.28	1.58	0.64	1.1	0.98	0.51		2.57	0.58	1.26	<0.50	0.8	0.5
4.5	mmol/l	4.77	5.04	4.46	4.69	<0.150	<0.150	6.1				1.62	4.31	5.21	4.61	4.69	4.12
8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	6.27	4.48	<0.150				<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Ledningsevne	mS/m	84.7	97.5	123	96.2	122	81.4	128				124	79.5	170	80.9	104	84.4
Turbiditet	FNU	2.06	2.75	1.16	18.3	0.32	0.3	0.6				16.5	10.4	0.98	2.31	0.4	0.52
Suspendert stoff	mg/l	<5.0	<5.0	<5.0	60.4	<1.0	<1.0	<5.0				55	18.9	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
S (Svovel)	mg/l	50.3	75.6	127	73.5	132	61.1	119				27	54	234	62.9	85	55.1
N-total	mg/l	7.4	8.37	5.9	7.9	7.68	5.9	6.69				2.85	6.69	11	6.56	4.85	4.93
P-total	mg/l	0.02	0.018	0.016	0.081	0.011	0.012	<0.010				0.1	0.015	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
pH		8.21	8.13	7.95	8.2	8	8.26	8.07				7.84	8.28	7.82	8.1	7.77	8.26
Klorid (Cl-)	mg/l	28.7	24.9	38	31.3	25.5	21.5	30.2				6.62	20	38.5	20.9	22.9	20.1
Sulfat (SO4)	mg/l	174	251	402	226	391	196	395				77.4	175	754	196	276	192
N	mg/l	4.68	5.17	3.9	4.98	4.78	4.29	4.05				2.58	3.19	5.98	4.45	3.72	3.9
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010				<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.786	<0.020	0.53				0.134	0.031	0.5	<0.020	<0.020	<0.020
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l																

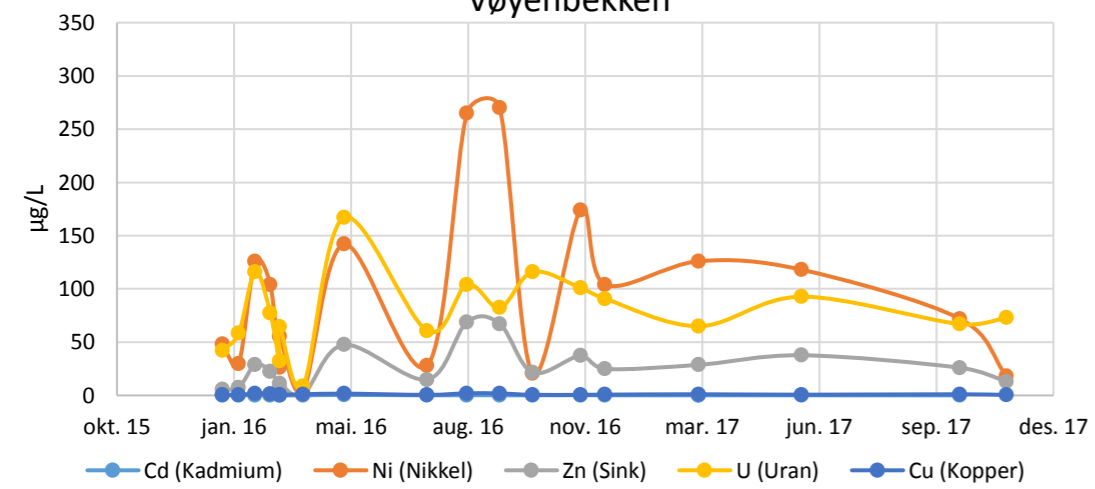
alområdet og dagsonen utenfor tunnelen

Utløp pumpe- sump	Pumpe- sump	Pumpe- sump	Utløp pumpe- sump (pumpa gjekk ikke)	Pumpe- stasjon	Ved utløp pumpe- stasjon	Utløp pumpe- sump	Pumpe- sump	Utløp pumpe- sump (ny pumpe- var monter)	Pumpe- sump i dam på bunnen av utjæmnings- basseng	Utløp pumpe- sump	Utløp pumpe- sump	Utløp pumpe- sump	Pumpe- sump	Vaskevass- magasin	TUN-UT
17.08.2016	17.08.2016	14.09.2016	14.09.2016	12.10.2016	12.10.2016	22.11.2016	13.12.2016	13.12.2016	03.03.2017	03.03.2017	30.05.2017	12.10.2017	12.10.2017	12.10.2017	21.11.2017
Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	ja	ja	ja	ja	ja
304	54.3	51.2	299	83.2	265	302	43.8	238	44.8	228	264	180	50	43	93
0.00133	<0.0004	<0.0004	0.00151	0.00064	<0.0004	0.00113	<0.0004	0.00171	0.00554	0.00146	0.00099	0.0012	0.0046	0.0052	0.00062
16.7	11	11.2	16.5	12	11.7	16	9.79	12.1	9.32	12.2	13.1	10	11	27	12
49.2	19	18.9	44.7	22.4	46.4	60	17.4	43.7	18.3	41.2	54.1	35	19	14	26
80.3	117	118	78.7	115	133	99.4	118	90.5	114	80.8	102	45	110	83	100
3.26	16.9	13.1	3.32	11.9	1.96	4.69	16.5	1.99	11.8	2.13	2.35	3.9	11	5.7	7.2
0.226	1.93	1.29	0.231	1.78	0.114	<0.2	1.82	0.153	1.12	0.172	0.15	0.16	1	3.6	0.85
49.8	71.9	64.6	51.4	77.4	33	40.6	67.4	31.7	64.4	41.2	40.2	36	61	20	55
0.206	0.293	0.116	0.136	0.143	0.129	0.23	0.168	0.139	0.113	0.116	0.111	0.1	0.047	0.023	0.067
3.58	0.046	0.0442	4.6	0.0492	0.0202	3.45	0.0202	1.56	0.0385	2.12	1.4	0.39	0.29	0.86	0.059
0.0311	0.214	0.136	0.0354	0.12	0.0222	0.0229	0.111	0.0218	0.125	0.0226	0.0191	< 0,050	0.18	3	0.074
2	0.403	0.369	1.83	0.421	0.568	0.572	0.34	0.749	0.486	1.09	0.691	1.1	1.2	4.7	0.45
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
253	0.124	0.967	326	1.39	1.09	236	0.146	110	0.491	151	91.9	34	3.5	3	3.1
51.8	157	120	38.6	105	74.8	62.1	125	72.3	77.9	46.8	48	25	66	49	70
265	9.61	10.9	270	18.9	20.5	174	3.94	104	7.35	126	118	72	10	6.3	18
<1	3.02	3.36	<1	3.74	2.11	1.68	2.73	<1	4.97	1.78	<1	< 300	< 300	< 300	<3000
0.0128	0.0278	0.0189	0.0295	0.0139	<0.01	0.0135	0.0208	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	< 0,010	0.022	0.042	< 0,010
4.85	4.66	4.58	5.03	4.73	4.18	3.94	4.41	3.83	4.27	3.22	3.85	3.6	4.5	5.2	4.7
4620	1980	1890	4700	2420	2270	4300	1920	2980	1680	3320	3370	2200	2100	810	2200
68.8	38.7	31.7	67.2	22	21.5	37.3	4.9	24.9	17.1	28.7	37.7	26	18	150	13
0.226	1.75	1.25	0.217	1.33	0.0513	0.209	1.68	0.115	1.19	0.111	0.197	0.14	0.99	15	0.56
181	260	275	184	263	103	155	262	117	256	111	115	98	80	< 1,0	720
<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	< 10	< 100	20	10
104	46.7	33.3	82.4	48	116	101	42.3	90.8	31.8	65	92.7	67	35	14	73
1.46	0.57	0.59	0.98	0.73	0.78	1.51	0.57	0.89	0.89	1.31	1.73	6.2	9.1		1.1
6.07	4.48	4.27	7.6	4.63	5.63	5.6	4.22	6.24	4.29	5.21	5.6	5.5	4.6		4.9
<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	0.158	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-23.7	-57.73	0	0
187	92.6	90.5	179	102	193	188	85.6	166	83.3	157	162	129	87.3		98.7
1.28	0.81	0.67	0.32	0.9	2.14	5.01	0.91	0.49	1.9	1.71	1.55				
<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	15.9	5.4	<5.0	<5.0	18.4	<5.0	<5.0	3.7	<2		< 2
258	77.3	64.4	207	78.9	246	270	61.8	200	54.1	192	220	150	64	34	96
1.78	5.71	7.41	2.28	4.77	2.11	2.69	5.48	6.28	4.08	2.1	2.61				
<0.010	<0.010	<0.050	<0.050	<0.010	0.012	0.545	<0.010	<0.010	0.02	<0.010	<0.050	0.011	0.015	0.15	< 0,30
7.6	8.36	8.31	7.98	8.54	8.24	7.6	8.32	7.71	8.18	7.79	7.67	7.6	8.2		7.8
30.5	20	23.2	29.1	20.8	54	33.2	20.2	43.7	23.7	39	61.6	22	24	110	25
759	214	192	646	245	734	833	179	587	162	594	618	420	199	87	285
1.02	4.08	3.51	0.654	3.32	1.12	0.197	2.97	3.27	2.41	<0.060	1.38	0.0025	0.0025	0.000012	0.0034
<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0000029	0.0000027	0.000047	0.0000042
0.376	<0.020	<0.020	0.424	<0.020	<0.020	0.432	<0.020	0.211	0.113	0.318	0.162	0.000065	0.000012	0	0.000011
						ja						6	9.5		1.1

Innlekkasjevann i tunnel (fra utjevningsmagasin)



drenering frå tunnel og overflatevatn i dagsone utløp til Vøyenbekken



Vedlegg 18.1

Vassprøver frå overvakingsbrønnane BO1 – BO6 rundt masselageret

ELEMENT	SAMPLE	Brønn BO1				Brønn BO2				Brønn BO3			Brønn BO4			Brønn BO5		Brønn BO6	
		30.05.2017	12.10.17	21.11.17	02.06.17	12.10.17	12.10.17	12.10.17	21.11.17	02.06.2017	12.10.17	21.11.17	02.06.2017	12.10.17	21.11.17	02.06.2017	12.10.17	02.06.2017	12.10.17
Filtrering		ja			ja	ja	ja	ja	ja			ja			ja		ja	ja	ja
Ca (Kalsium)	mg/l	228	170.0	320	541	420.0	430.0	460	212	190.0	180	296	230.0	380	113	100.0	211	250.0	
Fe (Jern)	mg/l	0.00155	0.0006	0.0027	0.00084	0.0010	0.0023	0.00073	0.00076	0.0	0.00072	<0.0004	0.001	0.00062	<0.0004	<0.3	0.00804		
K (Kalium)	mg/l	12.1	11.0	17	28.9	24.0	26.0	31	5.78	6.1	6.9	5.61	14.0	20	2.36	1.7	32	58.0	
Mg (Magnesium)	mg/l	46.1	31.0	90	146	120.0	130.0	120	22.7	23.0	24	40.5	89.0	140	8.74	7.9	15.2	19.0	
Na (Natrium)	mg/l	98.6	29.0	66	305	150.0	160.0	210	94.4	81.0	72	83.6	120.0	240	14.6	15.0	21.2	25.0	
Al (Aluminium)	µg/l	2.87	< 1.0	< 1.0	6.49	1.1	3.5	2.1	8.48	2.2	2.4	5.87	1.8	1.6	9.37	1.7	1.79	7.7	
As (Arsen)	µg/l	0.143	0.1	0.093	0.141	0.1	0.2	0.15	3.37	1.5	1.1	0.212	0.14	0.13	0.315	0.1	0.303	0.4	
Ba (Barium)	µg/l	43.6	22.0	48	40.4	22.0	27.0	30	43.5	44.0	55	48.8	49.0	76	40.8	45.0	233	270.0	
Cd (Kadmium)	µg/l	0.099	0.06	0.055	0.178	0.23	0.28	0.16	0.13	0.02	0.22	0.0699	0.57	0.21	0.0098	< 0.0040	0.0523	0.09	
Co (Kobolt)	µg/l	5.96	1.500	6.2	8.98	8.200	19.000	2.2	0.266	0.300	3	1.1	1.200	1.7	0.508	0.098	2.19	1.800	
Cr (Krom)	µg/l	0.0249	< 0.050	< 0.050	0.033	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.01	< 0.300	< 0.050	< 0.01	0.07	< 0.050	0.022	0.1	0.0667	0.1	
Cu (Kopper)	µg/l	1.59	0.3	0.5	1.68	0.8	1.4	0.86	0.171	0.3	1.2	0.357	1.0	0.6	0.313	0.2	4.06	7.1	
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	< 0.005	< 0.005	<0.002	< 0.005	< 0.005	< 0.005	<0.002	< 0.005	< 0.005	<0.002	< 0.005	0.008	<0.002	< 0.005	<0.002	< 0.005	
Mn (Mangan)	µg/l	239	93.0	380	227	310.0	720.0	180	198	250.0	640	136	290.0	900	105	3.4	7250	3300.0	
Mo (Molybden)	µg/l	7.13	11.0	11	3.83	4.6	3.9	5.6	235	170.0	200	41.8	48.0	52	1.46	2.0	4.21	2.2	
Ni (Nikkel)	µg/l	80.9	33.0	55	247	430.0	460.0	340	1.64	2.4	8.5	10.5	60.0	47	1.22	0.6	5.92	9.5	
P (Fosfor)	µg/l	2.8	< 0.30	< 0.30	<2	< 0.30	< 0.30	< 0.30	1.06	< 0.30	< 0.30	1.07	< 0.30	< 0.30	<1	< 0.30	6.83	< 0.30	
Pb (Bly)	µg/l	<0.01	< 0.010	0.02	0.0308	< 0.010	0.022	0.059	<0.01	< 0.010	0.037	<0.01	0.011	0.045	<0.01	0.011	<0.01	< 0.010	
Si (Silisium)	mg/l	2.98	2100	3.2	4.24	5800	5800	5.2	4.12	4400	4.9	4.84	3900	4.8	3.27	3400	4.75	5700	
Sr (Strontium)	µg/l	2560	2000	4400	8240	6900	7000	8100	1220	1600	2700	1510	2700	4300	438	440	934	1300	
Zn (Sink)	µg/l	15.1	3.3	13	44.5	26.0	37.0	25	2.74	8.5	7.6	2.72	39.0	8.9	2.65	1.7	11.2	16.0	
V (Vanadium)	µg/l	0.0581	< 0.020	< 0.020	0.0749	< 0.020	< 0.020	< 0.020	0.0998	< 0.020	0.054	0.0739	< 0.020	< 0.020	0.0757	0.1	0.0757	< 0.020	
B (Bor)	µg/l	91.2	79.0	430	269	260.0	300.0	730	95.1	97.0	450	66	82.0	540	35.2	30.0	44.9	54.0	
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	< 10	< 0.02	<0.04	0.02	< 0.10	< 0.02	<0.02	< 100	< 0.10	<0.02	< 100	< 0.02	< 0.02	< 100	<0.02	< 0.1	
U (Uran)	µg/l	14.3	13	33	22.5			25	190	200	360	78.9	94	170	4.83	1.5	7.29		
TOC	mg/l	3.28	1.4	3.7	1.53	12.0	10.0	1.9	1.27	1.6	1.6	2.06	11.0	2	0.82	0.8	8.78	340.0	
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	4.25	3.0	0	4.73	7.7	8.2	6.2	5.59	6.2	6.8	5.44	6.2	7.9	4.67	4.8	9.6	17.0	
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	-9.8	4.5	<0.150	6.8	21.6	0	<0.150	-2.0	0	<0.150	-1.5	0	<0.150	-19.5	<0.150	1.5	
Ledningsevne	mS/m	143	115.0	212	405	315.0	328.0	350	141	144.0	148	169	221.0	326	64.8	60.1	117	153.0	
Turbiditet	FNU	179			49.9				25.9			416			465		525		
Suspendert stoff	mg/l	241	27.0	200	167	410.0	160.0	240	177	130.0	560	1080	510.0	2600	1100	18.0	476	10000.0	
pH		7.33	7.4	7.1	7.07	7.1	6.8	6.9	7.42	7.4	7.3	7.37	7.2	7.2	7.58	7.5	7.47	7.2	
S (Svovel)	mg/l	165	160	420	534	470	500	590	144	140	180	224	310	600	13.6	12	34	71	
N-total	mg/l	1.22			42.6				0.51			7.06			13		4.3		
P-total	mg/l	0.26	0.04	0.14	0.055	0.10	0.08	0.12	0.073	0.05	0.52	0.611	0.36	1.7	0.568	0.02	0.576	20.00	
Klorid (Cl-)	mg/l	107	22.0	54	549	120.0	160.0	180	39.2	63.0	61	46.8	81.0	110	28.7	18.0	50.8	53.0	
Sulfat (SO4)	mg/l	460	449.0	1120	1280	1330.0	1410.0	1610	340	409.0	456	600	837.0	1640	35.7	42.7	96.3	237.0	
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	0.104	0.130	0.11	21.1	7.6	6.4	16	<0.060		<5	3.03	4.0	1.6	5.96	5.9	1.03	2.8	
Fosfat-P	mg/l	<0.010	0.002	0.0022	<0.010	0.0	0.0	0.0036	<0.010	0.0	0.0047	<0.010	0.0	0.0057	<0.010	0.0	<0.010	0.0	
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	0.07	0.067	0.18	0.142	0.1	0.3	0.069	0.439	0.7	1.6	0.051	0.1	0.76	0.55	0.0	1.31	0.0	
DOC	mg/l		1.4	2.1		6.1	8.2	1.9		1.6	1.7		2.1	1.8		0.6		19.0	

Vedlegg 18.2

Brønn 13. Vassprøver frå 2013 og 2017

ELEMENT		10.04.2013	06.06.2013	04.07.2013	02.10.2013	12.10.17	21.11.17
Filtrering			Ja	JA	JA	JA	Ja
Ca (Kalsium)	mg/l	134	128	142	118	220	220
Fe (Jern)	µg/l	1.3	0.64	1.4	2.9	0.0120	0.0099
K (Kalium)	mg/l	2.5	8.5	9.8	7.5	5.8	5.9
Mg (Magnesium)	mg/l	7.4	7.3	7.8	7.4	11	11
Na (Natrium)	mg/l	8.7	10	10	10	20	21
Al (Aluminium)	µg/l	2.0	7.3	5.9	8.4	1.5	< 1.0
As (Arsen)	µg/l	0.1	0.6	0.6	0.6	0.3	0.29
Ba (Barium)	µg/l	120	139	120	125	170	210
Cd (Kadmium)	µg/l	0.0065	0.0034	0.0103	0.0032	0.030	< 0.0040
Co (Kobolt)	µg/l	0.03	0.12	0.25	0.37	3.7	2.1
Cr (Krom)	µg/l	0.015	0.13	0.13	0.12	< 0.050	< 0.050
Cu (Kopper)	µg/l	0.37	0.66	0.87	0.28	1.4	0.069
Hg (Kvikksølv)	µg/l		<0.002	<0.002	<0.002	< 0.005	< 0.005
Mn (Mangan)	µg/l	160.0	6.2	429.0	1120.0	2500.0	1500
Mo (Molybden)	µg/l	0.6	6.3	5.8	1.9	1.2	2.7
Ni (Nikkel)	µg/l	0.41	2.5	2.7	2.5	9.7	8.2
P (Fosfor)	µg/l	5.3	29	37	108	< 0.30	< 0.30
Pb (Bly)	µg/l	0.042	0.10	1.69	3.90	< 0.010	0.021
Si (Silisium)	mg/l	3.4	3.3	3.9	3.6	3.2	3.7
Sr (Strontium)	µg/l	560	676	640	659	1000	930
Zn (Sink)	µg/l	0.85	3.8	2.3	1.5	5.0	0.85
V (Vanadium)	µg/l	0.05	0.09	0.11	0.17	0.086	< 0.020
B (Bor)	µg/l		27	21	26	29	17
Th (Thorium)	µg/l	0.010	0.010	1.2	0.010	< 0.010	< 0.10
U (Uran)	µg/l	0.8	2.7	0.7	0.2	7.6	4.8
TOC	mg/l	2.6		20.8	22.2	15.0	14
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l		6.7	7.4	6.8	9.4	0
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l		<0.150	<0.150	<0.150	3.3	8.6
Ledningsevne (konduktivit)et	mS/m	70	77	76	73	115	108
Turbiditet							
Suspendert stoff						250.0	230
pH		7.2	7.7	8.0	7.8	7.1	7.2
S (Svovel)	mg/l	28	12		14	67	75
N-total	mg/l			2.3	2.7		
P-total	mg/l			0.22	0.34	0.21	0.12
Klorid (Cl-)	mg/l	16		18	17	12	15
Sulfat (SO4)	mg/l	88		23	41	213	232
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	1.4		0.030	0.030	0.022	<5
Fosfat-P	mg/l			0.016	0.023		0.0036
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l				1.3	1.4	1.6
Løst organisk karbon (DOC)						13	9.9

Rapport

Til: Fylkesmannen i Oppland
Fra: Statens vegvesen Region øst, Prosjekt
Vestoppland
Kopi: Gran kommune

Saksbehandler/innvalgsnr:
Malin Torp/ Halldis Fjermestad
Vår dato: 17.12.2015
Vår referanse: 15/207043-22

Sluttrapport utslippstillatelse for midlertidig renseanlegg Grantunnelen

Innholdsfortegnelse

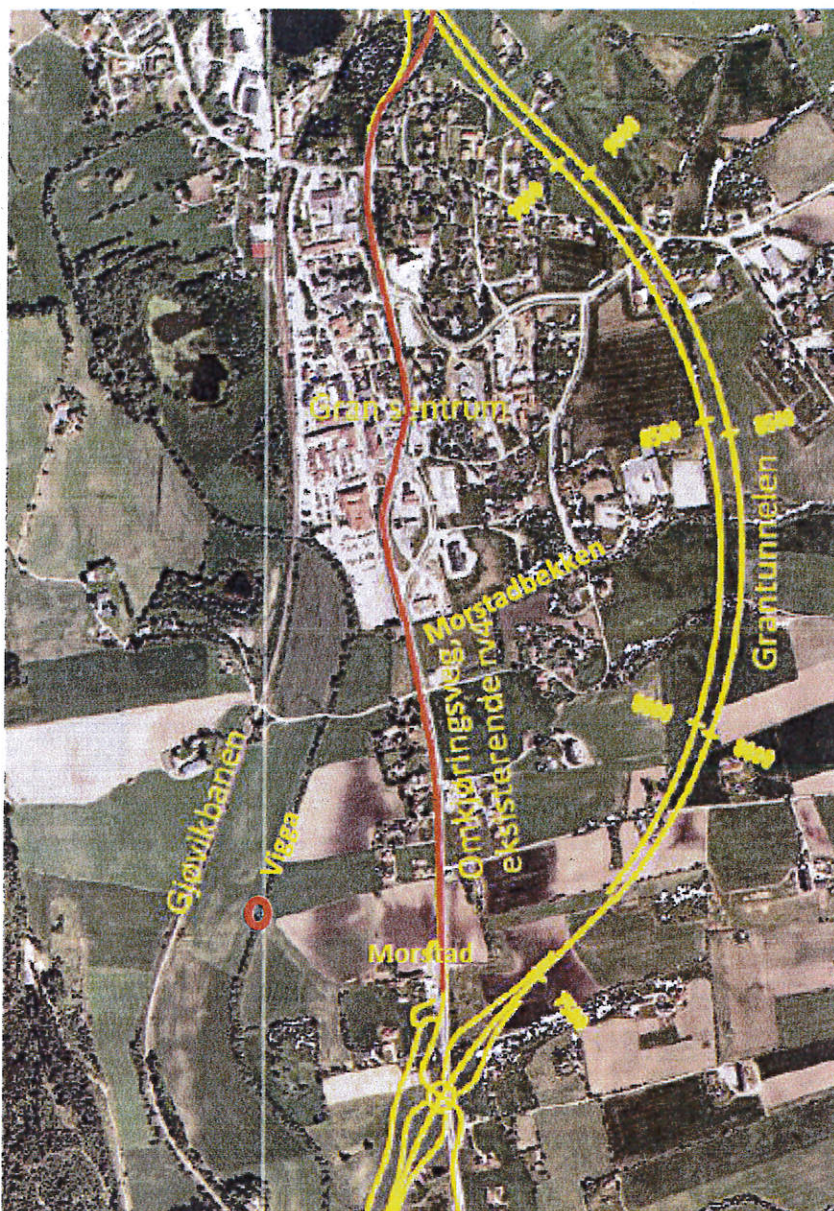
Bakgrunn.....	1
Metode	3
Resultater.....	3
Ukeblandprøver	4
Kontinuerlige målinger	7
Resipientovervåkning	12

Bakgrunn

I forbindelse med prosjektet Rv.4 Gran grense Jaren ble det innvilget utslippstillatelse for drive- og vaskevann fra anleggs- og driftsfasen, datert 19.11.2013. Grantunnelen hadde gjennomslag 13.05.2015 i sørgående løp, 28.05.2015 i nordgående løp. Denne rapporten inneholder samlede resultater fra anleggsfase som dokumentasjon på krav satt i utslippstillatelsen.

Krav satt til rensing av vann under anleggsfasen er satt i utslippstillatelsen av 19.11.2013, figur 2.

Utslipp av vann var via overvannsnett til Vigga, plassering angitt på i figur 1.



Figur 1. Kart som viser Gran område og plassering av utslippspunkt i Vigga er merket med rød sirkel.

Utslppsparameter	Utslippsgrense	Enhet
pH	>6 og <8,5	-
Olje	5	mg/L
Suspendert stoff	100	mg/L
Ammoniakk	0,05	mg/L
Totalt fosfor	5	mg/L
Arsen (As)	8,5	µg/L
Kadmium (Cd)	1,5	µg/L
Krom (Cr)	3,4	µg/L
Kobber (Cu)	7,8	µg/L
Kvikksølv (Hg)	0,07	µg/L
Nikkel (Ni)	34	µg/L
Bly (Pb)	14	µg/L
Sink (Zn)	11	µg/L

Figur 2. Tabell som viser grenseverdier satt i utslippstillatelse for Gran tunnelen.

Det ble omsøkt grenseverdier for utslippsvannet i søknad datert 27.06.2014, figur 3. I møte med Fylkesmannen i Oppland ble denne søknaden gjennomgått. Disse verdiene gjaldt kun når Vigga hadde vannføring over 0,5 m³. I vurdering av prøveresultatene la vi oss på et konservativt nivå, og gjorde vurderinger der vi så at grenseverdiene ble oversteget, ved å evaluere verdiene i forhold til vannføringen i Vigga, som var mottakende resipient for tunneldrivevannet.

STOFF	OMSØKTE NYE GRENSEVERDIER UTSLIPP RA
Cr (ug/l)	15
Cu (ug/l)	25
Ni (ug/l)	100
Zn (ug/l)	35
NH3 (mg/l)	3,5

Figur 3. Tabell som viser omsøkte grenseverdier i endringssøknad for utslippstillatelse for Grantunnelen.

Videre var det krav om kontinuerlig overvåkning av temperatur, pH og suspendert stoff i rensert vann fra midlertidig renseanlegg tunnel. Dette er vedlagt i denne rapporten. Det var også krav om vannovervåkningsprogram/resipientovervåkning for området. Data fra resipientovervåkning legges inn i databasen vannmiljø.

Metode

Som midlertidig renseanlegg for tunneldrivevann/ tunnelvann i anleggsperiode benyttet NCC et CT Mobilt autovannrenseanlegg levert av Containertech. Avløpsrør fra anlegget ble ledet til eksisterende overvannskum som leder til Vigga.

Renseanlegget bestod av sedimentasjonscontainere med oljeutskiller, før det ble ledet inn i enhet for syredosering. Her ble HCl (34%) brukt til å justere pH. Etter pH-justering ble vannet ledet gjennom en filterenhet før det ble pumpet ut til resipient.

Fra mars 2014 ble det benyttet grøfter til sedimentering inne i tunnelen og tilsetning av PAX (fellingskjemikalie) startet, etter at man opplevde en periode med høyere suspendert stoff i tunneldrivevannet, jmf. Punkt 2,5 i utslippstillatelse som omhandler tiltak ved økt forurensningsfare.

Resultater

Renseanlegget var i drift i perioden fra uke 48 2013 til uke 43 2015. Tunnelens drivefase (da det pågikk sprengningsarbeid) var fra uke 48 i 2013 til uke 22 i 2015. Totalt var renseanlegget i drift i ca. 90 uker.

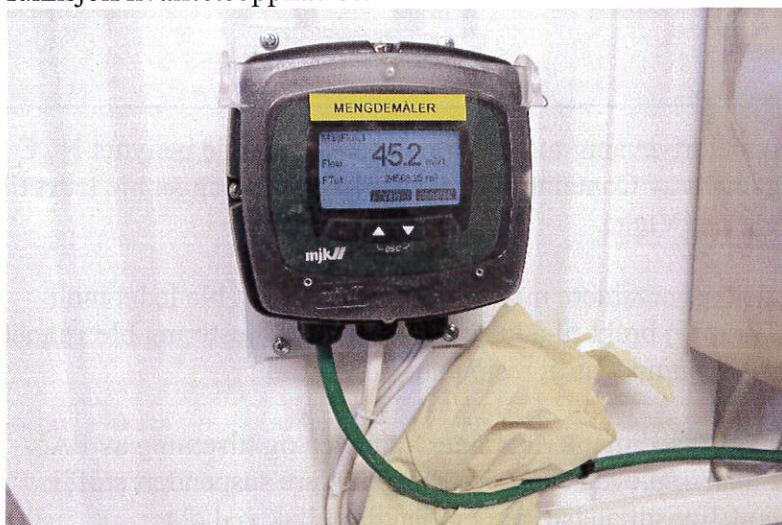
Totalt ble det sluppet ut 125 110 m³ rensert tunneldrivevann (oppgitt av NCC, se vedlegg 1). Det gjennomsnittlige utslippet var ca. 1400 m³/uke (ca.200 m³/d eller ca. 8 m³/t). Ikke alle dager var driftsdager. Renseanlegget var dimensjonert for 40m³/t. Vannføringen på utslippet var veldig varierende, og det forekom perioder der belastningen av renseanlegget var over 40 m³/t.

Forbruk saltsyre HCl til pH-regulering var 24 000 L (oppgitt av NCC, se vedlegg 2.) I en periode ble det brukt svovelsyre (96%) istedenfor saltsyre i syredoseringen. NCC har oppgitt et forbruk av 1000 L svovelsyre (oppgitt per mail fra NCC 17.11.2015). Totalt forbruk PAX (fellingskjemikalie) er 24 000 L (oppgitt av NCC, se vedlegg 2).

Boreslam fra renseanleggets sedimenteringscontainere ble levert til Ringerike septikkservice AS. Total mengde slam fjernet fra sedimentasjonskonteinere er oppgitt å være ca. 636 tonn, fordelt på 52 tømminger (vedlegg 3). Mengdene er fra tømning av containerne og vil inkludere vann.

Ukentlig vannføring multiplisert med konsentrasjoner av stoffer i ukentlig mengdeproporsjonale blandprøver er benyttet for å estimere utslipp. Kontinuerlige målinger har blitt benyttet til å se på variasjonen i renseanlegget. Dokumentasjon på vannføring fra NCC under renseanleggets drift bestod av ukeutslipp registrert i sjekklister. Vannføring ble ikke målt sammen med kontinuerlige målinger av vannkvalitet (pH, ledningsevne og turbiditet), men er en egen enhet (figur 4).

NCC har ikke gitt noen kommentarer/evaluering av målingene eller av renseanleggets funksjon/kvalitetsoppnåelse.



Figur 4. Mengdemåler for vann som pumpes ut av renseanlegget. Registreringen fungerer slik at akkumulert mengde vann ut registreres og leses av 1/uke av NCC. For å beregne mengde vann ut per uke må man trekke fra mengden fra forrige uke.

Ukeblandprøver

Det ble tatt ut mengdeproporsjonale blandprøver av rensset vann sluppet til overvannsnett. Under prøvetakning (blandprøven) stod beholderen en uke i renseanlegget (romtemperatur – avhengig av vifta sin funksjon) (figur 5). Prøvekvaliteten vil således være påvirket av dette, siden spesielt temperatur vil påvirke noen parametere sin tilstandsform. Temperatur har for eksempel stor effekt på andel ammoniakk man måler i prøven. Samtidig ble prøven luftet (ikke forsegle) under perioden da prøven ble samlet opp. Det anbefales å sette krav om bruk av kjøleskap for ukeblandprøver.



Figur 5. Viser dunk som samler opp uttak fra rensert vann som pumpes ut gjennom en hel uke. Frekvensen til uttaket er styrt av mengde vann som pumpes ut. På dette bildet tas en stikkprøve av vannet, og derfor går slangen med rensert vann ned til et prøveflasker ved siden av.

I vedlegg 4 oppgis alle resultater fra ukeblandprøvene fra renseanlegget. Verdiene som overskrider grenseverdier er merket av med fargekoder. Tabell under (figur 6), viser et utvalg parametere og deres snittverdier, samt beregnet totalutslipp.

Tabell 1 viser utregnet mengde totalutslipp fra renseanlegget i perioden uke 48 2013 - uke 43 2015 for en utvalgt mengde parametere. Data og flere parametere er vedlagt som Excel-ark. pH har ikke reell snittverdi, da pH er i logaritmisk skala. 8 er median pH. Ved konsentrasjoner under rapporteringsgrense ble halvparten av konsentrasjonen brukt i utregningen av gjennomsnitt og totalt utslipp.

Parameter	Benevning	Gjennomsnitt	Max	Min	n	Totalt utslipp (Kg)
pH		8,0	9,9	6,9	90	
Sum PAH-16	µg/l	0,030	0,77	0,014	17*	0,018
Ammoniakk (NH ₃)	mg/l	0,24	3,16	< 0,003	68	29
Ammonium (NH ₄)	mg/l	9,2	35	0,01	85	1100
P-total	mg/l	0,12	1,61	0,002	77	14
Suspendert stoff	mg/l	68	820	1	89	8100
N-total	mg/l	35	134	4	85	4100
As (Arsen)	µg/l	1,4	2,7	0	88	0,17
Cd (Kadmium)	µg/l	0,19	0,57	0,04	81	0,02
Cr (Krom)	µg/l	6,1	32,5	0,3	88	0,7
Cu (Kobber)	µg/l	4,9	60,5	0,5	89	0,6
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,0
Ni (Nikkel)	µg/l	10,2	65,2	0,7	90	1,2
Pb (Bly)	µg/l	0,4	4,1	0,4	17*	0,04
U (Uran)	µg/l	10,0	32,5	0,3	82	1,2
Zn (Sink)	µg/l	127	6060	< 2	90	15
Fraksjon C5-C40 (sum)	µg/l	188	855	63	24*	24

* Få målinger, en stor andel under LOD og er dermed ikke med i beregningen av gjennomsnitt, dvs snittverdien er i realiteten mye lavere.

I ukeblandprøvene ble det ikke påvist konsentrasjoner av Cd, Pb og Hg over de konservative grenseverdiene. Totalt utslipp av disse metallene ble estimert til å være mindre enn 100 g. For

Hg ble det ikke påvist konsentrasjoner over rapporteringsgrensen (0,002 µg/L) i noen av blandprøvene.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av Cu i utslippet var 4,9 µg/L (konservative grenseverdi er 7,8 µg/L). Konsentrasjonen av Cu i ukeblandprøvene oversteg den omsøkte grenseverdien (25 µg Cu/L) i uke 3, 8 og 11 i 2014, med utslippskonsentrasjoner av Cu på hhv. 31, 40 og 60 µg/L. Ingen av vannprøvene tatt i Vigga under anleggsperioden viste konsentrasjoner over 2 µg Cu/L. Estimert total mengde Cu ut fra renseanlegget var ca. 600g.

For Cr var den gjennomsnittlige konsentrasjonen i vannet ut fra renseanlegget 6,1 µg/L. Dette er høyere enn den konservative grenseverdien på 3,4 µg/L, men lavere enn den omsøkte nye grenseverdien på 15 µg/L. I tretten ukeblandprøver fra uke 6 til uke 39 i 2014 ble det påvist konsentrasjoner av Cr over den reviderte grenseverdien, med høyeste påviste konsentrasjon på 32,5 µg/L. I Vigga har det imidlertid ikke blitt påvist konsentrasjoner av Cr over 1 µg/L. Estimert mengde Cr fra renseanlegget var ca. 700g.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av Ni ut av renseanlegget var 10,2 µg/L. Den konservative grenseverdien var 34 µg/L, mens den omsøkte grenseverdien var 100 µg/L. I åtte ukeblandprøver ble det påvist konsentrasjoner over 34 µg/L. Seks av disse ble tatt i en periode der vannprøven ikke ble filtrert på laboratoriet før analysen. Dette gjaldt blant annet prøven med den høyeste konsentrasjonen på 65,2 µg/L i uke 5, 2014. Det ble ikke påvist høyere konsentrasjoner av Ni i Vigga enn 3,6 µg/L i en stikkprøve tatt 30 m nedstrøms utslippspunkt 23.09.2015. Totalt ble det estimert ca. 1,2 kg Ni i utslipp fra renseanlegget.

Totalt ble det påvist konsentrasjoner av Zn over den omsøkte grenseverdien på 35 µg/L i elleve blandprøver. Høyeste påviste konsentrasjon av Zn var 6060 µg/L. Denne prøven gir et betydelig bidrag til den gjennomsnittlige konsentrasjonen for de resterende prøvene, som blir 127 µg/L (gjennomsnittskonsentrasjonen ut fra renseanlegget blir 28 µg/L dersom denne prøven tas ut). Det er usikkert hva den høye konsentrasjonen av Zn i den enkelte vannprøven skyldtes. De høye konsentrasjonene avtok da fellingskemikaliet PAX ble tilsatt før rensing. Den høyeste påviste konsentrasjonen i Vigga var 14 µg/L. Ukeblandprøven fra den samme uken viste 7,07 µg Zn/L (uke 21 2015). Ca. 15 kg Zn har blitt tilført Vigga fra renseanlegget.

De fleste analysene av olje- og PAH viste konsentrasjoner under deteksjonsgrensene. I 24 av ukeblandprøvene ble det påvist olje, men ikke over grenseverdien på 5 mg/L. Ca 7 kg av fraksjon C5- C20 ble tilført Vigga ved utslipp av vann fra renseanlegget. I 17 av ukeblandprøvene ble det påvist PAH-konsentrasjoner over deteksjonsgrensene. Ca 3g PAH 16 ble tilført Vigga.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av fosfor (P) i ukeblandprøvene var 0,15 mg/L, der maks konsentrasjonen var 1,6 mg/L. Ingen av ukeblandprøvene oversteg grenseverdien for fosfor på 5 mg/L. Total fosfor tilført Vigga var på ca. 14 kg.

Gjennomsnittlig konsentrasjon for suspendert stoff i utslippsvannet var 68 mg/L. I 17 av ukeblandprøvene ble det påvist konsentrasjoner av SS over grensen i utslippstillatelsen på 100 mg/L. Den høyeste påviste konsentrasjonen var 820 mg SS/L. Estimert mengde av SS ut fra renseanlegget var ca. 8,1 tonn. Turbiditeten ble også målt kontinuerlig i en delprøve av vannet i renseanlegget. Resultatene fra disse målingene er omtalt under neste kapittel.

Konsentrasjonen av ammoniakk (NH_3) i ukeblandprøvene hadde et gjennomsnitt på 0,24 mg/L. Den første grenseverdien på 0,05 mg/L var vanskelig å overholde, og ble omsøkt til 3,5 0,24 mg/L i juni 2014, etter vurderinger av potensiell skadevirkning i Vigga. Det ble ikke påvist konsentrasjoner i blandprøvene som overskred denne verdien (den høyeste påviste konsentrasjonen var 3,16 mg/L). Konsentrasjonene av NH_3 ble utregnet på laboratorie basert på pH og konsentrasjonen av NH_4 i prøven. Det er knyttet større usikkerheter til nøyaktigheten av disse analyseresultataene, blant annet på grunn av ulik temperatur i felt og på laboratoriet.

Kontinuerlige målinger

Kontinuerlig overvåking i renseanlegget inkluderte måling av turbiditet (0-1000), vanntemperatur, ledningsevne og pH hvert 30. minutt. Målingene ble utført i renseanleggets målekare (figur 6), hvor også vannprøvetakningen ble gjort. Målekaret mottok en delprøve av det rensede anleggsvannet når vannet ble sluppet videre til resipient. Instrumenteringen i målekaret gjorde det ikke mulig å måle vannmengde sammen med øvrige parametere og kan derfor ikke brukes til å beregne totalutslipp fra renseanlegget.

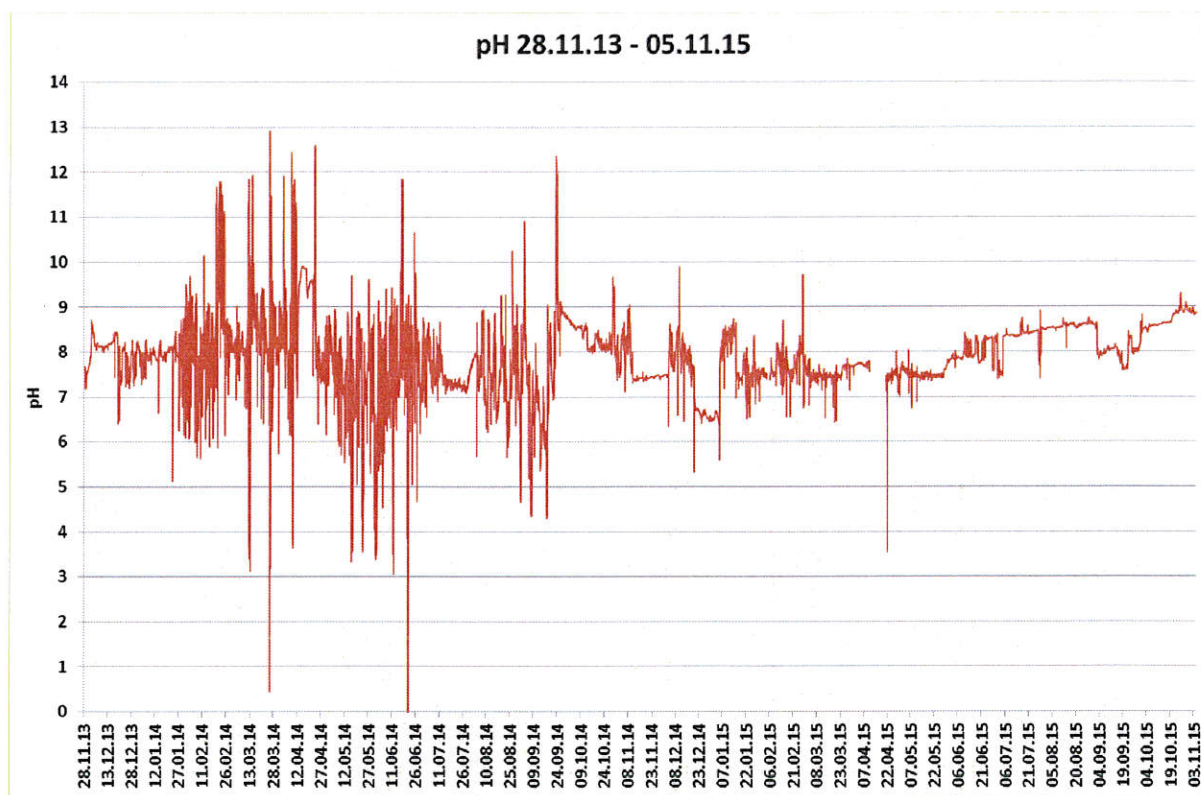


Figur 6. Målekaret med multiparametersonden for kontinuerlig overvåking av pH, turbiditet, ledningsevne og temperatur.

Alle målinger registrert for utpumpet rensert vann er vedlagt i vedlegg 5.

De kontinuerlige målingene avdekket flere episoder med pH utenfor grenseverdiene, vist i figur 7. Blant annet ble det i mars-juni 2014 målt flere avvik. For pH-episodene i mars og begynnelsen av april skyldtes målinger med både svært høye og svært lave verdier problemer med syredoseringsmekanismen. Episoder i mai-juni skyldtes nye problemer med syredoseringen etter bytte av syretype. Den 21.06.14 ble det målt negative pH-verdier i vannet. Dette skyltes brudd på slangen fra syredoseringstanken, se bilde figur 8. Saken ble avviksbehandlet av NCC. Rensert vann var i denne perioden koblet på tanker for borevann (retur av vann) og det gikk derfor antatt svært lite vann til utløp i Vigga (Vigga og effekter funnet i Vigga omtales i årsrapporter fra NIBIO vedlagt dette dokument). Mengde syreutslipp ble oppgitt å bestå av 5-10 L. Sjekklistene/rutiner ble revidert.

Lav pH i september 2014 hadde sammenheng med overdosering av PAX, se under i forbindelse med turbiditet.

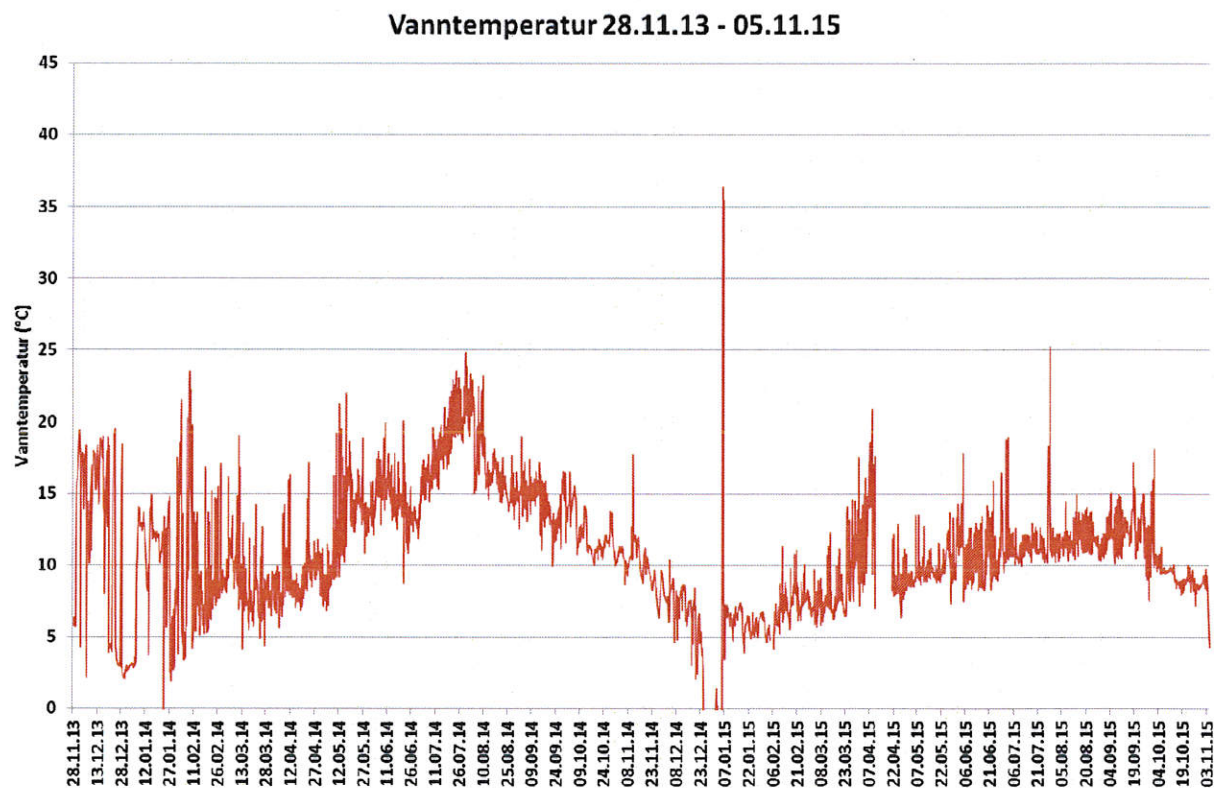


Figur 7. Graf som viser pH målt kontinuerlig med MPS i perioden 28.11.2013 til 03.11.2015.



Figur 8. Bilde tatt 24/6 2014 etter hendelse med lekkasje i slange for syretilsetning. Man ser korrosjon som følge av syre i rommet, og deler av platingen der tilstrømningen har vært konsentrert er etset vekk. Årsaken var brudd på slange som mater syre til doseringstanken. Dette er av farene ved bruk av syre som pH-regulering. Statens vegvesen arbeider med å innføre krav om pH-regulering med bruk av CO₂-gass da dette anses som mer stabilt og trygt, både mhp arbeidsmiljø og naturmiljø. I Norge i dag er det syre som er vanlig å benytte i slike anlegg.

Temperaturen var hovedsakelig påvirket av sesongvariasjoner, men også oppholdstid i et oppvarmet renseanlegg, figur 8. Der målingen viser 35°C hadde anlegget fryst i løpet av julen (avskrudd strøm ved et uhell, ingen driving i tunnel), og for å tine det opp ble det tilført mye varme.



Figur 9. Graf som viser temperatur målt kontinuerlig med MPS i perioden 28.11.2013 til 03.11.2015.

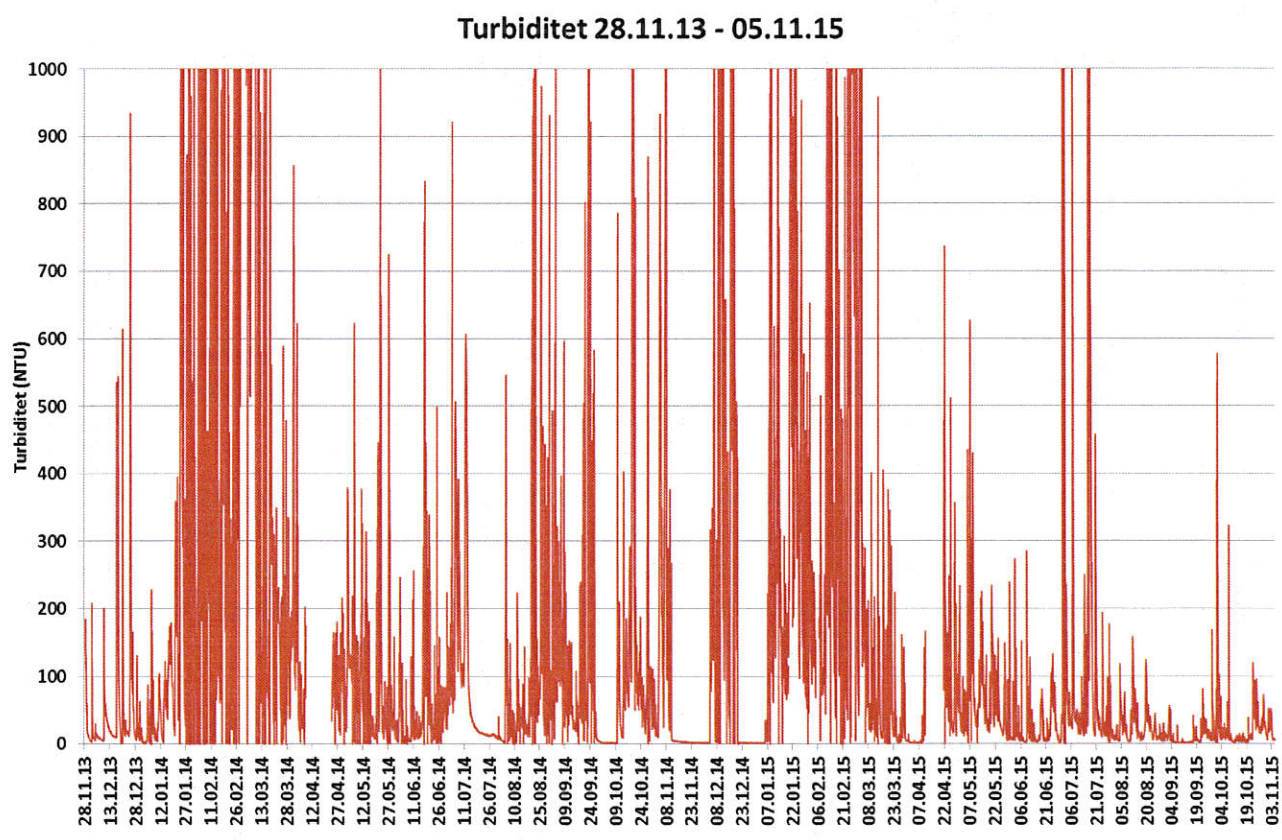
For turbiditet (figur 10) ble det målt svært høye verdier gjennom lengre perioder, se figur 10. Det påpekes at målingene ikke var relatert til vannføring, men de vil likevel gi en indikasjon på partikkelnivået i vannet som har passert renseanlegget.

Episoder som kan fremheves er perioden fra januar til begynnelsen av mars 2014 da det gjentatte ganger ble målt turbiditet over 1000 NTU. Dette var en periode der det ble drevet i berggrunn som produserte mye finstoff som det var vanskelig å sedimentere. Dette førte til at filterne på anlegget ofte gikk tett. Antall høye turbiditetsmålinger avtok etter at det ble begynt å tilsette fellingskemikalier (PAX) i for-sedimenteringen i tunnelen.

I august-september 2014 skyltes høye turbiditetsmålinger manglende tømning av sedimenteringscontainerne til renseanlegget. Under befaring ble det avdekket feil ved peiling av slamnivå i renseanlegget. Som følge av økt dosering PAX fra slutten av august 2014 på grunn av økte mengder finstoff hendte det flere overdoseringer som resulterte i lav pH i renseanlegget. Etter forbedring av restriksjoner på mengde PAX som kunne tilsettes og utbytting av pumper ble situasjonen bedre. Slamsuging etter avdekt feil med peiling/sjekk slamnivå ble utført i slutten av september og man kunne tydelig se store mengder slam i sedimenteringscontaineren, se bilde figur 12. Når større mengder vann går inn i renseanlegget vil det skylle med seg avsatt slam, og føre til høye verdier slik sett her.

Renset vann gikk i retur og ble brukt på ny som borevann en periode fra slutten av september til slutten av oktober 2014 i regi av NCC. I denne perioden var derfor utslipp til Vigga begrenset. Eksakt periode er ikke oppgitt. Resirkulering av vannet ble stoppet på grunn av slitasje på boreriggen. Høye målinger i februar og mars 2015 skyldtes antakelig intensiv drift og vanskeligheter for renseanlegget til å ta unna, slik at filtrene ble tettet kjapt og måtte byttes hyppig. Egne særmøter for renseanlegget ble holdt i hele perioden hvor videre tiltak ble drøftet, og siste særmøte omhandlet høye målinger i denne perioden (februar og mars). Ukeblandprøvene viste verdier innenfor satte grenseverdier, og det var uenigheter i hvordan de kontinuerlige målingene skulle benyttes når de viste høye verdier i utslippsvannet, men lavt innhold i blandprøven.

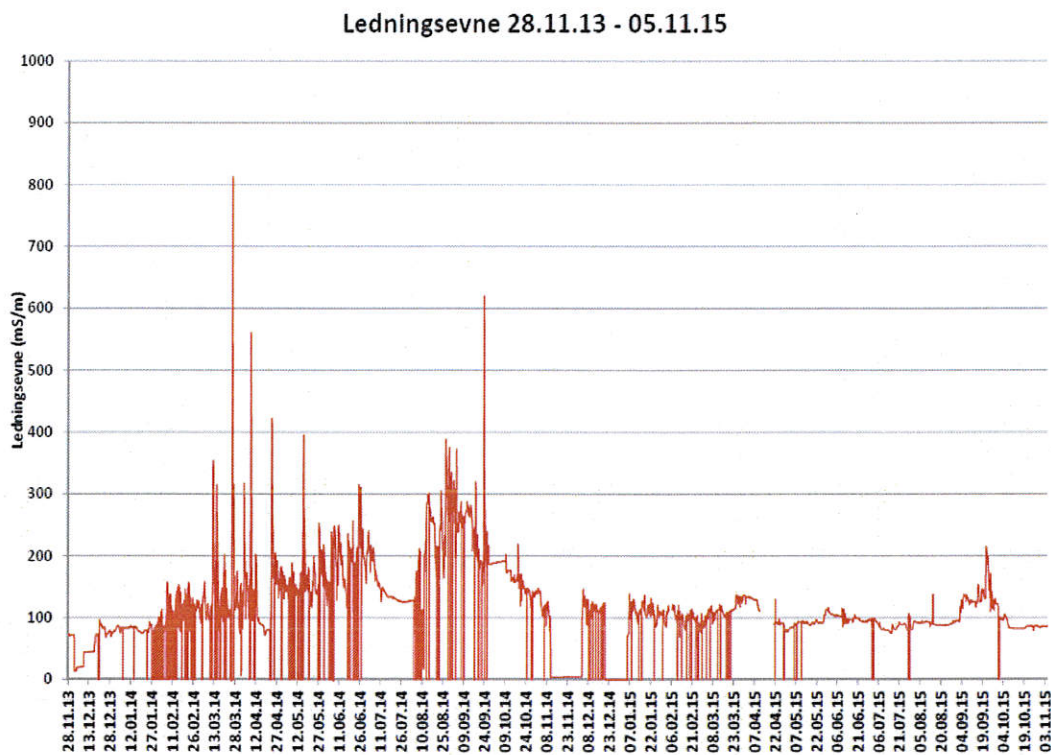
Da det ikke er knyttet vannføringsmålinger til de kontinuerlige målingene fra sonden i renseanlegget, kan man ikke regne mengde ut. I rapporteringen fra NCC er det oppgitt totalt ukesutslippet av vann per uke (m^3), men ikke m^3/s el. Ukeblandprøver viste periodiske overskridelser (vedlegg 4), med en lenger periode i starten av februar 2014 til april 2014 inntil PAX-tilsetningen startet å fungere. Derfor er det slik at i henhold til ukeblandprøvene var det få overskridelser, men de store variasjonene i turbiditet viser at det periodisk var høy belastning på renseanlegget.



Figur 10. Graf som viser kontinuerlig måling av turbiditet (NTU) i perioden 28.11.2013 til 03.11.2015. Omregningsfaktor fra turbiditet (NTU) til suspendert stoff (mg/L) ble med vannprøver satt til 1,2, slik at 100 NTU tilsvarer ca 80 $mg SS/L$ vann.

Det var flere 0-målinger på ledningsevne gjennom hele måleperioden, figur 12. Dette skyldtes at sensoren ble lagt tørt, dvs. ikke tilstrekkelig neddykket i vann eller tatt ut av målekaret. Det

hendte ved flere anledninger at sonden ble glemt utenfor karet etter rensing, eller at tilførselen til sonden var skrudd av etter vedlikehold.



Figur 11 Graf som viser kontinuerlig måling av ledningsevne i perioden 28.11.2013 til 03.11.2015



Figur 12. Bilde tatt under slamsuging 26/9 etter lenger periode med høye turbiditetsverdier i rensert vann. Metode for slam-måling var ikke god nok da slammivå slik bilde viser ikke ble registrert, og tiltak med visuell inspeksjon i tillegg ble påkrevd av SVV.

Resipientovervåkning

Regneark med alle innsamlede data fra prøvepunkter i vann (iht. overvåkningsprogram for prosjektet) er vedlagt (vedlegg 6 og 7). Data vil også registreres i vannmiljø. Gjennomsnitt, maksimum og minimumsverdier for utvalgte parametere i Vigga er oppgitt i tabell 2.

Tilstandsklasser for metaller er hentet fra Miljødirektoratets utkast til veileder fra 2012 (TA3001/2012), mens for nitrogen og fosfor er tilstandsklasser fra SFT97:04 benyttet.

Resultater for prøvepunktene oppstrøms, utslippssone (Vigga midt) og nedstrøms gjennom hele perioden for utvalgte parametere er også vist i figur 14 – 23.

Tabell 2. Oversikt over konsentrasjoner i vannprøver tatt i Vigga. Tilstandsklasser for metaller er hentet fra Miljødirektoratets utkast til veileder fra 2012 (TA3001/2012), mens for nitrogen og fosfor er tilstandsklasser fra SFT97:04 benyttet. Prøvetakingspunktene er vist i figur 13. Vigga Midt er tatt 30 m nedstrøms utslippspunktet for rensset tunneldrivevann. n = antall prøver.

Element Benevning	Cd (Kadmium)	Cr (Krom)	Cu (Kobber)	Ni (Nikkel)	Sulfat (SO ₄)	Suspendert stoff	U (Uran)	Zn (Sink)	Ammonium	P-tot	N-tot	Pb
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l
Vigga O Sni	0,011	0,103	0,62	1,89	29	8	1,05	3,8	0,138	0,030	4,0	0,04
Vigga O Mi	0,006	0,025	0,29	1,35	13	1	0,40	1,83	< 0,003	0,007	1,8	0,01
Vigga O Ma	0,040	0,259	1,63	2,91	44	55	1,77	6,06	0,644	0,204	6,4	0,30
Vigga O n	65	65	64	63	66	50	66	35	20	24	32	24
Vigga Midt Sni	0,014	0,123	0,67	2,05	31	14	1,76	4,2	0,183	0,034	4,0	0,02
Vigga Midt Mi	0,006	0,040	0,34	1,47	0,28	2	0,43	1,81	< 0,01	0,009	1,8	0,01
Vigga Midt Ma	0,040	0,258	1,65	3,58	54	87	4,93	14,2	0,747	0,330	6,8	0,06
Vigga Midt n	31	31	28	30	32	26	31	31	17	23	31	24
Vigga N Sni	0,013	0,111	0,71	1,94	35	12	1,95	4,1	0,173	0,026	3,6	0,02
Vigga N Mi	0,007	0,032	0,37	0,10	13	2	0,47	1,31	< 0,003	0,01	1,7	0,01
Vigga N Ma	0,029	0,274	1,93	3,21	58	79	4,88	9,38	1	0,26	6,6	0,06
Vigga N n	30	31	31	30	31	23	31	33	34	50	66	47

For de miljøproblematiske metallene ble det ikke påvist konsentrasjoner over tilstandsklasse II for Cu, Cr, Pb og Cd (klasse I). Det ble heller ikke påvist noen vesentlige forskjeller mellom prøvepunktene (figur 14, 16 og 18).

For Zn viste alle stikkprøver, med ett unntak, konsentrasjoner lavere enn 11 µg/L, som er øvre grense for tilstandsklasse II (figur 15). I en stikkprøve tatt ved Vigga midt (30 m nedstrøms utslippspunktet) ble det påvist 14,2 µg/L. Påvist konsentrasjon var like over øvre grense for tilstandsklasse II, men konsentrasjonen tilsvarer tilstandsklasse IV (11 - 60 µg/L) fordi øvre grense for klasse II og III er lik. Gjennomsnittskonsentrasjonen for Zn var 0,4 µg/L høyere ved prøvepunktet nedstrøms enn ved prøvepunktet oppstrøms utslippsrøret.

Konsentrasjonen av U i vannprøvene nedstrøms utslippspunktet (Vigga midt og Vigga nedstrøms) viste høyere konsentrasjoner fra årsskiftet 2014/2015 (figur 17). Økte konsentrasjoner kom samtidig som det periodevis ble pumpet ut vann fra byggegropen der svartskifer ble deponert. Vannet i byggegropen hadde høye konsentrasjoner av U, på det meste opp mot 300 µg/l. Høyeste påviste konsentrasjon av U i Vigga var 4,9 µg/L i en stikkprøve tatt 30 m nedstrøms prøvepunktet (Vigga midt, 11.02.15). Den kanadiske grenseverdien for ferskvann er 15 µg/L.

Gjennomsnittskonsentrasjoner for Ni for hele prøvetakningsperioden var rundt 2 µg/L (tabell 2). Dette tilsvarer tilstandsklasse III (fra 1,7 – 34 µg/L). Den høyeste påviste konsentrasjonen var 3,6 µg/L i en stikkprøve fra Vigga midt (30 m nedstrøms utslippspunktet) den 23.09.15, konsentrasjonen oppstrøms utslippspunkt var da 2,9 µg/L (figur 19). I denne perioden ble det også påvist utslippsvann fra tunnelen/drensvann med Ni-konsentrasjoner fra 60 til 105 µg/L.

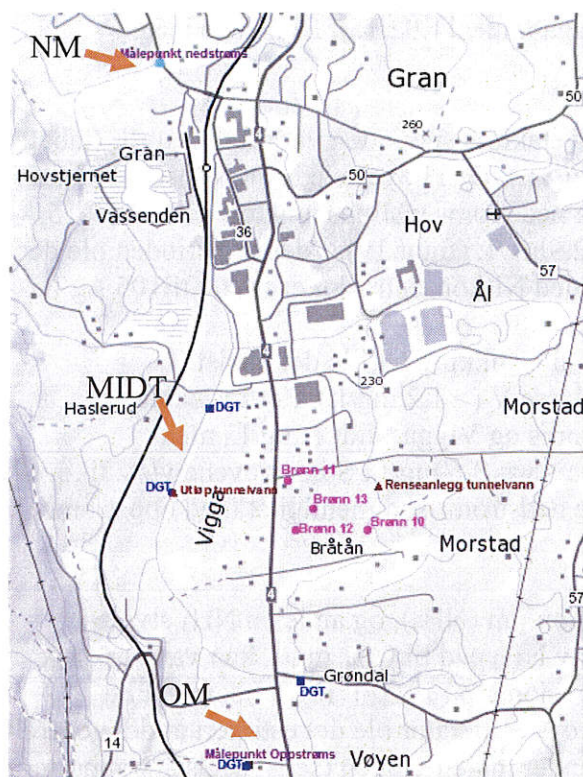
Vigga har en naturlig stor transport av nitrogen. I alle stikkprøver ble det påvist konsentrasjonene av tot-N tilsvarende tilstandsklasse V (> 1,2 mg/L). For tot-N var gjennomsnittet av stikkprøvene ved Vigga oppstrøms og Vigga Midt 4 mg/L, mens gjennomsnittskonsentrasjonen ved Vigga nedstrøms var 3,6 mg/L. Stikkprøvene viste likevel at konsentrasjonen av N i perioder var noe høyere nedstrøms sammenlignet med oppstrøms i Vigga (figur 20).

Ammoniakk (NH₃) foreligger i likevekt med ammonium (NH₄), og andelen NH₃ styres i hovedsak av pH og temperatur. Konsentrasjoner av NH₃ ned til 0,01 mg/L kan være toksisk for de mest sensitive organismene, mens konsentrasjoner på 1 mg/L regnes som akkutt toksisk. Ut fra de kontinuerlige målingene av pH og temperatur ble det estimert at det generelt var liten fare for dannelse av toksisk NH₃ i elva under måleperioden (se NIBIOs årsrapporter, vedlegg 8 og 9). Beregnet andel av NH₃ i Vigga var under 10 % av NH₄-konsentrasjonen gjennom hele måleperioden, bortsett fra en periode i mai 2014 da andelen NH₃ var maksimalt 12 %. Rundt denne tiden var det størst fare for dannelse av toksisk NH₃. Vannprøvene av NH₄ i denne tidsperioden påviste imidlertid ikke farlige konsentrasjoner (tilsvarte NH₃ < 12 µg/L). Episodene med størst potensiale for uheldig dannelse av NH₃ oppstod sommerstid, med lav vannføring og dårlig resipientkapasitet.

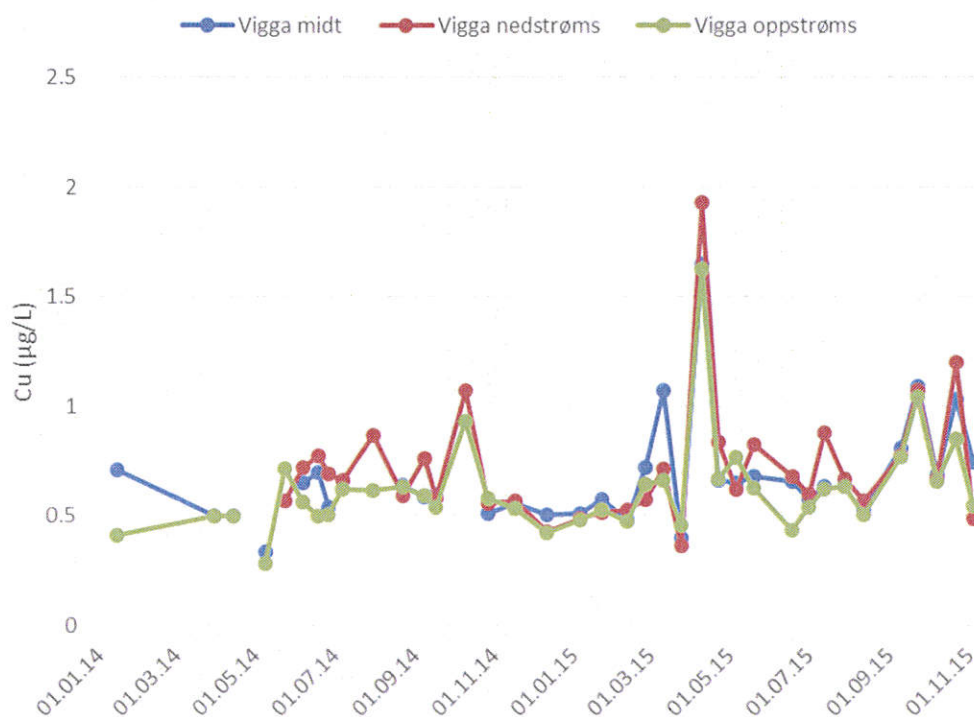
Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av NH₄ i Vigga oppstrøms var 0,14 mg/L, mens den nedstrøms var 0,17 mg/L. I juli 2014 ble det påvist NH₄ i Vigga på 0,5 mg/L –med tilsvarende NH₃ på maks 30 µg/L. Dette var den høyeste påviste NH₃-konsentrasjonen i Vigga, og kan ha hatt negativ effekt på sensitive organismer. I to andre perioder ble det målt høye NH₄ -verdier (februar 2015: maks 0,65 mg/L og oktober 2015: maks 1 mg/L (figur 21). I disse tilfellene ble NH₃-konsentrasjonen beregnet til å være < 20 µg/L. I alle disse tilfellene kom det største bidraget fra andre tilførselskilder enn tunnelvann, da konsentrasjonen oppstrøms også var høy. Den høyeste konsentrasjonen av NH₄ på 1 mg/L i stikkprøven tatt i Vigga nedstrøms var innenfor det man kan forvente i jordbrukspåvirkede vassdrag

For P viste analysene en gjennomsnittlig konsentrasjon på 30 µg/L oppstrøms utslippspunkt, 34 µg/L ved Vigga midt og 26 µg/L ved Vigga nedstrøms (tabell 2). Den høyeste P konsentrasjonen var på 330 µg/L (tilstandsklasse V) og ble påvist nedstrøms i Vigga den 06.06.14 (figur 22). Konsentrasjonen ved Vigga midt (30m nedstrøms utløpsrøret) var til sammenligning 39 µg/L.

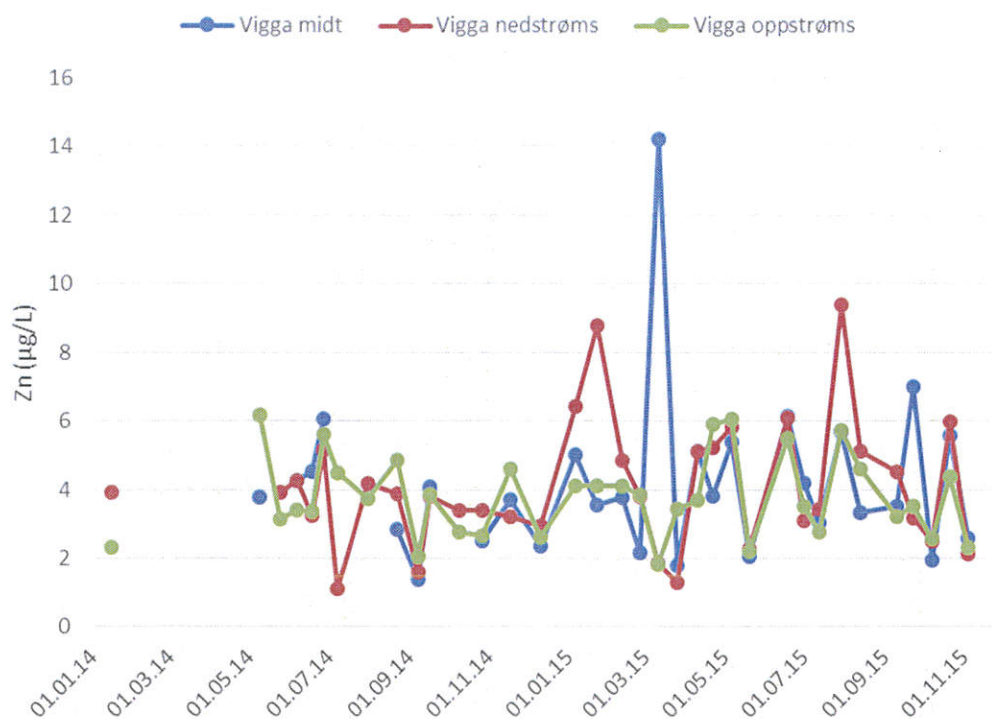
Gjennom perioden for masseutskifting av myr med alunskifer, med påfølgende utpumping av vann fra februar – juni 2015 økte sulfatkonsentrasjonene nedstrøms i Vigga sammenlignet med verdiene oppstrøms (figur 23). Den høyeste påviste konsentrasjonen av sulfat var på 58 $\mu\text{g/L}$ i Vigga nedstrøms. Sulfat kan løses ut fra bergartene ved oksidasjon av sulfid i skifer.



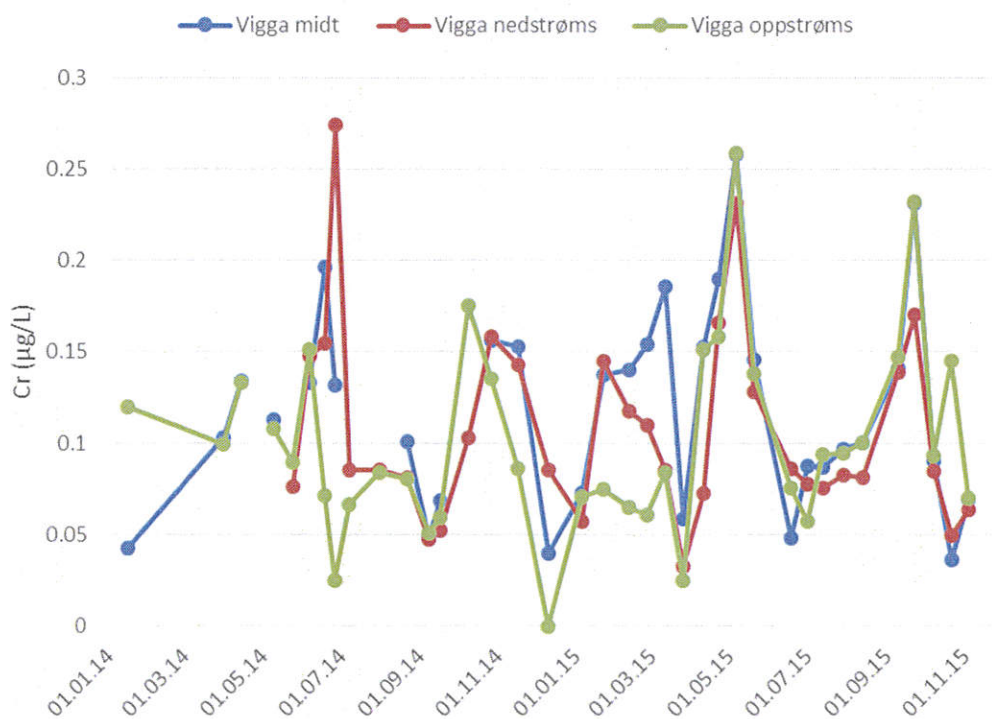
Figur 13. Oversikt over prøvetaksområdene for vannprøver i Vigga.



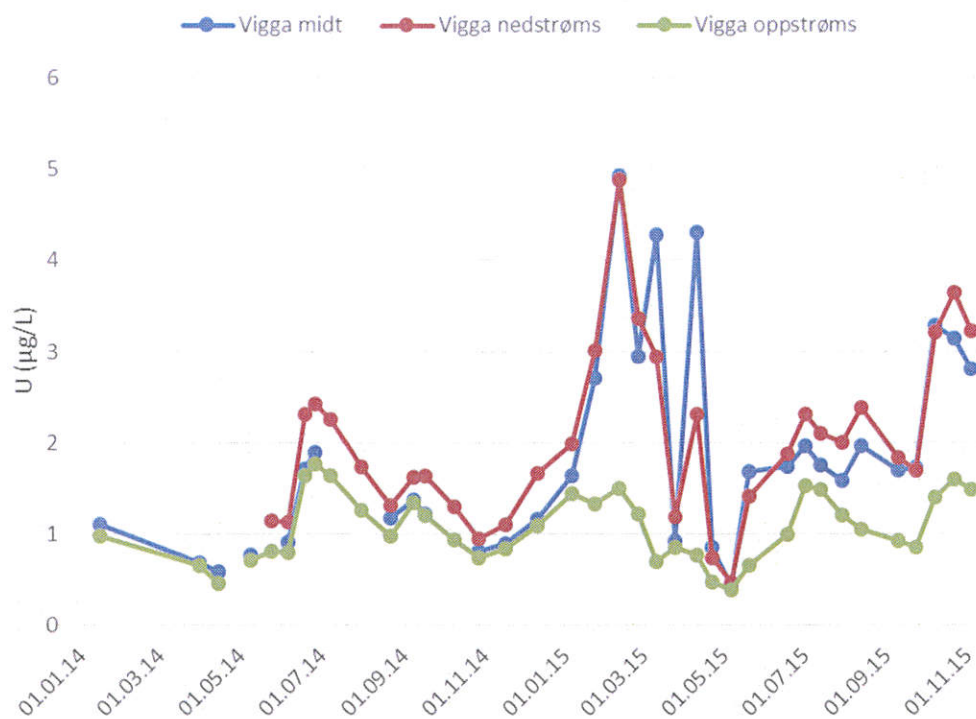
Figur 14. Viser verdier målt i Vigga for kobber (Cu) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetaking løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015



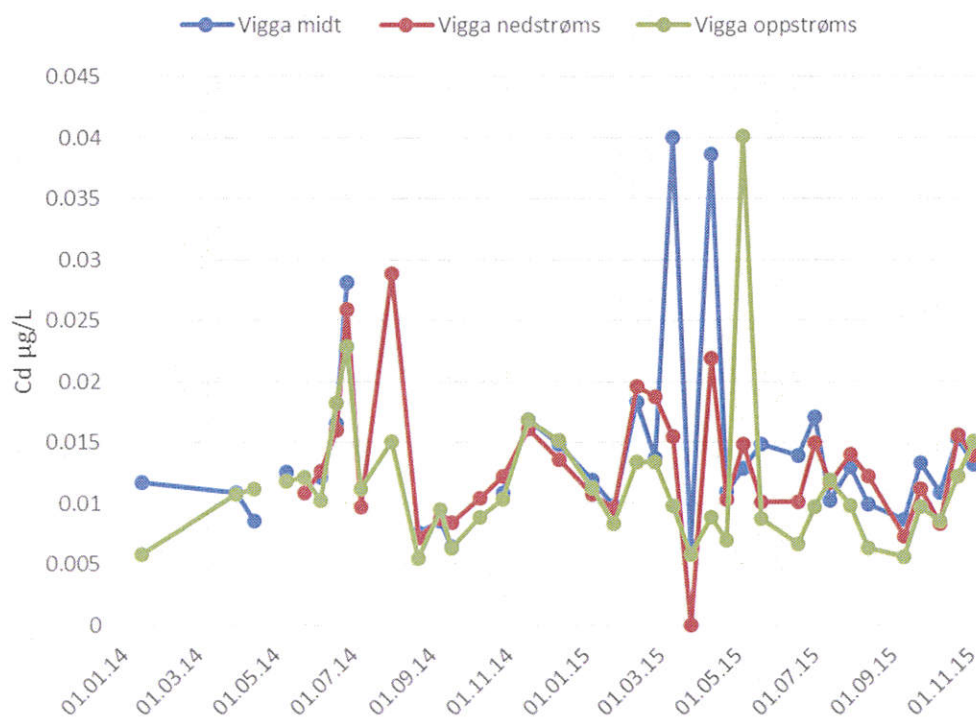
Figur 15. Viser verdier målt i Vigga for sink (Zn) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 23.01.2015 til 04.11.2015.



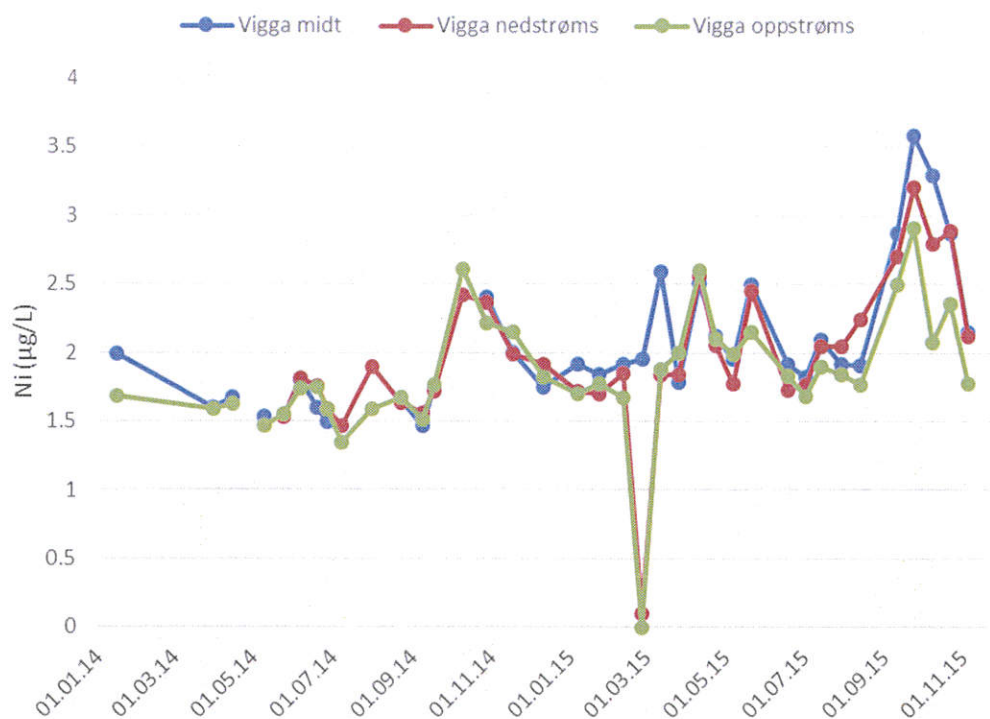
Figur 16. Viser verdier målt i Vigga for krom (Cr) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



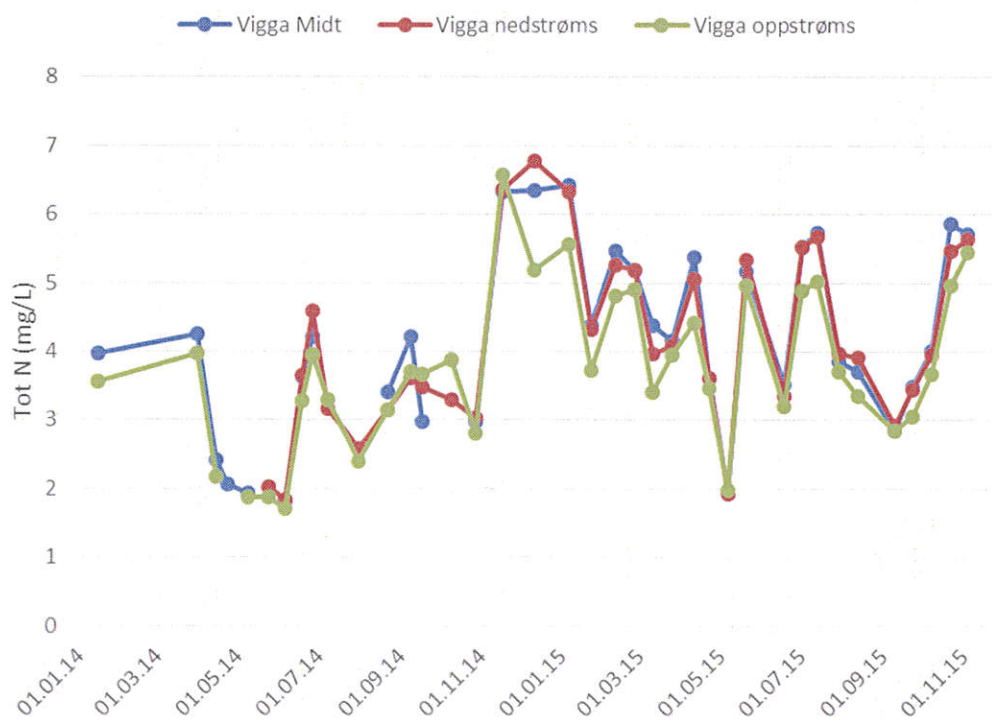
Figur 17. Viser verdier målt i Vigga for uran (U) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



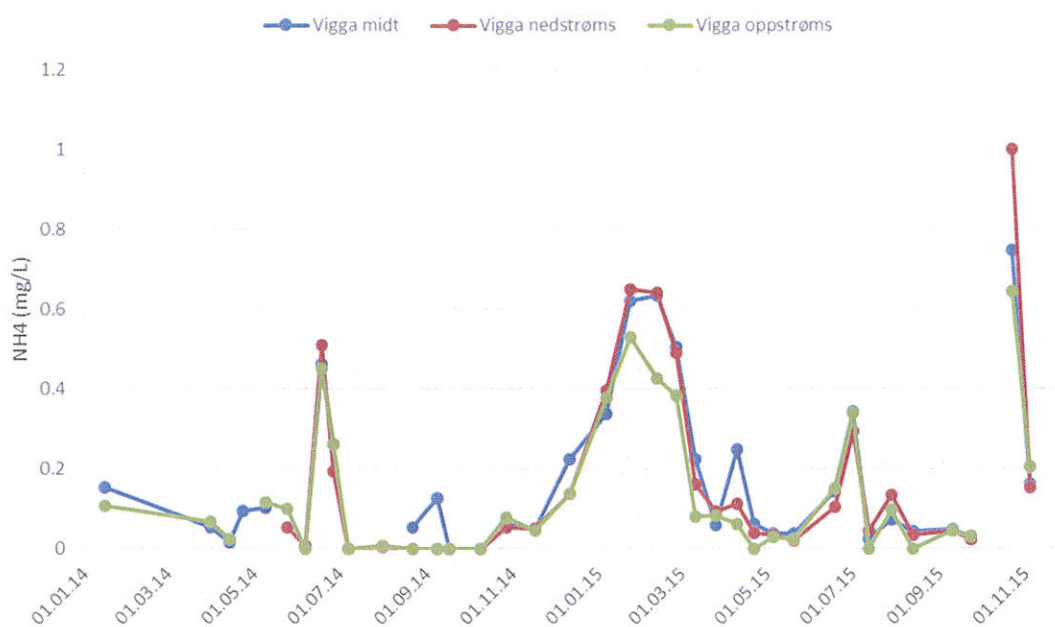
Figur 18. Viser verdier målt i Vigga for kadmium (Cd) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



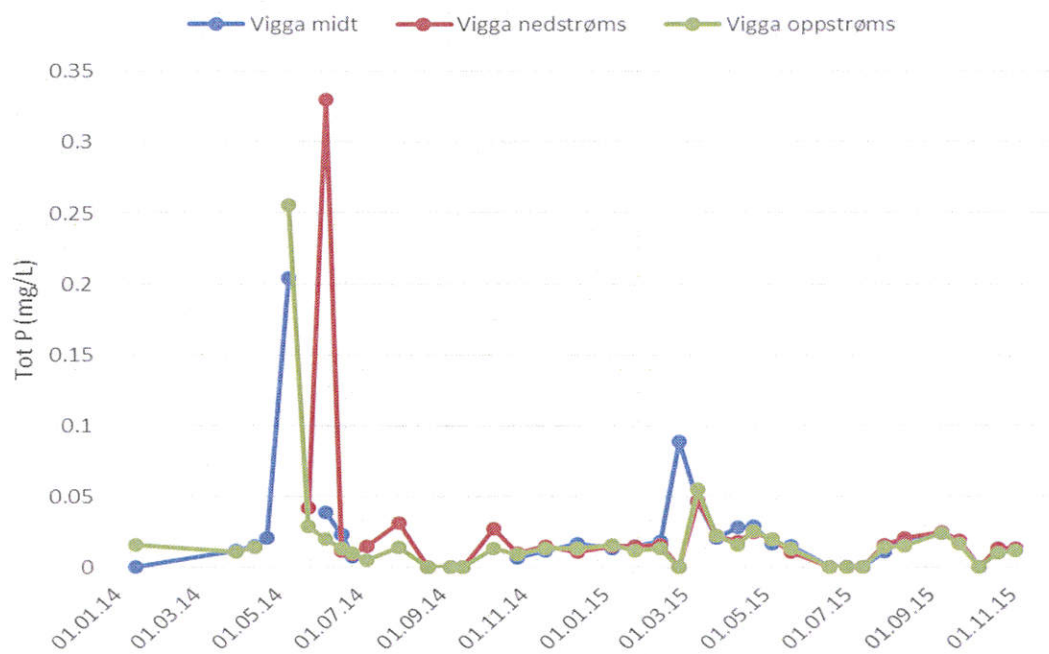
Figur 19. Viser verdier målt i Vigga for nikkel (Ni) ($\mu\text{g/L}$) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør, nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



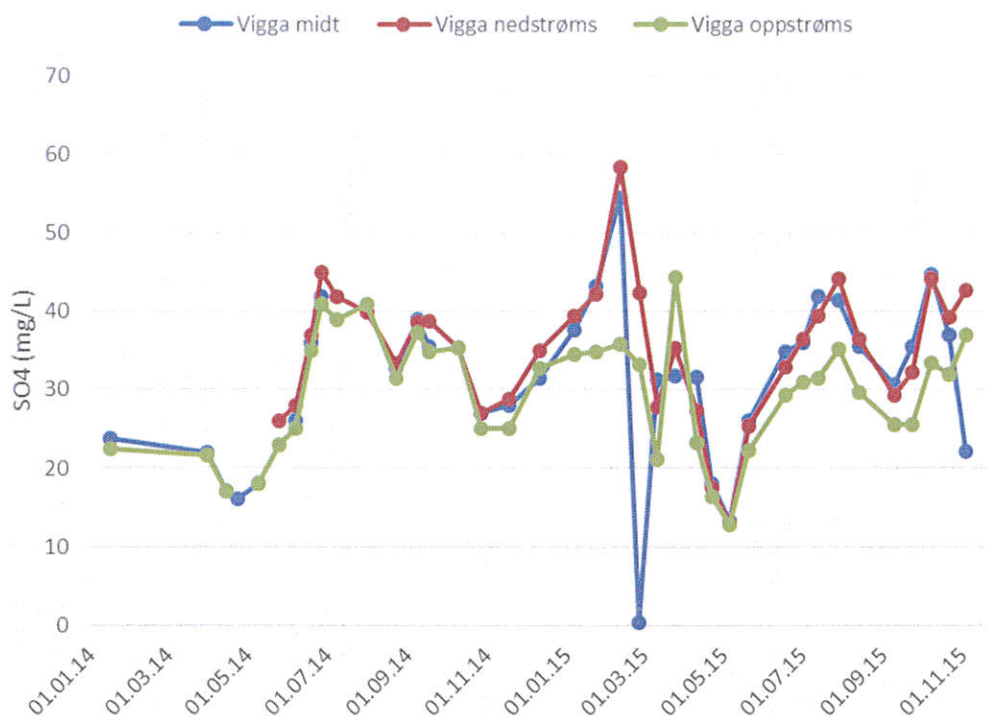
Figur 20. Viser verdier målt i Vigga for total nitrogen (Tot N) (mg/L) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



Figur 21. Viser verdier målt i Vigga for ammonium (NH₄) (mg/L) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



Figur 22. Viser verdier målt i Vigga for total fosfor (Tot P) (mg/L) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvepunkter se figur 13. Perioden med prøvetakning løper fra 15.01.2014 til 04.11.2015.



Figur 23. Viser verdier målt i Vigga for sulfat (SO_4) (mg/L) oppstrøms, 30 meter nedenfor utslippsrør og nedstrøms. For kart prøvetakingspunkter se figur 13. Perioden med prøvetaking løp fra 15.01.2014 til 04.11.2015.

Multiparametersonder i Vigga

Resultater fra MPS i Vigga, oppstrøms og nedstrøms, legges ved i form av statusrapporter/årsrapporter fra NIBIO (tidligere Bioforsk), vedlegg 8 og 9. Disse resultatene inkluderer kontinuerlige målinger av blant annet pH, turbiditet og temperatur i Vigga. Effektene av partikelutslipp til Vigga ble oppsummert slik i årsrapporten fra 2015: «Episoder med utslipp av partikler kan ha påvirket livet i Vigga, men hendelsene har stort sett vært kortvarige. I nærområdene for utslipp eller uheldig avrenning (spesielt ved Vøien og utslippspunktet fra anleggsområdet ved Grantunnelen) kan det ha oppstått lokale effekter på fisk og bunndyr som følge av tilslamming eller dårlig vannkvalitet. Effektene vil være kortvarige da akkumulert slam vil spyles videre ved neste storflom. Områdene vil raskt rekoloniseres med normal fauna når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg. Bunndyr og fisk i Vigga er tilpasset et liv med periodisk høy partikkelbelastning. Det forventes ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapt episoder.»

DGT i Vigga

Resultatene fra DGT (passive prøvetakere for biotilgjengelige metall i vann) i Vigga foreligger i to årsrapporter fra COWI. Resultatene fra disse viste lave konsentrasjoner av biotilgjengelige metall, og i årsrapporten fra COWI (oktober 2014 – okt 2015) ble det rapportert: «Det er ingen tydelige økninger av metaller i Vigga selv i perioder hvor vi vet at det har vært utpumping av vann med høyt metallinnhold. Vannmengden som pumpes ut er trolig for liten til å gi signifikante utslag på vannkvaliteten i Vigga». Årsrapportene kan sendes dersom det er ønskelig.

Sammenfattede vurderinger av miljøpåvirkning på Vigga

Resultatene for prioriterte metaller i Vigga viste generelt små forskjeller mellom konsentrasjonene oppstrøms og nedstrøms utslippspunktet. Konsentrasjonene var også på forholdsvis lave. Basert på gjennomsnittlige konsentrasjoner i Vigga lå Cr, Cd, Cu, Pb og Zn i tilstandsklasse I og II (bakgrunnsnivå til god tilstand). Konsentrasjonen av Ni hadde en gjennomsnittlig bakgrunnsverdi i klasse III (moderat tilstand). Blant vannprøvene fra Vigga ble det kun påvist en konsentrasjon i klasse IV, som var Zn på 14 µg/L (I blandsonen fra utløpsrøret). Det ble påvist en økning for U i Vigga fra start 2015 fram til masseutskifting av myra ble avsluttet, men konsentrasjonene var under miljøskadelig nivå (<5µg/L).

DGT-ene som var utplassert i Vigga gjennom anleggsperioden registrerte lave nivåer av biotilgjengelige metall.

Alle påviste konsentrasjoner av ammoniakk (NH₃) i blandprøvene fra renseanlegget var under den omsøkte grenseverdien på 3,5 mg/L. Overvåking av pH og vanntemperatur fra den kontinuerlige overvåkingen i Vigga indikerte at det har stort sett har vært liten fare for dannelse av toksisk ammoniakk i elva under måleperioden. Episodene med størst potensiale for uheldig dannelse av NH₃ oppstod sommerstid, med lav vannføring og dårlig resipientkapasitet.

Turbiditet forårsaket av anleggsdriften antas å være en parameter som kan ha påført lokale og kortvarige negative miljøeffekter i Vigga. Det forventes imidlertid ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapt episoder.

Med hilsen



Anne Brit Moen
Prosjektleder

Halldis Fjermestad

Vedlegg 19.2

SAMLERAPPORT TUNNELVANN TIL VIGGA VASSDRAG (RV-4 Granstunnelen)

From: ALS Laboratory Group Norway AS, Drammensveien 173, N-0277 Oslo. Tlf. +47 2213 1800. Faks. +47 2252 5177. Email: info.on@alsglobal.com

To: NCC Construction AS Ref: Inge Korsbrekke [Inge.korsbrekke@ncc.no]

Program: VANN

Ordernumber: N1414031 (521812; Rv4)

Report created: 2014-10-31 by jan-inge.bjornengen

1/2 av deteksjonsgrense

under omsøkt grenseverdi, men over opprinnelig grenseverdi

over omsøkt grenseverdi

Ikke filtrerte prøver fram til uke 9

tilsetning av PAX

Uke 16 påske

ELEMENT	SAMPLE	Manko																							
		2013 48 Vann	2013 49 Vann	2013 50 Vann	2013 51 Vann	2014 2 Vann	2014 3 Vann	2014 4 Vann	2014 5 Vann	2014 6 Vann	2014 7 Vann	2014 8 Vann	2014 9 Vann	2014 10 Vann	2014 11 Vann	2014 12 Vann	2014 13 Vann	2014 14 Vann	2014 15 Vann	2014 17 Vann	2014 18 Vann	2014 19 Vann	2014 20 Vann		
Suspendert stoff	mg/l	22.8		10.6	7	2.5	29.2	30	94	150	200	110	110	790	220	110	22	120	38	150	47	33	29		
Turbiditet	FNU						68.4	140	235	188	150	130	370	240	110	3.3	130	27	120	45	36	32			
pH		7.6		8.1	8.07	8.11	8.06	8.01	8.02	8.09	7.95	8.5	7.9	7.69	7.81	7.87	8.52	7.89	7.74	8.6	6.88	7.86	8.03		
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m						79.9	74.8	82.3	94.3		112	110	88	165	157	71	115	150	142	164	148	148		
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	3.73		1.88	2.71	3.76	3.45					1.82	<0.150	1.76	1.25	1.46	0.863	1.42	1.08	0.959	1.7	1.5	1.7		
Alkalinitet pH 8,3	mmol/l	<0.150		<0.150	<0.150	<0.150						<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150					
Ammoniakk (NH3)	mg/l	0.1		0.22	0.38	0.23	0.24							0.62	0.51	0.85	3.37	1.12	0.7	3.16	0.11	1.19	1.43		
Ammonium (NH4)	mg/l	4.3		3.2	5.5	2.8	3.9	4.7	4.1	6.2	10.2	19.1	23	2.3	14.5	20	22.5	23	22	18.3	25	30	25		
Nitrat (NO3)	mg/l	13.1		21.9	37.2	48.9	60.9							217	197	4.53	159	186	46.8	191	188	119	201	271	237
N-total	mg/l						18.6	21.3	33.4	44	67.7	62.3	3.56	50.4	60.2	13.4	65.1	60.4	47.5	74.1	80.6	74.7			
P-total	mg/l						0.029	0.104	0.34	0.188	0.13	0.146	0.473	0.151	0.081	0.0015	0.217	0.033	0.125	0.042	0.553	0.225			
Ca (Kalsium)	mg/l	77.9		32.9	57.1	91	88.5	70.9	74.7	67.3	54.7	62.6	59.1	65.4	154	118	82.3	55.1	106	99.9	105	82.9	60.4		
Fe (Jern)	mg/l	1.03		0.382	0.545	0.102	1.71	1.58	4.52	8.64	9.73	6.97	7.19	0.002	0.002	0.0139	0.0268	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0079		
K (Kalium)	mg/l	12.1		10.4	13.5	15.5	15.7	16.3	14.5	18.8	19.7	30.9	30.7	28.3	86.5	80.9	64.1	29	45.1	52	27.9	32.8	29.7		
Mg (Magnesium)	mg/l	16.3		7.49	13.8	13.4	13.6	13.5	14.8	15.2	10.8	5.7	5.3	4.34	3.11	1.55	3.7	5.5	4.7	5.4	7.82	6.45	5.52		
Na (Natrium)	mg/l	29		31.6	52.8	37.2	40.8	51.3	53.1	66.1	96.6	126	130	138	150	140	150	119	140	128	151	189	194		
Al (Aluminium)	µg/l	783		660	480	123	1630	1680	3250	7140	6710	12800	11700	17.3	49.6	66.7	79.9	81.6	64.4	25.1	59.7	48.7	431		
As (Arsen)	µg/l	1.44		0.25	0.25	0.35	1.94	0.692	1.12	1.85	2	1.2	2.17	1.49	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5		
Ba (Barium)	µg/l	72.8		55.8	76.3	75.2	96.2	99.8	106	165	182	219	188	106	111	144	91.6	91.2	131	121	148	138	151		
Cd (Kadmium)	µg/l	0.025		0.0755	0.025	0.025	0.0731	0.025	0.0664	0.126	0.0787	0.101	0.0847	0.118	0.443	0.549	0.338	0.104	0.248	0.187	0.0892	0.214	0.121		
Co (Kobolt)	µg/l	0.867		0.1	0.272	1.08	1.26	0.727	1.91	2.46	2.19	1.26	1.41	0.142	0.773	0.27	0.292	0.19	0.249	0.414	0.407	0.231	0.105		
Cr (Krom)	µg/l	3.91		2.79	3.94	3.04	8.72	11	14.8	21.3	26.5	32.5	30.4	9.04	25.3	22.1	16.8	8.32	11.3	7.59	3.03	9.14	9.72		
Cu (Kopper)	µg/l	10		5	2.82	17.2	31.1	9.53	13.7	8.71	10.1	39.8	23.7	2.42	60.5	18.7	22.3	2.21	7.99	8.52	2.54	2.84	2.01		
Hg (Kvikksølv)	µg/l	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Mn (Mangan)	µg/l	63.4		22.1	20.3	62.1	83.9	52.9	87.9	94.6	107	199	160	150	25.5	10.4	0.746	25.5	58.6	99.8	177	98.6	11		
Mo (Molybden)	µg/l	108		51.3	92.7	47.4	42.7	63.2	77.4	88.5	112	127	129	127	523	433	311	113	223	214	96.7	151	205		
Ni (Nikkel)	µg/l	41.3		13.5	18.6	63.5	53.7	34.2	65.2	43.9	24.3	13	10.3	3.12	4.07	1.86	1.46	1.68	2.2	3.33	8.04	6.63	6.57		
Pb (Bly)	µg/l	0.686		0.744	0.25	0.673	2.75	1.27	2.47	3.36	3.6	4.08	2.49	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
Zn (Sink)	µg/l	440		16.8	8.18	31	112	44.9	16.8	18.1	21	65.5	24.1	1	27.3	1	1	1	221	55.1	542	248	4.49		
V (Vanadium)	µg/l	3.36		2.7	3.37	2.15	5.38	9.48	11.7	21.7	22.9	40.5	41.2	14.8	6.65	8.77	14.9	10.7	5.8	5.83	2.5	15.3	17.6		
U (Uran)	µg/l	32.5		13	26.3	18.2	16							2.55	1.95	0.945	2.05	2.52	1.01	2.45	2.94	2.88	4.43		
Filtrering														JA	Ja	JA	Ja	Ja	Ja	Ja	JA	Ja	Ja		
Dekantering																									
Sulfat	mg/l	149		72.2	135	128	106																		
Klorid (Cl-)	mg/l	15.9		13.2	32.3	42	32.2																		
TOC	mg/l	4.37		4.66	1.46	3.61	2.29																		
vannmengde ut	m3	1374	552	131	1412	2292	2627	219	1010	2890	399	872	768	980	875	877	857	731	1461	1029	750	758	794		

Totale mengder																							
Suspendert stoff	kg	31.3272	0	1.3886	9.884	5.73	76.7084	6.57	94.94	433.5	79.8	95.92	84.48	774.2	192.5	96.47	18.854	87.72	55.518	154.35	35.25	25.014	23.026
N (nitrogen)	kg		0	0.00655	0.039818	0.0394224	0.0816997	0.0020871	0.013837	0.0251719	0.0040299	0.0347056	0.0182016	0.0023716	0.0529375	0.0163999	0.0191111	0.0016155	0.0116734	0.0087671	0.001905	0.0021527	0.0015959
Ammoniakk (NH3)	kg	0.1374	0.02882	0.53656	0.52716	0.63048								0.6076	0.44625	0.74545	2.88809	0.81872	1.0227	3.25164	0.0825	0.90202	1.13542
Ammonium (NH4)	kg	5.908	0.000	0.419	7.766	6.418	10.245	1.029	4.141	17.918	4.070	16.655	17.664	2.254	12.688	17.540	19.283	16.813	32.142	18.831	18.750	22.740	19.850
P (fosfor)	kg							0.006351	0.10504	0.9826	0.075012	0.11336	0.112128	0.46354	0.132125	0.071037	0.0012855	0.158627	0.048213	0.128625	0.0315	0.419174	0.17865
Ca (Kalsium)	kg	107.0	0.0	4.3	80.6	208.6	232.5	15.5	75.4	194.5	21.8	54.6	45.4	64.1	134.8	103.5	70.5	40.3	154.9	102.8	78.8	62.8	48.0
Fe (Jern)	kg	1.415	0.000	0.050	0.770	0.234	4.492	0.346	4.565	24.970	3.882	6.078	5.522	0.002	0.002	0.012	0.023	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.006
K (Kalium)	kg	16.6	0.0	1.4	19.1	35.5	41.2	3.6	14.6	54.3	7.9	26.9	23.6	27.7	75.7	70.9	54.9	21.2	65.9	53.5	20.9	24.9	23.6
Mg (Magnesium)	kg	22.4	0.0	1.0	19.5	30.7	35.7	3.0	14.9	43.9	4.3	5.0	4.1	4.3	2.7	1.4	3.2	4.0	6.9	5.6	5.9	4.9	4.4
Na (Natrium)	kg	39.8	0.0	4.1	74.6	85.3	107.2	11.2	53.6	191.0	38.5	109.9	99.8	135.2	131.3	122.8	128.6	87.0	204.5	131.7	113.3	143.3	154.0
Al (Aluminium)	kg	1.08	0.00	0.09	0.68	0.28	4.28	0.37	3.28	20.63	2.68	11.16	8.99	0.02	0.04	0.06	0.07	0.06	0.09	0.03	0.04	0.04	0.34
As (Arsen)	kg	0.0020	0.0000	0.0000	0.0004	0.0008	0.0051	0.0002	0.0011	0.0053	0.0008	0.0010	0.0017	0.0015	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005	0.0008	0.0004	0.0004
Ba (Barium)	kg	0.10	0.00	0.01	0.11	0.17	0.25	0.02	0.11	0.48	0.07	0.19	0.14	0.10	0.10	0.13	0.08	0.07	0.19	0.12	0.11	0.10	0.12
Cd (Kadmium)	kg	3E-05	0E+00	1E-05	4E-05	6E-05	2E-04	5E-06	7E-05	4E-04	3E-05	9E-05	7E-05	1E-04	4E-04	5E-04	3E-04	8E-05	4E-04	2E-04	7E-05	2E-04	1E-04
Co (Kobolt)	kg	1.2E-03	0.0E+00	1.3E-05	3.8E-04	2.5E-03	3.3E-03	1.6E-04	1.9E-03	7.1E-03	8.7E-04	1.1E-03	1.1E-03	1.4E-04	6.8E-04	2.4E-04	2.5E-04	1.4E-04	3.6E-04	4.3E-04	3.1E-04	1.8E-04	8.3E-05
Cr (Krom)	kg	0.0053723	0	0.0003655	0.0055633	0.0069677	0.0229074	0.002409	0.014948	0.061557	0.0105735	0.02834	0.0233472	0.0088592	0.0221375	0.0193817	0.0143976	0.0060819	0.0165093	0.0078101	0.0022		

mikrogram

GJENNOMSLAG/SLUTT DRIVEFASE

2014	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	Dobbel prøve		Manko	rett	rett	2015
																							2015	2015	2015	2015	2015	
51 Vann	2 Vann	3 Vann	4 Vann	5 Vann	6 Vann	7 Vann	8 Vann	9 Vann	10 Vann	11 Vann	12 Vann	13 Vann	15 Vann	16 Vann	17 Vann	18 Vann	19 Vann	20 Vann	21 Vann	22 Vann	23 Vann	24 INN	24 UT	25 Vann	26 INN	26 UT	26 Vann	
120	43	87	110	9.2	93	1.1	820	380	81	56	29	1.3	41	140	24	97	68	13	11	8.3	5.1	15	39		5	42	8.7	
95	22	94	120	79	77	2.1	640	470	90	39	22	1.3	19	56	27	48	65	19	15	10	4.5	18	31		5.3	39	11	
7.6	7.9	7.9	7.8	7.7	7.7	7.8	7.9	8.1	8	7.8	7.8	7.9	7.9	7.5	7.9	7.7	8	7.9	8.2	8.2	8	8.1	8.3		8.1	8.2	8.2	
65	77	92	106	99	102	101	53	51	91	105	100	105	112	87	85	78	59	84	87	87	99	78	90		88	89	90	
1.2	1.5	1.7	2	1.8	1.8	1.6	1.3	1.6	2.3	1.5	1.6	1.9	5	2.4	2.4	1.6	1.6	2.4	2.7	3.1	3.7	3.3	4.8		4.1	3.8	3.7	
0.07	0.12	0.18	0.22	0.15	0.05	0.17	0.1	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16	0.03	0.05	0.14	0.11	0.12	0.11	0.07	0.13	0.01	0.02	0.04		0.002	0.002	0.01	
7.3	5.7	9	13.5	11.6	13.3	10.7	7.7	5.3	5.8	9.9	9.5	7.3	1.49	6.6	6.9	8.8	4.9	5.7	5.9	3.3	0.37	0.68	0.74		0.08	0.084	0.15	
85	82.8	99.5	126	113	104	88.5	54.3	52.2	75.7	107	85.3	80.9	38.1	51.9	56.5	53.4	41.1	67.9	59.3	50	65.5	51.1	49		58.3	63	61.5	
26.8	25.3	31.7	42.4	35.6	28.8	30.1	18.2	14.6	22.3	33	28.5	21.3	10.4	27.7	20.4	27.5	11.6	19.9	20	23	16.8	13.2	12.3		14	15.1	16	
0.199	0.044	0.134	0.096	0.081	0.274	0.006	0.801	0.289	0.065	0.046	0.034	0.0015	0.065	0.155	0.014	0.054	0.045	0.017	0.023	0.006	0.253	0.059	0.007		0.007	0.039	0.012	
18.1	27.1	24.9	29.3	26.2	26.9	29	18.9	22.4	55.7	68	52.8	67	139	39.5	39.5	33.8	27.8	36.7	45.2	69.6	97.8	75.4	67.8		72	65.2	72	
0.002	0.002	0.002	0.002	0.00562	0.002	0.002	0.002	0.002	0.00408	0.002	0.00689	0.002	0.0375	0.002	0.002	0.0103	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.00857	0.00456		0.002	0.002	0.002	
10.5	13.1	13	15.5	18.9	16.8	15.1	9.11	9.85	15.5	14.6	14.7	15.1	13.2	14.6	15.3	15.5	10.7	14.9	14.8	14.2	13.7	11.8	11.5		14	13.9	14	
4.05	6.04	8.6	8.91	5.52	5.77	6.42	2.67	3.59	10.5	10.2	9.36	11.3	16.7	7.99	8.03	6.04	5.36	8.48	9.32	11.9	14	11.7	10.8		13.9	13.1	13.3	
107	124	129	163	153	163	149	76.7	69.1	105	122	126	137	82.7	116	116	96.8	77.3	115	110	99.7	92.4	76.1	122		104	110	104	
46.6	139	82.6	62.5	104	76.3	107	68.9	55.3	66.5	77.4	72.3	75.3	48.2	47.4	35.6	49	25.5	26.5	28.2	28.1	20.1	24.1	23.8		20.5	27.8	24.4	
1.66	1.28	1.43	2.7	1.58	0.5	0.5	0.5	1.52	1.21	0.5	1.36	0.5	0.5	2.52	2.41	2.04	2.06	2.42	2.27	1.59	0.5	1.37	1.12		1.64	1.35	1.93	
42	53.5	50.1	60.5	53.9	48.1	56.8	35.5	37.4	76.9	60	54.7	67.8	53.3	51.8	50.8	42.4	43	55.2	62.4	66	49.2	57.9	54.1		66.6	71.2	65.8	
0.025	0.172	0.224	0.325	0.066	0.025	0.163	0.0731	0.0993	0.132	0.209	0.296	0.266	0.159	0.159	0.025	0.218	0.27	0.204	0.161	0.184	0.152	0.126	0.119		0.163	0.181	0.16	
0.127	0.0941	0.143	0.174	0.091	0.025	0.0808	0.18	0.117	0.0845	0.146	0.178	0.0837	0.088	0.267	0.161	0.18	0.099	0.139	0.15	0.106	0.215	0.202	0.211		0.138	0.142	0.232	
2.84	3.08	6.41	4.28	14.2	5.53	2.73	7.64	2.88	2.08	2.01	2.35	1.52	5.07	14.2	4.23	6.46	3.53	3.27	2.71	0.755	0.25	0.25	0.25		0.654	0.85	0.25	
2.48	20.3	11.3	1.75	0.5	0.5	0.5	5.09	1.82	0.5	0.5	0.5	1.09	1.73	1.1	0.5	2.44	12.9	0.5	0.5	1.12	1.06	0.5	0.5		0.5	1.1	1.08	
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	
38.9	26.5	21.2	45.9	43.5	66.3	47.8	51.5	49	41.9	25.1	22.9	25.8	0.562	21.4	11.1	18.2	13.5	8.54	4.8	2.69	7.43	5.3	5.59		1.39	3.77	2.43	
121	128	122	152	136	149	141	82.4	81	123	171	181	189	82.8	283	286	292	214	313	311	239	199	162	159		137	167	165	
1.16	2.48	3.91	1.86	0.743	1.15	1.4	1.38	0.677	3.81	5	5.32	7.49	38.2	17.4	9.9	7.29	4.72	7.01	7.47	8.61	35.6	13.6	10.8		11.3	10.1	12.1	
0.1	0.1	0.1	0.597	1.22	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1	0.1	0.1	
1	11.2	4.25	12.8	6.5	4.26	2.72	12.9	1	2.8	8.55	4.08	12.2	13	5	6.38	6.47	3.79	8.23	7.07	4.17	20.8	7.51	6.24		7.07	16.8	24.4	
17.3	9.12	12.4	13.3	14.5	8.36	5.49	6.31	12.6	10.8	5.57	6.84	5.93	2.07	36.4	34.6	51.7	34.6	36.1	32.6	18.6	3.21	4.19	4.47		4.92	4.87	5.41	
6.85	5.62	4.66	6.05	6.52	2.81	2.31	1.73	5.02	12.7	2.25	1.48	2.66	13.1	10.3	11.4	7.67	7.73	11.7	12.1	13.6	17.8	12.8	12.1		18.9	20.4	19.3	
Ja	JA	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	JA	Ja	JA		Ja	Ja	Ja	

1889	1427	1907	1592	1822	1667	1503	1641	1662	2077	2069	1974	701	701	2600	963	2157	2173	1892	2330	1943	900	441		441	1592
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	------	-----	------	------	------	------	------	-----	-----	--	-----	------

226.68	61.361	165.91	175.12	16.7624	155.03	1.6533	1345.62	631.56	168.237	115.864	57.246	0.9113	28.741	364	23.112	209.229	147.764	24.596	25.63	16.1269	4.59		17.199		18.522	13.8504
50.6252	36.1031	60.452	67.501	64.8632	48.01	45.2403	29.8662	24.2652	46.3171	68.277	56.259	14.9313	7.2904	72.02	19.6452	59.3175	25.2068	37.6508	46.6	44.689	15.12		5.4243		6.6591	25.472
0.13223	0.17124	0.3433	0.3502	0.2733	0.0834	0.25551	0.1641	0.26592	0.31155	0.33104	0.2961	0.11216	0.02103	0.13	0.13482	0.23727	0.26076	0.20812	0.1631	0.25259	0.009		0.01764		0.000882	0.01592
13.790	8.134	17.163	21.492	21.135	22.171	16.082	12.636	8.809	12.047	20.483	18.753	5.117	1.044	17.160	6.645	18.982	10.648	10.784	13.747	6.412	0.333		0.326		0.037	0.239
0.37591	0.06279	0.2555	0.1528	0.147582	0.4568	0.00902	1.31444	0.480318	0.135005	0.09517	0.067116	0.001052	0.045565	0.403	0.013482	0.2157	0.117342	0.08514	0.03961	0.044689	0.0054		0.026019		0.017199	0.019104
34.2	38.7	47.5	46.6	47.7	44.8	43.6	31.0	37.2	115.7	140.7	104.2	47.0	97.4	102.7	38.0	72.9	60.4	69.4	105.3	135.2	88.0		29.9		28.8	114.6
0.004	0.003	0.004	0.003	0.010	0.003	0.003	0.003	0.003	0.008	0.004	0.014	0.001	0.026	0.005	0.002	0.022	0.004	0.004	0.005	0.004	0.002		0.002		0.001	0.003
19.8	18.7	24.8	24.7	34.4	28.0	22.7	14.9	16.4	32.2	30.2	29.0	10.6	9.3	38.0	14.7	33.4	23.3	28.2	34.5	27.6	12.3		5.1		6.1	22.3
7.7	8.6	16.4	14.2	10.1	9.6	9.6	4.4	6.0	21.8	21.1	18.5	7.9	11.7	20.8	7.7	13.0	11.6	16.0	21.7	23.1	12.6		4.8		5.8	21.2
202.1	176.9	246.0	259.5	278.8	271.7	223.9	125.9	114.8	218.1	252.4	248.7	96.0	58.0	301.6	111.7	208.8	168.0	217.6	256.3	193.7	83.2		53.8		48.5	165.6
0.09	0.20	0.16	0.10	0.19	0.13	0.16	0.11	0.09	0.14	0.16	0.14	0.														

NEDRIGGET RENSEANLEGG



Prøver tatt gjennom ferie																sum	gj.snitt	median		
2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	manko	manko	manko	manko	2015	2015	2015	2015	2015	2015			
27 Vann	28 Vann	29 Vann	30 Vann	31 Vann	32 Vann	33 INN	33 Vann	34 Vann	35 Vann	36 Vann	37 Vann	38 Vann	39 Vann	40 Vann	41 Vann	42 Vann	43 Vann			
43	29	28	25	16	8.9	6.1	6.1					2	2.2	1.6	3.1	1.1	1			
13	21	31	25	5.3	5.4	2.9	2.7					0.75	0.65	0.6	2	0.55	0.95			
8.1	8.1	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3					8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.6			8.0
88	77	77	79	72	83	86	88					88	87	87	53	79	80			
3.5	3.2	3.3	3.2	3.3	3.7	3.7	3.8					3.7	3.7	3.6	2.5	4.4	4.4			
0.02	0.0015	0.005	0.0015	0.002	0.002	0.002	0.002					0.0015	0.0015	0.0015	0.002	0.002	0.0015			
0.71	0.037	0.081	0.014	0.002	0.0015	0.051	0.015					0.002	0.002	0.002	0.033	0.01	0.016			
64.1	49.4	45.7	51.8	38.5	42.6	38.3	35.9					35.5	35.9	32.2	17.4	28.8	30.7			
23.5	11.1	10.3	11.3	8.64	9.21	15.3	9.06					7.88	8.53	7.29	3.75	6.88	6.79			
0.022	0.034	0.06	0.023	0.017	0.007	0.593	0.106					0.032	0.052	0.0015	0.01	1.61	0.0015			
41.5	47.9	49	47.8	49.8	59.6	57.7	66.9					52.9	53.7	53.3	55.5	75.8	68.8			
0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002					0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002			
13.9	12.8	12.4	12.6	11.9	12	14.2	14.9					13.5	13.8	13.5	6.35	9.89	10.3			
13.2	10.9	10.9	11.2	12.1	14.2	16.2	17.3					16.3	16.5	16.3	9.78	15	15.2			
108	102	95.6	103	91.8	100	134	126					128	126	126	46.6	83.4	91.7			
7.22	19.6	37.2	33.7	34.2	24.1	17.5	24.4					62.9	34.4	62.2	24.9	16.5	19.8			
1.32	1.26	1.53	2.15	1.45	1.6	1.62	1.95					1.98	1.97	2.05	0.5	0.5	1.02			
38.5	54.3	58.6	69.4	89.4	78.1	66.9	71.9					87	88.2	86.8	48.7	76.7	78.1			
0.025	0.0739	0.0877	0.206	0.178	0.19	0.139	0.185					0.211	0.225	0.238	0.0506	0.125	0.151			
0.255	0.14	0.0935	0.106	0.201	0.0942	0.232	0.132					0.204	0.119	0.114	0.145	0.131	0.025			
0.25	0.524	0.25	0.25	0.68	0.25	0.25	0.826					0.84	0.658	0.25	0.25	0.776	0.588			
0.5	0.5	0.5	0.5	4.87	2.24	0.5	1.4					1.78	1.65	2.12	2.04	2.24	1.36			
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01					0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			
1.17	6.15	0.501	1.04	3.28	0.462	1.55	0.587					0.659	0.656	0.1	27.9	60.1	43.9			
165	152	159	187	182	190	253	228					272	261	273	80.6	147	159			
8.61	7.29	6.73	4.98	7.29	9.47	7.41	8.23					7	7.44	7.42	8.27	13.1	11.4			
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
3.3	8.79	3.3	3.61	15.7	4.67	8.57	3.74					9.06	10.2	10.9	10.8	9.83	8.96			
5.29	3.96	4.34	4.3	3.16	3.22	3.19	3.29					3.36	3.38	3.2	0.857	1.84	2.02			
14.1	17.3	15.6	18.3	17.3	20.4	22.2	21.4					27.9	27.3	26.1	12	19	18.3			
JA	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja					Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja			

gjennomsnittlig vannmengde per uke
1374.7882

1502	2888	2091	1771	1595	1492	1784	1374	805	1424	1598	1351	3660	118231			
														Kg	gjennom- snitt mg/L	gjennom- snitt ug/L
64.586	83.752	58.548	44.275	25.52	13.2788	10.8824	2.748	1.771	2.2784	4.9538	1.4861	3.66	8092	68.445	68444.687	
35.297	32.0568	21.5373	20.0123	13.7808	13.74132	16.16304	10.82712	6.86665	10.38096	5.9925	9.29488	24.8514	4136	34.981	34980.973	
0.03004	0.004332	0.010455	0.002657	0.00319	0.002984	0.003568	0.002061	0.0012075	0.002136	0.003196	0.002702	0.00549	28.86	0.244	244.1106	
1.066	0.107	0.169	0.025	0.003	0.002	0.027	0.003	0.002	0.003	0.053	0.014	0.059	1086	9.188	9187.9821	
0.033044	0.098192	0.12546	0.040733	0.027115	0.010444	0.189104	0.043968	0.04186	0.002136	0.01598	2.17511	0.00549	13.6	0.115	114.67613	
62.3	138.3	102.5	84.7	79.4	88.9	119.3	72.7	43.2	75.9	88.7	102.4	251.8	7628	64.517	64517.343	
0.003	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.007	52.75	0.446	446.17333	
20.9	37.0	25.9	22.3	19.0	17.9	26.6	18.5	11.1	19.2	10.1	13.4	37.7	2512	21.245	21244.745	
19.8	31.5	22.8	19.8	19.3	21.2	30.9	22.4	13.3	23.2	15.6	20.3	55.6	1047	8.858	8857.7745	
162.2	294.6	199.9	182.4	146.4	149.2	224.8	175.9	101.4	179.4	74.5	112.7	335.6	16219	137.183	137182.85	
0.01	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.09	0.03	0.09	0.04	0.02	0.07	64	0.545	545.38561	
0.0020	0.0036	0.0032	0.0038	0.0023	0.0024	0.0035	0.0027	0.0016	0.0029	0.0008	0.0007	0.0037	0.17	0.001	1.4057387	
0.06	0.16	0.12	0.12	0.14	0.12	0.13	0.12	0.07	0.12	0.08	0.10	0.29	10.45	0.088	88.390617	
4E-05	2E-04	2E-04	4E-04	3E-04	3E-04	3E-04	3E-04	2E-04	3E-04	8E-05	2E-04	6E-04	0.02	0.000	0.1883506	
3.8E-04	4.0E-04	2.0E-04	1.9E-04	3.2E-04	1.4E-04	2.4E-04	2.8E-04	9.6E-05	1.6E-04	2.3E-04	1.8E-04	9.2E-05	0.04	0.000	0.3130587	
0.000376	0.001513	0.000523	0.000443	0.001085	0.000373	0.001474	0.001154	0.0005297	0.000356	0.0004	0.0010484	0.0021521	0.72	0.006	6.0801975	
0.000751	0.001444	0.001046	0.001046	0.000886	0.007768	0.003342	0.002446	0.0013283	0.0030189	0.00326	0.0030262	0.0049776	0.58	0.005	4.8805976	
1.5E-05	2.89E-05	2.09E-05	1.77E-05	1.6E-05	1.49E-05	1.78E-05	1.37E-05	8.05E-06	1.424E-05	1.6E-05	1.351E-05	0.0000366	0.00	0.000	0.0098555	
0.001757	0.017761	0.001048	0.001842	0.005232	0.000689	0.001047	0.000905	0.0005281	0.0001424	0.044584	0.0811951	0.160674	4.78	0.040	40.436831	
0.24783	0.438976	0.332469	0.331177	0.29029	0.28348	0.406752	0.373728	0.210105	0.388752	0.128799	0.198597	0.58194	23.9	0.202	202.34781	
0.012932	0.021054	0.014072	0.00882	0.011628	0.014129	0.014682	0.009618	0.0059892	0.0105661	0.013215	0.0176981	0.041724	1.21	0.010	10.264785	
0.00015	0.000289	0.000209	0.000177	0.00016	0.000149	0.000178	0.000137	0.0000805	0.0001424	0.00016	0.0001351	0.000366	0.04	0.000	0.3654669	
0.004957	0.025386	0.0069	0.006393	0.025042	0.006968	0.006672	0.012448	0.008211	0.0155216	0.017258	0.0132803	0.0327936	15.0	0.127	127.24809	
0.007946	0.011436	0.009075	0.007615	0.00504	0.004804	0.005869	0.004617	0.0027209	0.0045568	0.001369	0.0024858	0.0073932	1.37	0.012	11.575148	
0.021178	0.049962	0.03262	0.032409	0.027594	0.030437	0.038178	0.038335	0.0219765	0.0371664	0.019176	0.025669	0.066978	1.18	0.010	9.9968816	

Vedlegg 20

ELEMENT	Benevning	Vatn frå masselager ("myr") til Renseanlegg (RA)			Masselager/Myr ut frå RA og ut til Vigga (Dette betyr ikkje at vatnet er reinsa, det blei sendt igjennom konteinorar for sedimentering)									
		Myr inn 06.06.14	Renseanlegg g myr inn 23.01.15	Myr inn RA 18.06.15	Myr ut 06.06.14	Renseanlegg g myr ut 23.01.15	Renseanlegg g myr ut 11.02.15	Renseanlegg g myr ut 25.02.15	Renseanlegg g myr ut 11.03.15	(utpumpet vann RA) 25.03.15	Renseanlegg g myr ut 10.04.15	Renseanlegg g myr ut 22.04.15	Ut myr 20.05.15	Myr rensa (i alle trinn) ut 18.06.15
Acenafte	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Acenafte	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Al (Aluminium)	mg/l	4.01	296	18.5	8.69	313	5.91	8.25	376	80.3	20.4	28.4	23.1	128
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	6.5	4.67	1.81	5.8	4.86	4.74		4.39				2.13	1.72
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l		<0.150	<0.150		<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Ammoniakk (NH3)	mg/l	0.026	0.08		0.068	0.2	0.16	0.22	0.056	0.62	0.89	0.54	0.9	
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	1.96	3.38	5.96	2.2	3.55	3.46	3.78	5.01	7.61	8.51	10.3	6.62	6.27
Antracen	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
As (Arsen)	µg/l	0.437	2.48	1.9	1.19	2.23	0.514	0.995	3.28	3.06	6.55	5.4	2.78	0.426
B (Bor)	mg/l	83.9	65.2	98.1	93.2	62.6	69.6	76.2	92.3	80	98.1	80.1	85.6	95.9
Ba (Barium)	µg/l	205	218	71.6	187	208	165	165	196	145	107	156	81.2	73.1
Benso(a)antracen^	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Benso(a)pyren^	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Benso(b)fluoranter	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Benso(ghi)perylene	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Benso(k)fluoranter	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Ca (Kalsium)	mg/l	111	167	124	107	162	172	168	143	106	84.1	94.3	112	129
Cd (Kadmium)	µg/l	0.178	0.236	2.25	0.199	0.265	0.202	0.0612	0.477	0.567	0.935	0.475	2.25	1.76
Co (Kobolt)	µg/l	0.0798	1.17	0.424	0.202	1.09	1.05	0.747	0.774	0.316	0.211	0.334	0.98	0.287
Cr (Krom)	µg/l	<0.02	0.477	<0.05	<0.02	0.376	<0.02	0.042	0.671	0.294	0.766	0.363	0.232	0.0549
Cu (Kopper)	mg/l	0.799	1.68	<0.5	1.15	2.61	0.4	0.177	2.86	0.333	0.184	<0.5	<0.5	<0.2
Dekantering		ja	ja	ja	ja	ja								ja
Dibenso(ah)antracen^	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Fe (Jern)	mg/l	0.00135	0.406	<0.002	0.00183	0.462	0.00316	0.00545	1.17	0.113	0.00179	<0.002	<0.002	0.00141
Fenantren	µg/l	<0.020		<0.020	<0.020									<0.020
Filtering		JA		Ja	JA		Ja	nei	Ja		nei	nei	Ja	Ja
Fluoranten	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Fluoren	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	0.005	<0.010	<0.010	0.006	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
C12	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0								<5.0
C40	µg/l	<50	<50	<50	<50	<50								<50
C16	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0								<5.0
Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.								n.d.
C35	µg/l	<30	<30	<30	<30	<30								<30
C40	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10								<10
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002		<0.002	<0.002		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Indeno(123cd)pyrene	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
K (Kalium)	mg/l	5.19	7.72	16.7	5.66	7.78	8.4	8.52	10.2	10.1	11.6	11.8	13	16.7
Klorid (Cl-)	mg/l	23	36.8	22.4	23	41	39.8	36.4	30.8	33.6	28.3	27.4	23.2	23
Krysen^	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
Ledningsevne	mS/m	74	132	134	74	137	133	128	125	116	110	116	126	136
Mg (Magnesium)	mg/l	7.85	14.2	20.8	7.68	14.1	14.6	14.4	14.5	14.9	12.5	13.1	17.5	20.1
Mn (Mangan)	mg/l	20.4	373	69.9	10	308	390	385	193	95.1	57.3	48.3	89.3	61.3
Mo (Molybden)	µg/l	105	112	1680	139	103	150	178	230	319	542	755	1610	1630
Na (Natrium)	mg/l	48.6	103	123	56.8	102	110	106	109	107	113	104	112	123
Naftalen	µg/l	<0.030		<0.030	<0.030									<0.030
Ni (Nikkel)	µg/l	3.57	3.49	10.7	2.74	3.33	5.01	2.5	4.73	2.18	1.91	2.52	51.4	3.64
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	1.95	5.07	7.55	1.95	5.32	5.18	4.76	7.05	11.7	14.7	19	18	8.06
N-total	mg/l	4.36	8.85	13.2	4.19	9.65	10.8	11.6	14.9	13.3	17.1	29.5	37.4	13.8
P (Fosfor)	µg/l	4.52	28.5	7.25	6.91	30.9	3.65	2.81	56.4	5.76	4.22	<5	18.9	<2
Pb (Bly)	µg/l	<0.02	0.891	<0.05	<0.02	1.06	0.0452	0.0583	1.33	0.192	0.0165	0.0684	<0.05	0.613
pH (OS)		7.5	7.3	8.02	7.9	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	8	8	7.97	7.76
P-total	mg/l	1.05	0.033	0.127	0.915	0.033	0.034	0.034	0.061	0.015	0.015	0.026	0.043	<0.010
Pyren	µg/l	<0.010		<0.010	<0.010									<0.010
S (Svovel)	mg/l	50.6	140	174	51.4	148	133	157	126	116	115	116	131	179
Sb (Antimon)	µg/l													
Se (Selen)	µg/l													
Si (Silisium)	mg/l	4.3	5.52	3.57	4.38	5.31	4.5	4.69	5.67	7.22	7.62	6.68	4.71	2.89
Sr (Strontium)	µg/l	753	1020	2930	773	1010	1270	1260	1630	1880	1800	1840	3090	2840
S-total	mg/l													
Sulfat (SO4)	mg/l	130	404	505	160	435	456	420	358	371	314	334	412	520
Sum PAH carcinogene^	µg/l	n.d.		n.d.	n.d.									n.d.
Sum PAH-16	µg/l	n.d.		n.d.	n.d.									n.d.
Suspendert stoff	mg/l	1100	19.3	133	770	18	28.8	45.3	71.8	5.4	25.3	10.6	19.2	15.7
Th (Thorium)	µg/l	<0.04	0.0622	<0.02	<0.04	0.0627	<0.04	<0.02	0.0513	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.02
TOC	mg/l	3.3	2.74	0.65	3.6	2.9	2.58	2.09	1.19	3.45	0.81	0.89	<1.00	0.71
Turbiditet	FNU	1600	24	140	870	23.8	20.4	48.3	56.2	5.82	30.9	9.3	16.8	3.43
U (Uran)	µg/l	33.9	79.8	152	35.9	76	109	148	207	208	136	146	230	120
V (Vanadium)	µg/l	0.5	1.31	3.39	0.843	1.13	0.224	0.113	3.87	6.03	19.3	8.27	11.2	2.46
Zn (Sink)	µg/l	3.73	3.53	4.03	3.35	7.04	12.6	3.02	27.1	1.59	0.848	3.27	3.91	3.82
CaCO3 fra Ca2+	mg/l	166	250	186	160	243	258	252	214	159	126	141	168	193
Estimert CaCO3	mg/l	277	417	310	267	405	430	420	357	265	210	236	280	322

M608 fra MD er brukt til klassifisering av metall. Der verdiane er over grenseverdiane satt av Fylkesmannen (anleggsfase), er tallet farga raudt. Med utgangspunkt i omsøkte grenseverdiane var det berre suspendert stoff og kadmium som hadde påviste verdiane over grenseverdiane.

Vedlegg 21

Estimering av urankonsentrasjoner i Vigga basert på utpumpet vann og vannføring i Vigga

vannet som pumpes til Vigga	76 ug/l			konsentrasjon uran fra myr (µg/l)	300
Mengde anleggsvann som pumpes til Vigga	23 l/s				
Bakgrunnskonsentrasjon stoff i Vigga	1 ug/l				
Vannføring i Vigga	224 l/s				
Konsentrasjon i Vigga etter	8 ug/l				

Bruker NVE vannføring * 0.7 (nedbørsfeltet for Vigga ved utslippspunkt er 70 % av nedbørsfeltet til NVE-

Dato	Uran (U) fra vannprøver (ug/l)	Estimert konsentrasjon U (ug/l) i Vigga	worst case (ug/l) 300	Vannføring (l/s) i Vigga	Pumperate (l/s) fra myr	utslippsvann U (ug/l)	Vigga 30M (ug/l)	Forutsetning / antall RA i bruk (15 m ³ /t ^{*R})A, 4	Volum som renses l/s
11.02.2015	76	7	26	248	23		5		
12.02.2015	76	7	27	245	23				
13.02.2015	76	8	27	239	23				
14.02.2015	76	8	27	237	23				
15.02.2015	76	8	28	231	23				
16.02.2015	76	8	28	229	23				
17.02.2015	76	19	73	224	71			Ny pumpe (stor)	
18.02.2015	76	18	68	245	71				
19.02.2015	76	17	65	263	71				
20.02.2015	76	12	46	405	71				
21.02.2015	76	5	16	432	23			Lite pumpe	
22.02.2015	76	8	29	224	23				
23.02.2015	76	5	17	403	23		5		
24.02.2015	76	5	17	399	23		5		
25.02.2015	148	9	17	407	23		3		
26.02.2015	148	9	17	413	23		3		
27.02.2015	148	8	15	465	23		3		
28.02.2015	148	7	14	506	23		3		
01.03.2015	148	6	12	600	23		3		
02.03.2015	148	6	10	704	23		3		
03.03.2015	148	5	10	736	23		3		
04.03.2015	148	6	11	698	23		3		
05.03.2015	148	6	11	635	23		3		
06.03.2015	148	17	33	593	71		3		
07.03.2015	148	15	28	702	71		3		
08.03.2015	148	8	16	1342	71		3		
09.03.2015	148	7	12	1781	71		3		
10.03.2015	148	6	12	1921	71		3		
11.03.2015	207	8	11	2159	71		4.28		
12.03.2015	207	8	11	2073	71		4.28		
13.03.2015	207	8	12	1937	71		4.28	1 (3 timer)	4.17
14.03.2015	207	9	12	1798	71		4.28		
15.03.2015	207	9	13	1658	71		4.28		
16.03.2015	207			1524	Ikke pumping				
17.03.2015	207			1429	Ikke pumping				
18.03.2015	207	11	16	1376	71			4	16.7
19.03.2015	207	4	6	1335	22			Ny pumpe (stor?)	0
20.03.2015	207	4	6	1388	22	55*0,4 (strupeventil 40%)			0
21.03.2015	207				Ikke pumping				0
22.03.2015	207				Ikke pumping				0
23.03.2015	207				Ikke pumping				0
24.03.2015	207				Ikke pumping				0
25.03.2015	208	4	5	1454	22	55*0,4 (strupeventil 40%)			0
26.03.2015	208	4	6	1423	22	55*0,4 (strup			0
27.03.2015	208	4	6	1395	22	55*0,4 (strup			0
28.03.2015	208	4	6	1324	22	55*0,4 (strup			0
29.03.2015	208	4	6	1327	22	55*0,4 (strup			0
30.03.2015	208	4	6	1365	22	55*0,4 (strup			
31.03.2015	208	4	6	1420	22	55*0,4 (strup			
01.04.2015	208	4	6	1403	22	55*0,4 (strup			
02.04.2015	208	4	6	1361	22	55*0,4 (strup			
03.04.2015	208	4	6	1319	22	55*0,4 (strup			
04.04.2015	208	5	6	1279	22	55*0,4 (strup			
05.04.2015	208	5	6	1248	22	55*0,4 (strup			
06.04.2015	208	5	6	1214	22	55*0,4 (strup			
07.04.2015	208	5	6	1279	22	55*0,4 (strupeventil 40%)			
08.04.2015	208	5	7	1538	33	55*0,6 (strupeventil 60%)			
09.04.2015	208	5	7	1638	33	55*0,6 (strupeventil 60%)			
10.04.2015	136	3	6	2047	33	55*0,6 (strupeventil 60%)			
11.04.2015	136	3	5	2420	33	55*0,6 (strupeventil 60%)			
12.04.2015	136			2889	Ikke pumping				
13.04.2015	136			3279	Ikke pumping				
14.04.2015	136			3369	Ikke pumping				
15.04.2015	136			3293	Ikke pumping				
16.04.2015	136	1	2	3171	8	20*0,4 (strup) Ny pumpe (li		3 (6 timer)	12.5
17.04.2015	136	1	2	3041	6	20*0,3 (strupeventil 30%)		2 (3 timer)	8.34
18.04.2015	136	1	2	2989	6	20*0,3 (strupeventil 30%)			
19.04.2015	136	1	2	2977	6	20*0,3 (strupeventil 30%)			
20.04.2015	136	1	2	3069	6	20*0,3 (strupeventil 30%)			
21.04.2015	136	1	2	3245	6	20*0,3 (strupeventil 30%)			
22.04.2015	146	1	2	3364	6	20*0,3 (strupeventil 30%)		1 timer)	
23.04.2015	146				Ikke pumping		146		
24.04.2015	146				Ikke pumping		146		
25.04.2015	146				Ikke pumping		146		
26.04.2015	146				Ikke pumping		146		
27.04.2015	146				Ikke pumping		146		
28.04.2015	146				Ikke pumping		146		
29.04.2015	146				Ikke pumping		146		

30.04.2015	146				Ikke pumping	146			
01.05.2015	146				Ikke pumping	146			
02.05.2015	146				Ikke pumping	146			
03.05.2015	146				Ikke pumping	146			
04.05.2015	146				Ikke pumping	146			
05.05.2015	146				Ikke pumping	146			
06.05.2015	146				Ikke pumping	146			
07.05.2015	146				Ikke pumping	146			
08.05.2015	146				Ikke pumping	146			
09.05.2015	146				Ikke pumping	146			
10.05.2015	146				Ikke pumping	146			
11.05.2015	146				Ikke pumping	146			
12.05.2015	146				Ikke pumping	146			
13.05.2015	146				Ikke pumping	146			
14.05.2015	146				Ikke pumping	146			
15.05.2015	146				Ikke pumping	146			
16.05.2015	146				Ikke pumping	146			
17.05.2015	146				Ikke pumping	146			
18.05.2015	146				Ikke pumping	146			
19.05.2015	146	2	2	2284	8	20*0,4 (strupeventil 40%)	145		
20.05.2015	230	2	3	2552	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
21.05.2015	230	2	3	2579	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
22.05.2015	230	2	3	2516	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
23.05.2015	230	3	3	2410	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
24.05.2015	230	3	3	2282	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
25.05.2015	230	2	3	2222	12	20*0,6 (strupeventil 60%)	225		
26.05.2015	230	1	2	2099	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
27.05.2015	230	1	2	1968	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
28.05.2015	230	3	4	1832	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
29.05.2015	230	3	4	1819	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
30.05.2015	230	3	3	1911	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
31.05.2015	230	3	3	2203	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
01.06.2015	230	3	3	2278	16	20*0,8 (strupeventil 80%)	225		
02.06.2015	230	3	3	2384	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
03.06.2015	230	3	3	2750	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
04.06.2015	230	3	3	2826	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
05.06.2015	230	3	3	2742	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
06.06.2015	230	3	3	2690	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
07.06.2015	230	3	3	2672	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
08.06.2015	230	3	3	2551	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
09.06.2015	230	3	3	2382	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
10.06.2015	230	3	4	2204	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
11.06.2015	230	3	4	2019	20	20*1 (strupeventil 100%)	225		
12.06.2015	230	1	2	1843	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
13.06.2015	230	2	2	1674	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
14.06.2015	230	2	2	1511	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
15.06.2015	230	2	2	1361	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
16.06.2015	230	2	2	1219	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
17.06.2015	230	2	2	1106	4	20*0,2 (strupeventil 20%)	225		
18.06.2015	120	1	2	1025	4	20*0,2 (strup) Rensing		1	4.17
19.06.2015	120	2	2	942	4	20*0,2 (strup) Rensing		1	4.17
20.06.2015	120	2	2	862	4	20*0,2 (strup) Rensing		1	4.17
21.06.2015	120	2	3	793	4	20*0,2 (strup) Rensing		1	4.17
22.06.2015	120	2	3	769	4	20*0,2 (strup) Rensing til kl.		1	4.17
23.06.2015	120			1190	Ikke pumping				Pumpe uttatt

Vedlegg 22.1

Prøver tatt nedstrøms		31.03.14	14.04.14	09.05.14	06.06.14	18.06.14	07.07.14	20.08.14	17.09.14	09.10.14	27.10.14	17.11.14	11.12.14	05.01.15	25.02.15	25.03.15	22.04.15	20.05.15	18.06.15	01.07.15
ELEMENT	Benevning																			
Acenaften	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Acenaftylet	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Al (Aluminium)	µg/l	4.66	4.44	2.43	6.02	7.93	7	40	4.43	21.5	4.25	3.45	2.51	6.65	4.8	2.69	2.31	13.7	1.79	2.2
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	4.25	4.2	4.56	4.3	4.5	4.3	4.61	3.86	3.42	4	4.33	4.42	4.5				4	4.29	4.45
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150				<0.150	<0.150	<0.150	0.01	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Ammoniakk (NH3)	mg/l	<0.010	0.01	0.01	<0.003	0.016	<0.003	<0.010	<0.010	0.01	0.01	<0.010	<0.010	<0.010	0.01	0.01	<0.010	<0.010		
Ammonium-N (NH4-)	mg/l		0.059	0.062	0.064	0.39	<0.003	<0.020	<0.020	0.217	0.39	0.131	0.04	<0.020	0.092	0.071	0.042	0.044	<0.020	0.022
As (Arsen)	µg/l	<0.06	0.141	0.143	0.266	2.23	0.563	1.01	0.362	0.456	0.324	<0.2	<0.2	<0.06	0.121	<0.1	<0.1	0.122	0.0788	0.104
B (Bor)	µg/l	30.7	30.3	33.5	38.4	44.9	43.5	42.2	42.3	43.4	43.7	39.9	35.9	33	30.4	29.1	28.4	37	36.5	37.6
Ba (Barium)	µg/l			87.1	76.2	113	86.7	81.9	79.9	73	93	86.5	89	84.7	68.6	75.9	75.9	88	73.1	85.4
Benzo(a)antracen^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Benzo(a)pyren^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Benzo(b)fluoranten^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Benzo(ghi)perylen	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Benzo(k)fluoranten^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Ca (Kalsium)	mg/l			113	121	122	128	118	123	105	131	131	130	130	108	109	114	115	122	125
Cd (Kadmium)	µg/l	0.0753	0.0634	0.0854	0.23	0.294	0.353	0.834	0.518	0.182	0.436	0.256	0.147	0.0657	0.277	0.0429	0.0204	0.143	0.219	0.266
Co (Kobolt)	µg/l		2.06	0.882	1.36	0.417	1.74	0.66	0.235	2.71	2.2	3.01	0.328	2.94	2.34	3.21	1.24	2.68	2.37	
Cr (Krom)	µg/l	<0.01	0.0175	0.0143	0.0276	0.0106	0.0322	0.0518	0.03	0.122	<0.02	0.0507	0.0156	<0.01	0.0363	<0.02	0.0257	0.0349	<0.01	0.0215
Cu (Kopper)	µg/l	<1	<1	0.377	0.6	0.692	0.459	1.16	0.487	3.01	0.676	0.746	0.406	0.328	0.61	<0.2	0.483	0.895	0.462	0.474
Dekantering				ja									JA				ja		ja	
Dibenzo(a)h)antracen	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Fe (Jern)	mg/l	0.00466	0.0157	0.00394	0.00239	0.00129	0.00109	0.386	0.00625	0.0462	0.00966	0.00916	0.00329	0.00316	0.127	0.00396	0.00445	0.0205	0.00372	0.0065
Fenantren	µg/l		<0.020	<0.020	<0.020												<0.020		<0.020	
Filtering		JA			JA	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	JA	Ja	JA	JA	JA	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fluoranten	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Fluoren	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Fosfat-P (ortofosfat-f)	mg/l	<0.010	0.017	0.017	0.019	0.004	0.007	<0.010	<0.010	0.109	0.008	0.019	<0.010	0.018	<0.010	<0.010	<0.010	0.046	<0.010	<0.010
Fraksjon >C10-C12	µg/l		<5.0	<5.0	<5.0												<5.0		<5.0	
Fraksjon >C10-C40	µg/l		<50	<50	<50												<50		<50	
Fraksjon >C12-C16	µg/l		<5.0	<5.0	<5.0												<5.0		<5.0	
Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l		n.d.	n.d.	n.d.												n.d.		n.d.	
Fraksjon >C16-C35	µg/l		<30	<30	<30												<30		<30	
Fraksjon >C35-C40	µg/l		<10	<10	<10												<10		<10	
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	0.00285	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Indeno(123cd)pyren^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
K (Kalium)	mg/l		6.42	6.7	6.7	8.54	8.02	6.77	6.54	18.7	6.27	7.3	7.08	6.85	6.52	6.27	6.45	5.82	7.67	8.05
Klorid (Cl-)	mg/l	20.7	18.9	20	23	37	33	28.3	25.8	40.5	22	16.9	19.4	20.5	20	18	18.9	15.8	17.4	20.1
Krysen^	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
Ledningsevne	mS/m	62.6	64	65	62	74	73	74.9	69	73.3	83	76.7	74.4	75.8	66.1	67.2	71.7	69.9	73.5	76.9
Mg (Magnesium)	mg/l			8.19	8.3	9.89	10.5	9.15	9.37	8.02	10.2	9.09	8.6	8.78	7.91	8.19	8.32	8.52	8.95	9.51
Mn (Mangan)	µg/l	70	86.1	97	59.1	117	24	108	46	0.733	156	86	111	13.7	116	101	103	50.1	93.9	98.1
Mo (Molybden)	µg/l			14.5	18.7	140	147	68.1	64.5	57.4	151	52.1	37.1	46.6	45.5	30.2	27.7	38.7	24.9	34.4
Na (Natrium)	mg/l	9.91	9.89	9.83	11.2	18.6	16.7	16.6	17.2	21.6	32.5	18.2	14.5	15.7	18	13.5	13.9	15.5	15.5	17.5
Naftalen	µg/l		<0.030	<0.030	<0.030												<0.030		<0.030	
Ni (Nikkel)	µg/l	23.8	25.5	28.9	22.7	49.2	49.1	69.2	40.6	25.6	59.2	37.7	48.3	23	54.3	38.3	43.5	42.7	50.4	52.7
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	8.62	7.27	7.86	6.26	5.37	4.11	3	2.73	4.14	5.33	8.68	9.62	7.92	5.63	7.15	7.22	7.73	8.43	7.97
N-total	mg/l	15.3	8.29	8.12	6.36	5.8	4.31	4.41	4.32	6.89	5.83	19.8	20.1	13.2	9.95	11.4	17.4	11.7	8.94	13.5
P (Fosfor)	µg/l		5.33	9.64	2.56	5.37	28.3	6.14	97.4	10.5	9.28	3.16	9.7	10.4	10	57.5	29.6	3.03	3.7	
Pb (Bly)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.017	0.169	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02	0.0124	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01
pH (OS)		8.1	8.1	8.42	8.2	7.9	8.2	8.2	7.99	8.8	8.2	7.9	8.18	8	8	7.9	8	8	8.15	8.15
P-total	mg/l	0.041	0.045	0.246	0.085	0.074	0.07	<0.010	0.179	1.34	0.035	0.053	0.01	1.18	0.013	0.025	0.027	0.115	0.011	0.01
Pyren	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010												<0.010		<0.010	
S (Svovel)	mg/l	26.9	27.5		29.5	38.9	38.5	44	42.9	42.5	74.6	44.8	39.4	40.3	49.2	35.5	37	35	38.9	44.3
Sb (Antimon)	µg/l		0.135																	
Se (Selen)	µg/l	<0.5	<0.5																	
Si (Silisium)	mg/l			4.09	4.59	4.73	5.3	4.92	5.2	3.89	4.37	4.24	4.22	4.14	3.57	3.74	3.5	3.87	4.31	4.43
Sr (Strontium)	µg/l			530	550	1050	950	791	761	553	912	1058	662	695	629	586	601	636	673	736
S-total	mg/l	84.6		29.1																
Sulfat (SO4)	mg/l		81	79	97	110	120	132	125	151	200	134	137	125	137	107	114	127	114	134
Sum PAH carcinogen	µg/l		n.d.	n.d.	n.d.												n.d.		n.d.	
Sum PAH-16	µg/l	12.5	n.d.	n.d.	n.d.												n.d.		n.d.	
Suspendert stoff	mg/l	<0.02	16	4.8	21	15	27	6.5	122	296	4.7	24.6	12.4	613	1.8	1.4	2.1	33.6	<5.0	<5.0
Th (Thorium)	µg/l	3.59	<0.02	<0.02	<0.02	0.0372	<0.02	<0.02	<0.02	0.126	<0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.04	<0.04	<0.02	<0.02	<0.02
TOC	mg/l	8.5	4.5	3.5	3.4	2.6	3.3	4.12	2.97	9.13	6.6	4.46	3.25	2.71	3.86	3.67	2.96	5.63	2.53	2.75
Turbiditet	FNU	54.5	2.8	2.6	2.2	48	12	2.82	43.7	283	1.4	4.38	2.56	168	1.21	1.63	3.27	27.2	2.76	2.3
U (Uran)	µg/l		56.2	53.6	60.1	333	194	163	143	93.3	21.5	101	74.1	100	96.7	66.8	74.5	76.5	66	73.2
V (Vanadium)	µg/l			0.0828	0.118	0.541	0.122	0.327	0.109	0.143	0.114	0.113	0.06	0.0853	0.0841	0.0406	0.0711	0.132	0.043	0.056
Zn (Sink)	µg/l			15.3	5.1	3	3.83	53.6	18	4.06	17.4	13.6	15.4	5.5	20.6	17.9	16	10.5	19.5	23

13.07.15	13.08.15	10.09.15	08.10.15	04.11.15	30.11.15	07.01.16	04.02.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	12.10.16	13.12.16	03.03.17	30.05.17	12.10.17	Tilstandsklasse					
2.38	1.61	2.69	2.62	1.81	3.78	1.48	1.9	14.3	5.22	3.16	1.98	2.27	2.05	1.83	3.97	4.08	8.70						
4.56	4.73	4.5	4.5	5.06	4.51	4.48	4.3	3.08	3.8	4.26	4.66	4.94	4.91	4.32	3.52	3.91	4.80						
<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	0.194	<0.150	<0.150	<0.150						
0.03	<0.020	0.046	0.044	0.043	0.038	0.047	<0.020	0.128	0.059	0.032	0.022	0.035	0.025	0.039	0.418	0.067	0.06						
0.164	0.18	0.227	0.142	<0.5	0.225	0.147	<0.2	0.565	0.286	0.297	0.305	0.348	0.324	0.328	0.323	0.316	0.42	1-3					
43.5	45	45.3	43.1	40.7	36.8	34.4	33.7	26.1	30.2	35	41.9	46	42.6	31.5	30.9	33.2	35						
86	81	83.5	92.2	96.4	91.5	83	67.8	68.8	76.6	85.5	84.4	80	73.8	76.2	71.9	79.6	88						
135	139	133	141	142	143	140	140	97.7	119	126	147	154	142	127	136	127	130						
0.221	0.393	0.322	0.194	0.127	0.0847	0.0948	0.048	0.172	0.202	0.202	0.364	0.365	0.252	0.048	0.0686	0.191	0.14	2-3					
2.68	1.73	2.99	2.96	1.94	1.57	1.86	2.26	1.48	2.42	2.22	1.83	1.67	1.07	1.36	4.91	2.54	1.40						
0.0184	<0.01	0.0439	0.0269	0.0215	0.0216	0.0241	0.0188	0.102	0.0171	0.0211	<0.01	0.0292	0.0283	0.0351	0.0319	0.0307	0.06	1-2					
0.452	0.383	0.529	0.599	0.39	0.594	0.365	0.349	1.43	0.891	0.617	0.494	0.402	0.308	0.414	0.631	0.544	1.20	1-2					
					0.0118																		
0.00348	0.00276	0.00656	0.00308	0.00702		0.0028	0.00349	0.439	0.0175	0.00457	0.00342	0.00799	0.0115	0.00491	0.0766	0.0129	0.06						
Ja		JA	Ja	Ja	Ja		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
	Ja																						
<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.052	0.014	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.05	<0.010	0.04						
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00287	<0.002	<0.002	0.00218	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005	2					
8.44	8.31	7.3	8.92	7.93	6.92	8.01	6.94	5.35	6.36	7.46	7.91	7.69	6.93	6.27	9.02	6.53	7.50						
20.7	24	17.8	18	18.9	18.6	18.5	18.6	13.4	17.5	18.9	26.9	23.1	20	15.8	16.8	19.6	20						
82.6	89.7	84	77.2	74.1	73.7	75.8	72.5	35.7	62	67.9	84.4	94	87.2	72.8	78.1	70.1	74.60						
10.8	13.2	13.8	10.5	9.97	10.6	11	10.1	7.57	10.4	9.85	13.4	17.7	13.3	10.3	10.8	10.5	9.50						
105	86.7	142	106	99.7	89.4	89.6	105	116	98.4	86.1	104	121	92.8	85	208	112	100						
56.8	63.4	37.4	27.4	27.6	28.9	21.8	24.1	21	22.3	20.5	23.9	21.5	27.2	18.8	21.5	17.7	17						
23	30.9	25.5	14.5	15.5	14.9	14.2	14.7	9.66	12.4	13.6	20.8	26.7	21.6	12.6	23.7	13.7	11						
72	83.3	82.1	47.4	39.7	37.9	48	46.2	37.3	48.1	46.2	75.2	116	40.8	41.8	81.7	71.7	36	2-5					
7.16	4.56	4.1	7.14	7.04	5.72	8.1	5.58	5.21	7.36	8.48	5.91	4.02	2.51	5.7	3.4	4.4	6.20						
11.8	8.72	6.44	9.8	11.6	7.93	11.8	9.26	6.32	14.3	12.5	7.88	5.91	3.99	9.94	6.01	6.8							
4.22	5.28	8.33	5.07	4.82	9	3.45	4.44	56.8	6.07	5.14	5.57	6.63	6.64	4.75	7.64	9.19	< 300						
<0.01	<0.01	<0.01	0.0139	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0184	<0.01	0.656	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.010	1-2					
8.19	8.2	8.04	8.2	8.09	8.07	7.97	8.16	7.87	8.01	7.88	7.95	8.23	8.53	8.05	7.84	8.04	8.00						
<0.010	0.022	0.041	0.021	0.019	0.023	0.036	0.027	0.108	0.019	0.013	<0.010	0.022	0.04	0.031	0.084	<0.050	0.20						
54.7	70	62.6	34.4	44.1	45.4	44.4	44.4	30.2	39	37.3	55.4	82.2		42.9	48.3	42	42						
4.77	5	4.9	5.01	4.95	4.52	4.47	4.21	3.25	3.66	4.1	4.78	4.95	4.88	4.24	3.72	3.99	4.2						
856	999	897	736	725	732	701	704	474	584	600	809	940	822	627	727	627	650						
174	212	177	135	125	133	137	140	86.2	123	115	183	236	174	123	190	119	136						
<5.0	<5.0	5.2	<5.0	3.1	5.3	<5.0	7.2	18.2	<5.0	<5.0	9	<5.0	<5.0	14.6	10.2	8.1	24						
<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<100					
2.4	2.61	3.55	3.08	3.35	4.18	2.54	3.11	6.02	4.02	2.58	2.62	2.86	3.16	2.31	5.62	4.15	12						
2.99	2.2	2.58	4.64	3.53	5.56	2.28	6.59	5.11	3.13	2.55	1.43	1.01	1.07	5.43	6.41	6.11							
131	172	122	96.4	92.2	100	87.7	96.9	59.5	71.1	76.7	143	150	139	82.8	115	84.6							
0.0592	0.0672	0.0833	0.0609	0.069	0.114	0.0617	0.0539	0.267	0.0745	0.0751	0.0608	0.0708	0.0598	0.0566	0.0582	0.129	< 0.020						
29	2.49	24.8	16.7	20.6	14.3	22.3	17.2	15.0	13.8	14.9	25.8	34.1	19.9	16	13.7	30.4	11	2-4					

ELEMENT	Benevning	Prøver tatt oppstrøms																		
		20.08.14	17.09.14	17.11.14	06.01.15	25.02.15	25.03.15	22.04.15	20.05.15	18.06.15	01.07.15	13.07.15	13.08.15	10.09.15	08.10.15	04.11.15	30.11.15	07.01.16	04.02.16	30.03.16
Acenaften	µg/l																			
Acenaftylen	µg/l																			
Al (Aluminium)	µg/l	14.3	1.75	2.32	0.86	4.73	1.46	1.66	5.35	1.05	0.99	19.2	1.47	1.73	1.35	1.05	2.28	0.938	1.06	12
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	4.32	4.31	4.32	4.59				4	4.44	4.52	4.8	4.76	4.59	4.56	5.33	4.63	4.57	4.55	3.07
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Ammoniakk (NH3)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010			0.111						
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	0.11		0.072	0.081	0.099	0.077	0.067	0.072	0.042	0.068	0.082	0.096	0.086	0.068	0.083	0.056	0.086	0.051	0.133
As (Arsen)	µg/l	0.712	0.462	<0.2	0.0966	0.149	<0.1	0.102	<0.06	0.168	0.271	0.247	0.341	0.216	<0.6	0.247	0.127	0.274	0.531	
B (Bor)	µg/l	39.3	39.3	38.6	31.9	27.8	27.9	27.3	35.7	35.4	38	40.6	39.8	39.9	42.5	39.9	36.6	32.3	31	25.8
Ba (Barium)	µg/l	77.1	75.2	99.1	85.8	71.6	80.7	80.9	86.7	70.8	90.5	90.3	84	89.4	105	105	98.5	88.9	80	68.9
Benso(a)antracen^	µg/l																			
Benso(a)pyren^	µg/l																			
Benso(b)fluoranten^	µg/l																			
Benso(ghi)perylen	µg/l																			
Benso(k)fluoranten^	µg/l																			
Ca (Kalsium)	mg/l	102	107	124	128	102	110	114	107	117	122	124	124	118	134	139	137	133	130	89.8
Cd (Kadmium)	µg/l	1.3	0.652	0.241	0.0389	0.261	0.0257	0.024	0.149	0.298	0.371	0.15	0.364	0.456	0.28	0.196	0.157	0.109	0.0562	0.171
Co (Kobolt)	µg/l	2.89	2.62	1.92	3.82	2.61	2.47	3.65	0.319	2.9	3.52	5.13	3.84	2.63	3	2.89	1.97	2.59	3.12	1.44
Cr (Krom)	µg/l	0.0278	0.0155	0.0394	<0.01	0.0466	<0.02	0.0294	0.0386	<0.01	0.0145	0.015	<0.01	0.0386	0.0263	0.0236	0.0348	0.0131	0.0111	0.107
Cu (Kopper)	µg/l	0.52	0.235	0.645	0.275	0.585	<0.2	0.426	0.829	0.387	0.367	0.397	0.30	0.51	0.61	0.312	0.545	0.363	0.299	1.32
Dekantering																				
Dibenso(ah)antracen^	µg/l																	0.0563		
Fe (Jern)	mg/l	0.822	0.0215	0.0259	0.00532	0.367	0.00686	0.016	0.0636	0.00826	0.0149	0.00626	0.00821	0.023	0.0123	0.0159		0.00519	0.00616	0.53
Fenantren	µg/l																			
Filtering		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fluoranten	µg/l																			
Fluoren	µg/l																			
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	0.026	<0.010	0.018	0.023	<0.010	0.062	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.023	<0.010	<0.010	0.019	<0.010	<0.010	0.05
Fraksjon >C10-C12	µg/l																			
Fraksjon >C10-C40	µg/l																			
Fraksjon >C12-C16	µg/l																			
Fraksjon >C12-C35 (su)	µg/l																			
Fraksjon >C16-C35	µg/l																			
Fraksjon >C35-C40	µg/l																			
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Indeno(123cd)pyren^	µg/l																			
K (Kalium)	mg/l	6.39	5.71	7.02	6.89	6.25	6.41	6.63	5.53	7.6	8.14	8.34	8.22	6.38	8.89	8.06	7	8.13	6.88	5.15
Klorid (Cl-)	mg/l	19.9	19.7	17	20.8	17.9	18.3	16.3	14.3	15.1	17.2	17.5	19.2	15.8	16.2	17.2	16.6	16.4	17	11.1
Krysen^	µg/l																			
Ledningsevne	mS/m	65.5	64.8	70.5	73.7	60.1	65.3	68.2	63.1	68.9	71.1	73.7	73.6	68.6	73.3	70.6	67.7	70.8	67.8	47.9
Mg (Magnesium)	mg/l	8.38	8.5	8.34	8.41	7.13	7.97	7.97	7.26	7.97	8.45	8.58	9.05	8.61	9.08	8.9	8.93	8.98	8.25	5.9
Mn (Mangan)	µg/l	182	178	94.4	149	117	112	122	23	103	140	177	197	131	128	147	115	124	144	126
Mo (Molybden)	µg/l	13.6	13.6	21.5	18.1	15.9	17.2	17.2	19.5	15.8	13.4	18.1	14	15.9	19.2	18.1	20	16	17.6	18.4
Na (Natrium)	mg/l	11.9	11.7	9.03	10.1	8.54	9.03	8.95	8.5	8.95	9.7	10.3	12.1	10.5	9.44	10.9	10.3	9.01	9.85	6.52
Naftalen	µg/l																			
Ni (Nikkel)	µg/l	45.7	41	23.5	47.6	31.8	36.4	40.2	20.9	40.8	45	55.4	52.6	36.1	39.1	36.2	26.5	33	35.2	18.8
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	3.11	2.53	8.52	8.28	6.11	7.38	7.61	8.2	8.92	8.87	8.03	5.4	4.26	7.54	7.58	6.14	8.76	6.22	5.42
N-total	mg/l	4.27	4	18.7	13.4	11	11.4	18.8	12.1	9.21	15	13.6	10.5	6.9	10.7	11.9	8.68	12.6	10	6.41
P (Fosfor)	µg/l	23	2.63	6.19	1.37	18.7	3.12	50.2	23.8	1.99	1.93	2.7	4.05	6.1	2.08	2.47	5.07	1.2	2.25	60.9
Pb (Bly)	µg/l	0.0333	<0.01	<0.02	<0.01	0.0108	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0124	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0228
pH (OS)		7.4	7	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.47	7.46	7.52	7.4	7.23	7.57	7.48	7.38	7.29	7.53	7.28	
P-total	mg/l	0.013	0.024	0.038	0.019	0.025	0.033	0.025	0.083	0.015	0.01	0.012	0.029	0.044	0.019	0.02	0.023	0.037	0.029	0.106
Pyren	µg/l																			
S (Svovel)	mg/l	32.3	32.8	32.7	31.6	34.5	28.9	30.2	24	29.6	31.4	34.6	33.7	32	26.4	35.9	31.1	31.6	32.2	20.6
Sb (Antimon)	µg/l																			
Se (Selen)	µg/l																			
Si (Silisium)	mg/l	4.95	5.2	4.26	4.31	3.55	3.85	3.63	3.83	4.35	4.63	4.87	5.17	4.94	5.07	5.02	4.71	4.52	4.19	3.2
Sr (Strontium)	µg/l	593	597	586	608	495	538	542	513	568	603	626	664	609	640	641	612	587	576	388
S-total	mg/l																			
Sulfat (SO4)	mg/l	96.1	93.4	110	121	97.9	98.5	91.1	91.6	87.3	96.8	110	105	96.7	107	94.5	92.1	96.6	102	59.4
Sum PAH carcinogene	µg/l																			
Sum PAH-16	µg/l																			
Suspendert stoff	mg/l	3.6	4.7	2.5	3	1.2	<1.0	2.3	8.8	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	6.4	<5.0	2.2	2.2	<5.0	<5.0	17.5
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.04	<0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
TOC	mg/l	4.24	3.04	4.69	2.66	4.36	3.98	3.12	6.08	2.66	3.62	4.36	2.63	3.03	3.92	3.3	3.64	4.55	2.71	6.38
Turbiditet	FNU	7.39	7.01	1.52	6.75	0.93	2.13	3.32	4.99	3.71	2.08	4.72	1.88	1.74	4.75	5.02	6.07	5.09	4.61	4.45
U (Uran)	µg/l	62.5	62.3	54.5	64.1	49.7	46.5	53.1	40.5	41.2	41.2	64	62.3	46.5	63.3	62	74.8	52.3	77.3	37.8
V (Vanadium)	µg/l	0.238	0.0643	0.125	0.0412	0.111	0.0431	0.0682	0.13	0.0382	0.0439	0.0597	0.0618	0.0707	0.0426	0.0526	0.0975	0.0495	0.0491	0.238
Zn (Sink)	µg/l	62.8	49.7	18.9	30.6	26.8	10.7	23.4	16.5	32.6	40.6	50.2	61.7	35.1	28.9	34.4	22.4	31.2	29.5	16.5

04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	12.10.16	13.12.16	03.03.17	30.05.17	12.10.17	Tilstandsklasse
3.03	1.37	1.01	1.67	1.51	0.901	4.59	1.9	4.4	
3.97	4.3	4.93	4.84	5	4.32	3.5	4.02	4.8	
<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150		
0.063	0.048	0.057	0.094	0.136	0.078	0.547	0.087	0.074	
0.282	0.278	0.465	0.613	0.63	0.292	0.428	0.309	0.42	1-3
28.1	33.9	39.1	39.7	37.7	28.2	27.8	32.7	36	
78.3	89.1	92.2	89.9	89.7	80.5	74.7	80.1	95	
110	119	126	123	127	120	116	118	120	
0.192	0.223	0.431	0.289	0.308	0.0511	0.2	0.184	0.13	2-3
2.1	2.02	2.35	2.53	2.74	1.86	6.99	2.48	0.85	
0.0207	0.0115	<0.01	0.0377	0.0338	0.0325	0.0315	0.0312	0.074	1-2
0.852	0.595	0.346	0.287	0.158	0.342	0.987	0.525	1	1-2
0.116	0.0116	0.00945	0.048	0.0506	0.0128	0.702	0.0715	0.16	
Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	ja		
0.018	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.094	<0.010	0.029	
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005	2
6.1	7.37	7.71	7.15	6.87	6.16	8.93	6.59	7.5	
14	15.9	19.1	17.8	18.6	13.7	19.2	14.4	20	
59.5	62.8	70.8	69.3	73.1	66.7	67.3	62.8	69.4	
7.4	7.62	8.11	8.67	8.69	7.93	7.56	7.9	8.2	
87.7	88.7	146	165	223	111	255	120	89	
17	18	17.2	15.1	16.8	15.4	17.3	16.4	20	
7.48	8.44	10.5	11.3	12.5	8.09	10.4	8.31	9.2	
27.2	27.5	43.1	31.4	34.9	27	79.3	31.7	16	3-5
7.55	8.97	6.84	4.64	2.92	6.07	3.81	4.92	6.8	
15.3	12.6	9.14	6.53	4.6	10.6	6.79	7.03		
6.57	2.76	3.49	5.03	5.42	2.31	38.7	6.87	< 300	
<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.015	1-2
7.46	7.33	7.15	7.43	8.37	7.62	7.16	7.38	7.1	
0.022	0.013	<0.010	0.026	0.028	<0.010	0.148	<0.050	0.23	
24.6	26.2	26.2	33.2	30	29	43	28.7	32	
3.62	4.1	4.67	5	5.02	4.24	3.74	4.03	4200	
472	500	551	575	610	510	514	514	560	
82	78.4	92	97.5	95	83.9	127	81	102	
<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	5	<5.0	15.1	5.2	14	
<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	< 100	
4.32	2.65	2.97	3.58	4.01	2.46	6.49	4.17	13	
3.28	2.45	1.47	2.13	2.01	0.44	14	5.87		
45.2	49.1	59.1	59.5	74.4	53.4	78.9	55.9		
0.0733	0.054	0.0492	0.0931	0.07	0.0645	0.156	0.114	< 0.020	
17.2	20.3	32.1	32.5	35.5	19.4	32.7	30.3	13.00	4-5

Vedlegg 22.2

Horgensbekken: Test rødmull oppstrøms og nedstrøms sorbent

ELEMENT	SAMPLE	Horgen O.T 05.01.15	Horgen N.T 05.01.15	Forskjell O - N
Al (Aluminium)	µg/l	1.89	2	0.11
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	4.46	4.44	-0.02
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	
Ammoniakk (NH ₃)	mg/l	<0.010	<0.010	
Ammonium-N (NH ₄ -N)	mg/l	0.042	0.042	0
Analysedato (pH)		20150108	20150108	0
As (Arsen)	µg/l	<0.06	<0.06	
B (Bor)	µg/l	34.1	34.1	0
Ba (Barium)	µg/l	82.6	82.1	-0.5
Ca (Kalsium)	mg/l	130	131	1
Cd (Kadmium)	µg/l	0.0581	0.0594	0.0013
Co (Kobolt)	µg/l	2.9	3	0.1
Cr (Krom)	µg/l	<0.01	<0.01	
Cu (Kopper)	µg/l	0.35	0.354	0.004
Fe (Jern)	mg/l	0.00282	0.00318	0.00036
Filtrering		JA	JA	
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	<0.010	
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	
K (Kalium)	mg/l	6.9	6.85	-0.05
Klorid (Cl ⁻)	mg/l	19.7	18.1	-1.6
Ledningsevne	mS/m	75.7	75.8	0.1
Mg (Magnesium)	mg/l	8.87	8.79	-0.08
Mn (Mangan)	µg/l	123	121	-2
Mo (Molybden)	µg/l	43.4	44.3	0.9
Na (Natrium)	mg/l	15.6	15.5	-0.1
Ni (Nikkel)	µg/l	53	55.7	2.7
Nitrat-N (NO ₃ -N)	mg/l	7.76	7.79	0.03
N-total	mg/l	13.1	13.1	0
P (Fosfor)	µg/l	3.32	3.44	0.12
Pb (Bly)	µg/l	<0.01	<0.01	
pH (OS)		8.1	8	-0.1
P-total	mg/l	0.016	0.051	0.035
S (Svovel)	mg/l	38.9	39.7	0.8
Si (Silisium)	mg/l	4.25	4.23	-0.02
Sr (Strontium)	µg/l	699	695	-4
Sulfat (SO ₄)	mg/l	126	117	-9
Suspendert stoff	mg/l	2.5	9	6.5
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02	
TOC	mg/l	2.53	2.58	0.05
Turbiditet	FNU	3.81	7.02	3.21
U (Uran)	µg/l	95.3	97.9	2.6
V (Vanadium)	µg/l	0.0584	0.0526	-0.0058
Zn (Sink)	µg/l	20.3	20.1	-0.2

O. T = oppstrøms testområde
N. T = nedstrøms testområde

Vedlegg 23

ELEMENT	Prøver tatt nedstrøms i Nordtangenbekken																											
	Benevnin	24.02.14	31.03.14	30.04.14	09.05.14	06.06.14	18.06.14	07.07.14	01.08.14	22.08.14	17.09.14	09.10.14	27.10.14	17.11.14	11.12.14	06.01.15	25.02.15	25.03.15	22.04.15	20.05.15	18.06.15	01.07.15	13.07.15	13.08.15	10.09.15	08.10.15	04.11.15	
Acenaftein	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Acenafteylen	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Al (Aluminium)	µg/l	15.3	12	1600	9.4	2.43	2.4	1.03	2.89	<1	2.01	5.89	4.26	9.43	4.82	2.72	2.77	4.49	6.13	5.25	2.28	5.57	2.69	2.29	9.71	6.76	3.84	
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	1.81	2.58	2.52	3.35	5.3	6.9	7.9	9.9	8.51	9.17	8.58	5.3	3.39	4.97	5.66			3.8	4.77	4.76	5.34	5.62	4.73	4.16	5.12		
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150					<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	
Ammoniakk (NH3)	mg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.010	0.02	0.02	<0.004	0.01	0.03	0.02	0.02	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	0.184	<0.020	<0.003	0.08	0.073	0.21	<0.003	0.68	0.368		0.599	0.48	0.197	0.564	0.546	0.349	0.24	0.179	0.146	0.302	0.266	0.323	0.257	0.165	0.069	0.09	
Antracen	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010			0.475						
As (Arsen)	µg/l	0.228	0.205	1.17	0.392	0.975	1.73	0.944	0.731	0.936	0.721	0.852	1.04	0.519	0.891	1.26	0.729	0.427	0.485	0.352	0.661		1.1	0.822	0.663	0.436	<2	
B (Bor)	µg/l	12.2	13	13.9	17.1	26.3	30.9	35.6	34.1	43.9	44.7	44.5	35.4	19.3	31.2	26.7	24.1	25.1	19.6	20.2	21.6	20.5	23.9	25.7	20.3	23.7	23.6	
Ba (Barium)	µg/l				63.4	58.3	82.2	58.2	182	147	168	128	81.6	60.9	65	61.7	67.9	63.6	48.9	54.9	60.6	66.6	71.4	81.9	80	82.5	86	
Benso(a)antracene	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Benso(a)pyren	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Benso(b)fluoranten	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Benso(ghi)perylene	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Benso(k)fluoranten	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Ca (Kalsium)	mg/l				72.9	110	122	136	171	138	148	133	129	85.5	110	120	118	112	88.9	88.2	97.8	104	108	116	103	112	120	
Cd (Kadmium)	µg/l	0.0108	0.0226	0.269	0.0155	0.0219	0.0564	0.0187	0.0119	0.0507	0.03	0.06	0.183	0.12	0.196	0.0571	0.134	0.222	0.113	0.0681	0.041	0.0878	0.0247	0.0269	0.0496	0.0203	0.026	
Co (Kobolt)	µg/l		0.0659	0.136	6.02	0.528	2.98	3.87	2.7	6.64	16	2.41	5.87	5.09	4.33	4.17	1.93	1.92	2.11	2.19	1.99	1.82	1.46	0.703	0.863			
Cr (Krom)	µg/l	0.0196	0.0265	1.45	0.0376	0.0502	<0.02	0.0374	0.201	<0.05	<0.05	<0.01	0.0639	0.0553	0.0452	0.0311	0.0427	<0.02	0.0499	0.0387	0.0388	0.0303	0.0527	0.0378	0.069	0.0319	0.0358	
Cu (Kopper)	µg/l	1.41	<0.001	10.3	1.22	1.27	0.619	0.232	<0.5	<0.5	<0.5	1.24	0.58	1.05	0.6	0.296	0.433	0.829	0.711	0.723	0.201	0.835	0.208	0.245	1.11	0.961	0.579	
Dekantering			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Dibenso(ah)antracene	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Fe (Jern)	mg/l	0.0216	0.0111	1.87	0.00799	0.0558	0.0339	0.0327	0.233	0.00763	0.0424	0.0111	0.112	0.0911	0.0211	0.013	0.0151	0.0115	0.0171	0.0208	0.0259	0.0192	0.0149	0.0323	0.0239	0.0564	0.0442	
Fenantren	µg/l		<0.020	<0.020	<0.020	<0.020													<0.020									
Filtering		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
Fluoranten	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Fluoren	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	0.017	<0.010	0.043	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.010	<0.010	<0.010	0.005	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Fraksjon >C10-C12	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	6.5	<5.0	11.4										<5.0									
Fraksjon >C10-C40	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0										<5.0									
Fraksjon >C12-C16	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	14.6	<5.0	<5.0										<5.0									
Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l	<35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14.6	<35	<35										n.d.									
Fraksjon >C16-C35	µg/l	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30										<30									
Fraksjon >C35-C40	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10										<10									
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	0.0264	<0.002	0.00279	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00245	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Indeno(123cd)pyren	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
K (Kalium)	mg/l		3.26	4.46	5.2	6.02	6.75	6.75	6.62	10.3	7.72	4.82	6.08	4.95	4.62	6.03	4.4	4.05	4.42	4.22	4.3	4.61	4.27	5.45	4.84			
Klorid (Cl)	mg/l	6.88	6.97	8	11	17	12	13	13	12.6	13	15	16	10.7	12.3	16.8	16.4	21.5	11.4	11.7	11	11.1	10.6	11.1	8.85	11.4	12	
Krysen	µg/l		<0.010	<0.010	<0.010	<0.010													<0.010									
Ledningsevne	mS/m	27	35	32	42	57	67	73	85	72.2	86.1	110	85	55.5	74.1	71.5	72.1	80.6	60.1	59	63	67.4	66.1	72.3	66.6	61.9	61.7	
Mg (Magnesium)	mg/l				7.4	10.6	11	13.2	16.1	14.8	16	26	19.7	10.2	16.2	13.6	14.2	17.9	11.9	11.4	12.8	15.5	12.2	15	14.4	9.46	11.5	
Mn (Mangan)	µg/l	<1	87.7	322	0.71	2.33	5280	3110	12800	7880	8400	1970	5400	1530	3680	3960	3040	2620	1770	2430	4270	3120	3490	2460	2530	920	1320	
Mo (Molybden)	µg/l				8.72	11.7	24.2	16.7	5.12	38.7	27.4	44.8	42.8	15.2	31.8	29.4	23.4	23.6	17.1	14.9	22	15.3	24.5	18.2	15.9	7.48	9.93	
Na (Natrium)	mg/l	2.57	3.5	3.52	5.68	6.45	6.1	6.08	6.8	13.7	12.8	31.8	23.2	13.2	21.1	11.3	14.7	24.5	14.1	13.8	12.6	11.7	9.96	14.4	13.2	9.24	10.8	
Naftalen	µg/l		0.043	<0.030	<0.030	<0.030													<0.030									
Ni (Nikkel)	µg/l	1.4	2.39	8.56	8.69	7.26	13.4	3.61	1.94	7.89	5.36	27.6	63.7	14.5	44	36.6	30.9	49.5	28.8	20.3	19.5	12.1	15.1	14.3	10.1	4.66	6.15	
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	3.92	2.69	1.68	0.879	0.115	0.038	0.032	0.048																			

													Prøver tatt oppstrøms i Nordtangenbekken														
30.11.15	07.01.16	04.02.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	12.10.16	13.12.16	03.03.17	30.05.17	12.10.17		ELEMENT	Benevning	24.02.14	31.03.14	09.05.14	06.06.14	18.06.14	07.07.14	09.10.14	06.01.15	25.02.15	25.03.15		
														Acenaften	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Acenaften	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
3.93	3.53	10.6	23.4	21.2	10.6	10.7	10.8	4.95	6.27	6.27	10.8	13		Al (Aluminium)	µg/l	8.23	9.42	11.5	16.7	9.45	9.9	9.65	4.91	4.68	5.74		
3.98	4.78	4.76	2.34	2.3	3.95	4.06	4.47	5.75	3.81	4.81	3.38	3.1		Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	1.69	2.41	2.76	3.8	4.1	4.1	3.79	3.88				
<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150		Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150				<0.150	<0.150	<0.150	<0.150		
														Ammoniak (NH3)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010		
0.068	0.155	0.068	0.131	0.05	<0.020	<0.020	0.027	0.122	<0.020	0.109	<0.020	0.013		Ammonium-N (NH4+)	mg/l	0.23	<0.020	0.015	0.016	0.012	<0.003	<0.020	<0.020	<0.040	<0.020		
														Antracen	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
0.349	0.555	0.433	0.366	0.263	0.327	0.399	0.374	0.54	0.25	0.31	0.335	0.34	1-3	As (Arsen)	µg/l	0.331	0.109	0.155	0.314	0.332	0.373	0.317	0.161	0.165	0.102		
16.6	18.5	18.8	<10	10.6	19.9	20	17.2	25.1	15.6	21.5	17	19		B (Bor)	µg/l	11.9	11.6	13	20.9	24.2	27.5	20.6	15.6	13.4	11.3		
75.6	84.1	67.9	42.7	43.9	75.1	66.5	67.5	79.7	67.5	71.7	69.3	52		Ba (Barium)	µg/l			44.8	77.4	86.8	99	77.8	79.7	73.5	59.2		
														Benso(a)antracen ^a	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Benso(a)pyren ^a	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Benso(b)fluorant ^a	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Benso(ghi)perylene	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Benso(k)fluorant ^a	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
103	120	120	58.4	61.5	94.7	97.5	101	148	107	132	90.2	73		Ca (Kalsium)	mg/l		0.00903	59.4	86.8	95.6	99.9	84.2	95	89.3	71.9		
0.0117	0.0217	0.0298	0.0312	0.0218	0.0115	0.0205	0.0285	0.0434	0.031	0.0573	0.0158	0.013		Cd (Kadmium)	µg/l	0.0133	0.0138	0.0113	0.0159	0.0153	0.0139	0.0137	0.013	0.0113	0.0103		
0.548	1.02	0.612	0.181	0.125	0.261	0.224	0.25	0.808	0.217	0.604	0.0897	0.097		Co (Kobolt)	µg/l	<0.001	<0.001	0.0291	0.0511	0.0488	0.0466	0.0579	0.0408	0.0476	0.0457		
0.0123	0.0414	0.0277	0.104	0.0485	0.0379	0.0712	0.0749	0.0252	0.0383	0.0476	0.0527	0.05	1-2	Cr (Krom)	µg/l	<0.01		0.0134	<0.01	0.0387	0.0492	5.69	0.0369	<0.01	<0.02		
0.581	0.535	0.586	0.964	0.847	0.899	0.956	0.81	0.574	0.776	0.726	1.13	1.2	1-4	Cu (Kopper)	µg/l	1.4		0.662	1.01	0.818	0.799	1.57	0.674	0.676	0.477		
														Dekantering			Ja		ja								
0.00521	0.0221	0.0243	0.0395	0.0803	0.0237	0.0289	0.0287	0.0096	0.00886	<0.02	0.0386	0.027		Dibenso(ah)antracen	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Fe (Jern)	mg/l	0.035	0.0228	0.0345	0.0293	0.011	0.00534	0.029	0.0119	0.0124	0.0138		
Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Fenantren	µg/l			<0.020	<0.020								
														Filtering		JA	JA		JA	Ja	Ja	Ja	JA	Ja	Ja		
														Fluorant	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
														Fluoren	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0077		Fosfat-P (ortofosfat-F)	mg/l	0.062	<0.010	0.006	0.02	0.015	0.017	<0.010	0.015	<0.010	<0.010		
														Fraksjon >C10-C12	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0									
														Fraksjon >C10-C40	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0									
														Fraksjon >C12-C16	µg/l	<5.0	<5.0	<5.0									
														Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.									
														Fraksjon >C16-C35	µg/l	<30	<30	<30									
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005		Fraksjon >C35-C40	µg/l	<10	<10	<10									
														Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
														Indeno(123cd)pyren ^a	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
4.58	4.47	4.34	4.8	3.42	5.12	4.52	4.36	4.63	4.44	5.09	5.07	5.2		K (Kalium)	mg/l			3.01	5.31	5.19	5.8	5.64	4.94	4.61	4.13		
10.4	11.7	12.1	6.88	7.11	10.3	10.3	11.8	14.6	11.5	34.7	10.6	10		Klorid (Cl ⁻)	mg/l	6.5	6.48	7	9	11	12	11.6	11.2	12.7	9.29		
														Kryser ^a			<0.010	<0.010									
50.8	64.7	63	33.4	33.5	51.5	57.2	67.6	88.7	59.8	81.1	48.5	42.4		Ledningsevne	mS/m	26	33.4	32	46	46	51	48.4	51.3	48.4	41.3		
7.26	11.8	12.1	3.99	4.09	7.9	10.9	11.8	24.3	9.41	19	5.87	4.8		Mg (Magnesium)	mg/l			2.44	3.91	4.55	5.42	4.35	4.51	4.19	3.35		
1020	1810	1350	86.5	103	404	307	335	1530	238	1130	48.8	29		Mn (Mangan)	µg/l	1	1.76	3.48	0.272	0.266	0.171	0.396	2.07	1.67	10.5		
5.8	7.33	7.38	3.84	2.98	5.98	6.94	5.75	10.6	5.18	7.25	5.16	3.4		Mo (Molybden)	µg/l			2.7	5.23	6.07	6.89	4.76	4.51	4.42	3.19		
6.5	9.37	10.2	4.8	4.54	7.62	9.46	9.87	19.2	7.1	14.6	5.69	4.4		Na (Natrium)	mg/l	2.17	3.17	3.12	3.97	4.27	4.62	4.34	4.35	4.24	3.87		
														Nattalen	µg/l		0.042	<0.030	<0.030								
2.89	5.33	3.95	1.38	1.44	2.19	3.05	2.49	6.62	3.07	6.46	1.36	1.5	2-4	Ni (Nikkel)	µg/l	1.28	0.665	0.62	0.932	0.834	0.757	1.01	0.84	<0.05	0.727		
2.44	2.01	1.41	2.36	2.89	2.84	1.26	1.4	0.358	3.51	1.43	2.32	3		Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	3.97	2.89	2.4	2.33	2.83	2.55	1.57	3.06	3.3	3.41		
3.47	3.27	2.68	2.99	6.65	4.28	1.83	2.05	1.28	6.39	2.52	3.96			N-total	mg/l	5.17	4.98	2.58	2.52	3.14	2.7	2.68	7.71	6.55	5.61		
3.82	2.17	2.62	23	9.93	6.09	6.58	7.49	2.17	6.2	14	10.8	< 300		P (Fosfor)	µg/l	0.01	0.01	7.69	17.8	16.3	16.8	12.3	14.3	13	10.2		
<0.01	<0.01	<0.01	0.0203	0.0139	<0.01	0.0147	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.010	< 0.010	1-2	Pb (Bly)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0102	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	
8.08	7.96	8.09	8.01	8.04	7.94	7.96	8.18	8.27	8.19	8.01	8.29	8.3		pH		7.5	8.2	8.38	8.3	8.4	8.4	8.25	8.2	8.2	8.2		
<0.010	0.032	0.089	0.165	0.028	0.022	<0.010	0.015	0.016	0.024	0.031	<0.050	0.056		P-total	mg/l	3.62	0.014	0.286	0.045	0.047	0.022	0.062	0.021	<0.010	0.018		
														Pyren	µg/l	<0.010	<0.010	<0.010									
18.5	31.6	30.1	13.4	13.4	25.5	27.4	49.1	60.3	31.6	63.1	18.1	16		S (Svovel)	mg/l	6.28			10.4	14.5	14.3	13.8	14	17	11.4		
														Sb	µg/l	0.152	0.113										
														Se	µg/l	<0.5	<0.5										
4.58	4.93	4.62	3.26	3.37	4.14	4.26	4.53	5.36	4.26	4.5	3.9	4000		Si (Silisium)	mg/l			3.48	4.36	4.52	4.9	3.92	3.97	3.76	3.68		
436	632	664	208	214	384	472	4																				

22.04.15	20.05.15	18.06.15	01.07.15	13.07.15	13.08.15	10.09.15	08.10.15	04.11.15	30.11.15	07.01.16	04.02.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	12.10.16	13.12.16	03.03.17	30.05.17	12.10.17	Tilstands- klasse	
18.1	27.9	9.66	14.3	13.6	14.3	18.4	9.77	4.86	7.53	4.01	5.53	24.5	21.9	13.1	16	15.2	4.14	3.63	4.34	10.9	13		
	2.28	3.64	3.94	4.18	4.1	3.5	3.76	4.35	3.46	3.73	3.82	2.08	2.16	3.32	3.55	4.18	4.56	3.44	3.6	3.08	3		
<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	0.18	<0.150	<0.150	<0.150			
<0.010	<0.010																						
<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.129	0.029	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.027	<0.020	0.0068		
0.157	0.192	0.219		0.324	0.277	0.339	0.327	<0.5	0.307	0.154	0.156	0.34	0.242	0.345	0.405	0.44	0.407	0.22	0.365	0.335	0.32	1-3	
<10	11.7	19.7	22.2	21.9	18.9	17	21.8	19.6	15.1	14.9	14.6	<10	<10	18.6	16.6	15.6	17.5	12.9	15.1	16.6	22		
31.9	39.5	74.8	83.2	87.3	73.9	61.4	87.5	92.8	70.5	79.4	73.8	40.2	40.4	73.3	70.7	61.3	80.4	67.5	74.6	69.1	52		
48.4	50.8	84	87.1	92	86.8	78.1	97.5	101	89.1	96.7	98.8	52.5	54.7	82.2	80.5	81.8	102	88.1	90.1	83	70		
0.00716	0.00584	0.00666	0.0137	0.0118	0.0101	0.0109	0.0129	0.0157	0.0157	0.0161	0.0103	0.0211	0.0142	0.0138	0.0137	0.0133	0.0141	0.0132	0.0163	0.013	0.011	2	
0.0465	0.0635	0.0713	0.0521	0.062	0.055	0.0838	0.0697	0.051	0.074	0.0609	0.0512	0.0792	0.0529	0.063	0.0596	0.0666	0.0589	0.0548	0.0501	0.0664	0.07		
0.0738	0.0693	0.111	0.0321	0.0365	0.031	0.0389	0.0469	0.0429	0.0533	0.0427	0.161	0.0875	0.0684	0.0422	0.022	0.0469	0.0544	0.0428	0.0446	0.047	0.054	1-5	
0.828	1.02	1.15	0.893	0.999	0.8	1.06	1.11	0.71	0.943	0.759	0.747	1.05	0.914	0.978	1.02	0.802	0.659	0.683	0.792	1.03	1.2	2	
0.0144	0.0192	0.0213	0.0246	0.0214	0.0253	0.0304	0.0225	0.0176	0.0229	0.00955	0.00936	0.03	0.0165	0.022	0.0291	0.03	0.0217	0.00943	0.0526	0.0417	0.027		
Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
<0.010	<0.010	<0.010	0.013	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.017	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.022	<0.010	0.0088		
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005		
2.47	2.67	4.72	5.03	5.29	4.35	4.04	5.63	5.18	4.49	4.62	4.86	4.83	3.29	5.15	4.38	4.07	4.84	4.31	5.7	5.17	5.2		
5.38	5.07	8.47	9.64	8.92	8.52	7.67	11.2	11.8	9.89	10.6	11.4	5.99	6.44	9.12	8.27	8.63	10.8	10.7	12.6	10.2	9.8		
28.9	29.3	46.6	48.1	50.1	46.7	42.4	50	49.9	43.7	49	48.5	27.6	29.1	38.2	41.4	43.4	54.4	49.1	49.4	43.4	37.3		
1.81	1.95	3.65	3.91	4.12	3.57	2.84	4.29	4.6	3.75	4.49	4.48	2.04	2.16	3.42	3.32	3.02	4.38	3.6	4.55	3.2	2.9		
2.88	0.469	0.361	0.279	0.69	0.196	2.02	1.73	1.01	9.38	8.26	0.857	1.95	1	0.813	0.378	2.01	1.02	8.31	3.38	3.88	1.8		
1.81	2.26	8.35	4.02	5.71	4.26	3.42	4.68	5.29	4.7	4.59	4.52	2.81	2.64	5	5.4	4.52	7.17	3.96	5.66	4.7	3.2		
2.8	2.81	4.19	4.35	4.38	4.26	3.92	4.67	4.86	4.18	4.3	4.6	2.91	3.01	4.11	3.9	4.05	4.84	4.29	4.59	4.2	3.5		
0.609	0.767	1.09	0.854	1	0.887	0.979	1.08	0.982	1.05	0.884	0.83	0.804	0.859	1.05	0.918	0.899	1.06	0.799	0.958	1.01	1.2	1-4	
2.55	3.4	3.35	2.76	2.58	1.9	2.03	3.71	3.37	3.15	3.81	3.22	2.5	3.14	3.34	1.61	1.7	1.7	3.87	2.94	2.59	3.2		
5.89	3.87	3.46	4.84	5.97	3.77	3.22	5.02	5.6	4.39	5.6	5.52	3.12	6.66	4.78	2.25	2.52	2.62	7.22	5.13	4.43			
56.3	12	14.7	13.1	17.3	13.7	10.6	10.2	7.92	11.6	8.13	10.2	30.3	12.4	14.6	15.4	15.1	7.01	7.53	25.3	11.9	< 300		
<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0124	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0161	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.010	1-2	
8.1	8.1	8.28	8.33	8.41	8.39	8.24	8.34	8.24	8.2	7.97	8.24	8.03	8.1	7.65	8.12	8.33	8.56	8.18	8.03	8.26	8.2		
0.055	0.067	0.025	0.028	0.02	0.033	0.038	0.016	0.013	0.013	0.037	0.034	0.127	0.066	0.36	0.03	0.027	0.011	<0.010	0.034	<0.050	0.049		
6.46	6.89	13.6	12.7	13.8	10.9	9.72	11.1	15.4	12.7	14.7	14.5	6.38	7.38	10.4	8.73	10.2	11.5	13.1	14.6	10.8	9.8		
3.18	3.37	4.07	4.4	4.52	4.56	4.52	4.93	4.63	4.21	4.4	4.03	3.3	3.3	4.04	4.1	4.37	4.46	4.09	3.76	3.87	4000		
136	152	294	316	332	295	237	331	346	271	314	323	143	154	254	249	229	320	258	298	242	210		
18.8	24.3	34.1	38.5	39.6	34.1	28.4	41.8	42.9	37.1	45.2	45	17.4	24.8	31.7	<0.060	31.8	36.7	37	46.5	30.2	32.3		
23.3	55.3	12.6	11.3	9.6	11.4	11.9	5.7	1.6	3.6	6.7	10.1	175	30.3	10.2	<5.0	9.1	<5.0	<5.0	7.6	20.4	20		
<0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<10		
2.59	3.05	3.1	4.63	3.19	3.27	3.18	3.33	3.47	2.83	2.85	3.11	3.21	3.1	2.96	3.71	3.15	3.21	2.49	4.11	4.34	7.5		
10.2	23.1	5.81	3.71	5.39	5.1	2.01	4.97	1.64	3.14	6.09	4.2	28.6	18.7	2.89	5.68	7.41	0.61	0.96	2.89	5.73			
1.72	1.82	2.8	4.9	6.14	4.45	3.54	5.73	6.88	5.67	5.77	7.02	2.2	2.44	4.99	5.01	4.08	6.86	4.78	6.65	5.2	3		
0.185	0.227	0.191	0.193	0.205	0.183	0.249	0.148	0.102	0.133	0.0954	0.0943	0.265	0.187	0.189	0.159	0.175	0.0761	0.0926	0.0888	0.179	0.16		
3.5	4.08	1.46	2.13	1.39	2.07	3.84	1.73	0.368	1.62	1.8	3.84	0.815	0.521	1.53	1.38	0.22	0.358	0.44	0.6	3.56	0.4	1-4	

Vedlegg 24.1

Element	Dato	Acenaften	Acenaften	Al (Aluminium)	Alkalinitet pH 4.5	Alkalinitet pH 8.3	Ammoniakk (NH3)	Ammonium-N (NH4-N)	Antracen	As (Arsen)	Ba (Barium)	B (Bor)	Benso(a)ant racen^	Benso(a)py ren^	Benso(b)flu oranten^	Benso(ghi) perylen	Benso(k)flu oranten^	Ca (Kalsium)
benevning		µg/l	µg/l	µg/l	mmol/l	mmol/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Vigga i blandsonen	16.01.14			18.3	3.35	<0.150	0.1	1.68		0.489	55.6	59.3						82
Vigga i blandsonen	11.02.14			27.9	2.53	<0.150	0.34	5.62										60.6
Vigga i blandsonen	31.07.14			24.6	3	<0.150	<0.003	0.015		0.356	49.9	21.1						68
Vigga i blandsonen	09.10.14			31.6	2.43	<0.150	<0.010	<0.020		0.228	32.1	15						56.8
Vigga oppstrøms blandsonen	16.01.14			19.6	2.37	<0.150	0.01	0.103										53
Vigga MIDT under forurensningshendelse	08.10.15			23.5	2.78	<0.150		0.073		0.283	60.3	21.2						71.4
MIDT	16.01.14			19.8	2.36	<0.150	0.01	0.153		0.142	26.1	11.7						52.4
MIDT	31.03.14			24.9	2.14	<0.150	<0.010	0.052										
MIDT	14.04.14	<0.010	<0.010	22.8	1.84	<0.150	<0.010	0.016	<0.010	0.187		<0.01	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	
MIDT	23.04.14				1.66	<0.150	0.01	0.093										
MIDT	09.05.14	<0.010	<0.010	22.7	2.05	<0.150	0.01	0.102	<0.010	0.182	18.5	10.6	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	42
MIDT	06.06.14	<0.010	<0.010	35.9	1.9	<0.150	<0.003	0.005	<0.010	0.292	21.8	11.9	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	44.9
MIDT	18.06.14			53	2.7	<0.150	0.015	0.46		0.294	38.2	16.8						62.5
MIDT	26.06.14	<0.010	<0.010	18.4	2.9	<0.150	0.011	0.26	<0.010	0.183	44.4	21	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	68.6
MIDT	22.08.14			31.5	2.56	<0.150	0.01	0.053		0.254	31.4	17.7						57.6
MIDT	08.09.14			144	2.9	<0.150	0.02	0.125		0.227	38.4	19.4						64.9
MIDT	17.09.14			14.8	2.97	<0.150	<0.010	<0.020		0.202	37.3	17.2						65.3
MIDT	27.10.14	<0.010	<0.010	20.4	2.3	<0.150	0.03	0.064		0.243	30.4	13.2	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	54.8
MIDT	17.11.14			21.8	2.37	<0.150	<0.010	0.048		0.187	27.1	12.3						55
MIDT	11.12.14			28.7	2.48	<0.150	0.02	0.224		0.342	30.3	15.9						57.7
MIDT	06.01.15			18.3	3.01	<0.150	0.02	0.336		0.153	34.7	17.9						67.5
MIDT	23.01.15			15.8	2.87	<0.150	0.04	0.621		0.194	38.4	16.8						66.7
MIDT	11.02.15			40.9	2.91	<0.150	0.05	0.634		0.148	18.1	39.5						67.1
MIDT	25.02.15			24.5		<0.150	0.04	0.503		0.147	40.9	15.3						61.7
MIDT	11.03.15			139	2.26	<0.150	0.02	0.224		0.344	32	12.8						50.2
MIDT	25.03.15			37.1		<0.150	0.01	0.058		<0.1	27.4	11						54.4
MIDT	10.04.15			28.5		<0.150	0.02	0.248		0.262	29.1	14.1						53.1
MIDT	22.04.15	<0.010	<0.010	27.9		<0.150	<0.010	0.06	<0.010	0.181	18.8	<10	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	40.8
MIDT	06.05.15			49.5	1.31	<0.150	<0.010	0.036		0.182	13	<10						28.9
MIDT	20.05.15			24.7	2.38	<0.150	0.01	0.038		0.176	24.4	13						52.3
MIDT	18.06.15			12.6	2.85	<0.150	<0.010	0.143		0.178	29.4	17.5						62.2
MIDT	01.07.15			12.8	2.94	<0.150		0.341		0.277	38.8	21.4						63.9
MIDT	13.07.15			15.2	3.03	<0.150		0.022		0.236	38.8	21.8						67.7
MIDT	29.07.15			14.6	2.77	<0.150		0.073		0.222	36.1	17.2						62.4
MIDT	13.08.15			17.8	2.8	<0.150		0.041		0.178	28.2	15.6						60.1
MIDT	10.09.15			21.1	2.61	<0.150		0.048		0.262	30.3	17						57.5
MIDT	23.09.15			25.4	2.51	<0.150		0.028		0.257	33.9	19.2						61.6
MIDT	08.10.15			15.1	2.74	<0.150		0.114		0.236	33.3	22.8						70.6
MIDT	22.10.2015			15.7	3.07	<0.150		0.747		0.164	43	23.5						75.9
MIDT	04.11.2015			11.5	3.21	<0.150		0.162		<0.8	42.3	19.8						76.4
MIDT	18.11.2015			19.4	2.85	<0.150		0.055		0.207	32	17.6						66
NM	24.05.14	<0.010	<0.010	12.1	2.2		<0.003	0.052	<0.010	0.188	29	14.5	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	50.3
NM	06.06.14	<0.010	<0.010	33.2	2		<0.003	0.007	<0.010	0.306	23.4	12.5	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	47.1
NM	18.06.14			39.7	2.8		0.013	0.51		0.317	43.6	19.7						65.7
NM	26.06.14			25.8	3		0.006	0.193		0.192	50.5	20.3						71.9
NM	07.07.14			12.3	2.9		<0.003	<0.003		0.269	50.7	22.9						71.1
NM	31.07.14			23.3	2.8		<0.003	0.005		0.184	51.5	22						69.2
NM	22.08.14			22.4	2.62	<0.150	<0.010	<0.020		0.26	33.8	16.8						58.5
NM	08.09.14			103	2.92	<0.150	<0.010	<0.020		0.255	40.9	19.3						65.4
NM	17.09.14			19.4	3.04	<0.150	<0.010	<0.020		0.188	39.7	18.3						67.4
NM	09.10.14			29.1	2.36	<0.150	<0.010	<0.020		0.251	33.1	14.8						54.4
NM	27.10.14			18.2	2.3		<0.004	0.053		0.263	33.3	12.7						55.8
NM	17.11.14			19.9	2.42	<0.150	<0.010	0.049		0.24	30.6	12.2						56
NM	11.12.14			17.4	2.79	<0.150	0.01	0.138		0.263	35.4	16.6						65.5
NM	06.01.15			15.1	3.08	<0.150	0.03	0.397		0.139	38.1	17.5						69.1
NM	23.01.15			17.1	3	<0.150	0.04	0.649		0.174	41	17.8						67.7
NM	11.02.15			37.5	2.95	<0.150	0.04	0.643		0.147	19	41.5						68.7
NM	25.02.15			16.6		<0.150	0.04	0.491		0.209	38.3	17.3						63.2
NM	11.03.15			31.4	2.34	<0.150	0.02	0.16		0.253	29.6	11.9						49.7
NM	25.03.15			36.5		<0.150	0.01	0.093		<0.1	31.3	11.5						55.4
NM	10.04.15			28.5		<0.150	0.01	0.112		0.224	29.5	12.5						53
NM	22.04.15			27		<0.150	<0.010	0.039		0.146	18.8	<10						40.1
NM	06.05.15			46.1	1.32	<0.150	<0.010	0.035		0.177	13.3	<10						29.6
NM	20.05.15			28.6	2.41	<0.150	<0.010	0.021		0.173	24.4	13.4						52.9
NM	18.06.15			11.5	2.81	<0.150	<0.010	0.104		0.175	35.4	18.1						63
NM	01.07.15			11	3.12	<0.150		0.293		0.293	42.4	20.7						67.2
NM	13.07.15			13.3	3.13	<0.150		0.046		0.235	42.5	21.2						69.6
NM	29.07.15			14.6	2.9	<0.150		0.135		0.239	41.2	18.2						65.1
NM	13.08.15			16.2	2.85	<0.150		0.034		0.195	31.4	17.3						64.1
NM	10.09.15			20.1	2.69	<0.150		0.046		0.286	33	17.1						59.9
NM	23.09.15			23.3	2.58	<0.150		0.022		0.251	37.1	18.6						62.9
NM	08.10.15			13.6	2.82	<0.150		0.102		0.188	37.9	22.7						73.4
NM	22.10.2015			14.5	3.28	<0.150		1		<0.2	48.6	24.3						79.1
NM	04.11.2015			9.4	3.34	<0.150		0.154		<0.7	47.6	20.8						79.8
NM	18.11.2015			16.8	2.94	<0.150		0.068		0.227	35.6	18.2						68.5
OM	15.01.14			19.6	2.29	<0.150	0.01	0.108		0.151	25.7	11.8						49.6
OM	31.03.14			24.6	2.11	<0.150	<0.010	0.066										
OM	14.04.14	<0.010	<0.010	24.3	1.81	<0.150	<0.010	0.024	<0.010	0.143		<0.01	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	
OM	09.05.14	<0.010	<0.010	20.7	2.01	<0.150	0.01	0.114	<0.010	0.185	17.2	<10	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	40.5
OM	24.05.14	<0.010	<0.010	14.7	2.1		0.003	0.099	<0.010	0.206	23.9	13.1	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	47.5
OM	06.06.14	<0.010	<0.010	35.4	1.8		<0.003	<										

Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Dekanterin g	Dibenso(ah) antracen^	Fe (Jern)	Fenantren	Filtrering	Fluoranten	Fluoren	Fosfat-P (ortofosfat-P)	Fraksjon >C10-C12	Fraksjon >C10-C40	Fraksjon >C12-C16	Fraksjon >C12-C35 (sum)	Fraksjon >C16-C35	Fraksjon >C35-C40	Hg (Kvikksølv)
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l		µg/l	mg/l	µg/l		µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
0.0158		1.58	0.749	Ja		0.002		JA										<0.002
0.0774		4.26	0.434	ja		0.00093		JA										<0.002
0.0262	0.0862	0.0987	1.29			0.0106		Ja			0.006							<0.002
0.0103	0.0732	0.0968	0.829			0.0439		Ja			<0.010							<0.002
0.0066		0.127	0.563	Ja		0.0251		JA										<0.002
0.0203	0.132	0.0843	1.04			0.00716		ja			<0.010							<0.002
0.0117	0.0686	0.0429	0.708	Ja		0.0203		JA			<0.010							<0.002
0.0109		0.103	<1	Ja		0.017		JA										<0.002
0.00854		0.134	<1		<0.010	0.0268	<0.020		<0.010	<0.010	0.009	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	0.00492
0.0125	0.0382	0.113	0.337		<0.010	0.0275	<0.020		<0.010	<0.010	<0.001	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0121	0.0362	0.133	0.65	ja	<0.010	0.0342	<0.020	JA	<0.010	<0.010	0.003	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0165	0.0383	0.196	0.698	ja		0.0225		Ja			0.004	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0281	0.0561	0.132	0.541	Ja	<0.010	0.0162	<0.020	Ja	<0.010	<0.010	0.002	<5.0	<50	<5.0	<35	<30	<10	<0.002
0.00757	0.058	0.101	0.639			0.0127		Ja			<0.010							<0.002
0.00857	0.0422	0.0481	0.587			0.0217		Ja			<0.010							<0.002
0.00638	0.0457	0.0687	0.598			0.0224		Ja			<0.010							<0.002
0.0109	0.0435	0.156	0.51	ja	<0.010	0.0166	<0.020	JA	<0.010	<0.010	<0.001	<5.0	<50	<5.0	<30	<10	n.d.	<0.002
0.0169	0.0662	0.153	0.556			0.0296		Ja			<0.010							<0.002
0.0149	0.0487	0.0401	0.505	JA		0.0167		JA			<0.010							<0.002
0.0119	0.0639	0.0726	0.508			0.0256		JA			<0.010							<0.002
0.00975	0.0737	0.137	0.574			0.0228		JA			<0.010							<0.002
0.0183	0.0926	0.14	0.483			0.0211		Ja			<0.010							<0.002
0.0137	0.117	0.154	0.723			0.0231		nei			<0.010							<0.002
0.04	0.236	0.186	1.07			0.206		Ja			0.015							<0.002
0.0065	0.0719	0.0589	0.4			0.0146		Ja			<0.010							<0.002
0.0386	0.0691	0.153	1.65			0.0215		Ja			<0.010							<0.002
0.011	0.0773	0.19	0.662	ja	<0.010	0.0205	<0.020	Ja	<0.010	<0.010	<0.010	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0129	0.0466	0.258	0.651	ja		0.0412		Ja			<0.010							<0.002
0.0148	0.0607	0.146	0.681			0.0162		Ja			<0.010							<0.002
0.0139	0.0434	0.0483	0.657			0.0268		Ja			<0.010							<0.002
0.0171	0.0461	0.0874	0.575			0.0299		Ja			<0.010							<0.002
0.0102	0.0538	0.0871	0.634			0.0273		Ja			<0.010							<0.002
0.013	0.0455	0.0964	0.642			0.0361		JA			<0.010							<0.002
0.00992	0.0416	0.1	0.528			0.0253		Ja			<0.010							<0.002
0.0086	0.0551	0.141	0.806			0.0187		JA			<0.010							<0.002
0.0133	0.102	0.231	1.09			0.0322		Ja			<0.010							<0.002
0.0109	0.0753	0.0902	0.685			0.0241		Ja			<0.010							<0.002
0.0153	0.0665	0.0364	1.03			0.0218		Ja			<0.010							<0.002
0.0132	0.0552	0.0694	0.746			0.0365		Ja			<0.010							<0.002
0.0104	0.0649	0.11	0.6			0.0295		Ja			<0.010							<0.002
0.0108	0.033	0.076	0.569	ja	<0.010	0.032	<0.020	Ja	<0.010	<0.010	0.004	13.7	192	34.2	154	120	24	<0.002
0.0126	0.0395	0.148	0.72	ja	<0.010	0.0367	<0.020	JA	<0.010	<0.010	0.004	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.016	0.0415	0.155	0.773			0.0302		Ja			0.005							<0.002
0.0259	0.0597	0.274	0.694			0.0302		Ja			0.003							<0.002
0.00974	0.0349	0.0851	0.664			0.0175		Ja			0.005							<0.002
0.0289	0.0689	0.0851	0.865			0.0174		Ja			0.006							<0.002
0.00718	0.0493	0.081	0.59			0.0197		Ja			<0.010							<0.002
0.00875	0.0393	0.0474	0.76			0.0347		Ja			<0.010							<0.002
0.00843	0.0458	0.0525	0.58			0.0435		Ja			<0.010							<0.002
0.0104	0.0633	0.103	1.07			0.0478		Ja			<0.010							<0.002
0.0122	0.0566	0.158	0.56			0.0172		JA			0.001							<0.002
0.0161	0.08	0.143	0.567			0.0327		Ja			<0.010							<0.002
0.0136	0.075	0.0856	0.431	JA		0.0352		JA			<0.010							<0.002
0.0107	0.0601	0.057	0.487			0.0306		JA			<0.010							<0.002
0.0096	0.0733	0.145	0.517			0.0227		JA			<0.010							<0.002
0.0196	0.102	0.118	0.529			0.0267		Ja			<0.010							<0.002
0.0187	0.108	0.11	0.573			0.0432		Ja			<0.010							<0.002
0.0155	0.0713	0.0854	0.715			0.0249		Ja			0.017							<0.002
<0.004	0.0778	0.0324	0.366			0.0218		Ja			<0.010							<0.002
0.0219	0.0707	0.0727	1.93			0.0218		Ja			<0.010							<0.002
0.0103	0.0675	0.166	0.836			0.0223		Ja			<0.010							<0.002
0.0148	0.0527	0.231	0.619	ja		0.0435		Ja			<0.010							<0.002
0.0101	0.0623	0.128	0.826			0.0222		Ja			<0.010							<0.002
0.0101	0.0521	0.086	0.679			0.0391		Ja			<0.010							<0.002
0.015	0.0488	0.0779	0.599			0.0456		Ja			<0.010							<0.002
0.0117	0.07	0.0758	0.881			0.0593		Ja			<0.010							<0.002
0.014	0.0629	0.0826	0.667			0.0546		JA			<0.010							<0.002
0.0122	0.0582	0.081	0.57			0.0419		Ja			<0.010							<0.002
0.00723	0.0686	0.139	0.776			0.0221		JA			<0.010							<0.002
0.0112	0.1	0.17	1.07			0.0338		Ja			<0.010							<0.002
0.00829	0.0849	0.085	0.668			0.0312		Ja			<0.010							<0.002
0.0156	0.0555	0.0497	1.2			0.0305		Ja			<0.010							<0.002
0.0139	0.0779	0.0637	0.489			0.0622		Ja			<0.010							<0.002
0.0101	0.0751	0.107	0.602			0.0487		Ja			<0.010							<0.002
0.0058	0.0509	0.12	0.409	Ja		0.0207		JA										<0.002
0.0107		0.0995	<1	Ja		0.0242		JA										<0.002
0.0112		0.133	<1		<0.010	0.0281	<0.020		<0.010	<0.010	0.002	<5.0	<50	<30	n.d.	<10	<50	0.00692
0.0118	0.0382	0.108	0.285		<0.010	0.0308	<0.020		<0.010	<0.010	0.003	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0121	0.029	0.0893	0.714	ja	<0.010	0.0248	<0.020	Ja	<0.010	<0.010	0.003	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0102	0.0385	0.151	0.564	ja	<0.010	0.0366	<0.020	JA	<0.010	<0.010	0.006	<5.0	<50	<5.0	n.d.	<30	<10	<0.002
0.0182	0.0355	0.071	0.5			0.0237		Ja			0.006							<0.002
0.0228	0.0478	0.0248	0.506	ja	<0.010	0.0177	<0.020	Ja	<0.010	<0.010	0.002	<5.0	<50	6.7	<35	<30	<10	<0.002
0.0112	0.031	0.0667	0.621			0.012		Ja			0.005							<0.002
0.0151	0.0499	0.0841	0.617			0.0215		Ja			0.01							<0.002
0.00553	0.0492	0.0806	0.633			0.0143		Ja			<0.010							<0.002

Si (Silisium) mg/l	Sr (Strontium) µg/l	S-total mg/l	Sulfat (SO4) mg/l	Sum PAH carcinogen e^ µg/l	Sum PAH- 16 µg/l	Suspendert stoff mg/l	Th (Thorium) µg/l	TOC mg/l	Turbiditet FNU	U (Uran) µg/l	V (Vanadium) µg/l	Zn (Sink) µg/l
4.89	1260	31.6	86				<0.02	2.75		6.7	1.26	1.44
			126			821	<0.02	0.98	1020	18.8	4.76	
2.92	397		40			61	<0.02	4.4	28	1.7	0.438	2.12
2.86	297		37			25.8	0.0534	5.42	21.6	1.08	0.187	3.2
			23.1				<0.04	2.5		1.02	0.0963	
3.28	450		41.6			299	<0.02	3.57	205	3.34	0.186	1.6
2.89	267	8.79	23.8				<0.02	2.65		1.1	0.093	4.14
			21.9	n.d.	n.d.	11.3	<0.02	2.79	17.1	0.688		
			17	n.d.	n.d.	7.6	<0.02	3.2	0.95	0.584		
		5.34	16			6.8			3			
2.19	198	6.82	18	n.d.	n.d.	2.3	<0.02	2.6	0.9	0.766	0.113	3.79
2.44	209		26	n.d.	n.d.	18	<0.02	5.2	2	0.913	0.135	4.27
2.75	321		36			2.9	<0.02	2.2	4.5	1.71	0.203	4.51
2.98	376		42	<0.0350	<0.0950	2.9	<0.02	2.4	1.7	1.89	0.113	6.05
2.41	308		32.8			4.6	<0.02	3.05	4.58	1.17	0.206	2.84
1.78	339		39			5	0.0203	2.6	2.41	1.37	0.161	1.38
2.62	345		35.5			3	<0.02	3	3.02	1.22	0.0977	4.06
2.65	307		27	n.d.	n.d.	8.3	<0.02	5.1	1.4	0.818	0.158	2.49
2.83	287		28			7.8	<0.02	3.53	2.42	0.898	0.141	3.69
2.81	294		31.4			14.5	<0.02	2.55	2.96	1.16	0.286	2.36
3.15	357		37.7			4.3	<0.02	2.04	3.71	1.64	0.0957	5.02
3.32	355		43.3			3.1	<0.02	2.44	3.22	2.71	0.242	3.57
3.15	361		54.5			7.1	<0.02	2.06	4.12	4.93	0.364	3.79
2.95	337		0.284			86.9		2.21	36.5	2.94	0.259	2.16
2.2	283		31.3			16.9	<0.02	3.02	7.96	4.28	0.288	14.2
2.55	304		31.8			5.4	<0.04	2.78	1.94	0.928	0.0748	1.81
2.42	309		31.6			26.5	<0.02	2.35	6.24	4.3	0.539	5.14
2.28	212		18	n.d.	n.d.	11.5	<0.04	3.03	5.65	0.848	0.219	3.82
1.9	135		13.3			63.6	<0.02	4.35	27.1	0.426	0.214	5.38
2.15	281		26.1			10.3	<0.02	3.57	4.36	1.68	0.167	2.05
2.09	359		34.9			<5.0	<0.02	2.49	2.09	1.74	0.138	6.15
1.92	370		36			5.1	<0.02	3.79	2.8	1.96	0.213	4.18
2.77	387		41.9			<5.0	<0.02	2.48	2.63	1.75	0.186	3.01
2.78	340		41.5			5.1	<0.02	2.75	2.29	1.59	0.126	5.67
2.69	346		35.6			<5.0	<0.02	2.69	1.34	1.96	0.133	3.32
2.48	324		30.6			5.4	<0.02	3.22	2.79	1.7	0.136	3.5
2.85	363		35.6			8.9	<0.02	4.77	4.34	1.72	0.185	6.98
3.22	436		44.7			<5.0	<0.02	2.74	1.9	3.28	0.108	1.96
3.4	422		37			2.1	<0.02	2.02	0.88	3.14	0.126	5.57
3.06	400		22.1			<1.0	<0.02	2.71	1.04	2.8	0.0727	2.57
3.01	345		34			<5.0	<0.02	3.34	0.85	2.29	0.0983	3.04
1.99	232		26	n.d.	n.d.	4.6	<0.02	2.8	1.2	1.15	0.106	3.94
2.55	218		28	n.d.	n.d.	11	<0.02	5	1.8	1.14	0.156	4.27
2.85	333		37			<0.2	<0.02	2.2	1.6	2.31	0.188	3.27
2.95	394		45			3.2	<0.02	2.7	1.6	2.42	0.12	5.15
2.96	398		42			10	<0.02	2.7	3	2.26	0.147	1.11
3.07	407		40			20	<0.02	4	5.1	1.74	0.161	4.17
2.36	313		33.4			8.1	<0.02	3.04	4.14	1.32	0.147	3.89
1.76	336		38.7			2.4	<0.02	2.87	1.47	1.62	0.123	1.6
2.16	362		38.8			2	<0.02	2.8	3.75	1.64	0.0992	3.8
2.73	276		35.4			24.2	0.0459	5.42	15.9	1.31	0.193	3.41
2.73	308		27			8	<0.02	5.3	1.5	0.947	0.143	3.42
2.91	287		28.9			6.6	<0.02	3.55	2.41	1.1	0.12	3.23
3.18	326		35.1			8.8	<0.02	2.79	2.2	1.67	0.121	2.94
3.22	355		39.4			3.6	<0.02	2.07	2.69	1.99	0.0942	6.45
3.38	356		42.3			4.6	<0.02	2.37	3.67	3.02	0.25	8.8
3.21	368		58.4			5.8	<0.02	2.05	2.85	4.88	0.259	4.86
2.98	343		42.4			10.1	<0.02	2.41	3.88	3.37	0.215	3.81
2.19	271		27.9			16.7	<0.02	3.06	8.99	2.95	0.128	1.85
2.59	304		35.4			4.7	<0.04	2.86	2.19	1.19	0.0695	1.31
2.37	286		27.3			19.7	<0.02	2.51	4.9	2.31	0.281	5.13
2.29	206		17.6			10.8	<0.04	3.09	5.61	0.747	0.23	5.24
1.96	135		13			78.8	<0.02	4.68	28.2	0.473	0.171	5.84
2.24	274		25.4			8.8	<0.02	3.54	5.3	1.41	0.179	2.29
2.13	348		33			<5.0	<0.02	2.47	1.19	1.88	0.122	6.1
2	374		36.5			<5.0	<0.02	3.42	2.36	2.31	0.139	3.11
2.86	383		39.4			<5.0	<0.02	2.54	2.32	2.1	0.15	3.43
2.92	355		44.3			<5.0	<0.02	2.8	2.26	2.01	0.133	9.38
2.84	376		36.6			<5.0	<0.02	2.73	2.91	2.39	0.124	5.13
2.65	329		29.3			5.6	<0.02	3.21	2.73	1.83	0.137	4.53
3.04	351		32.2			9.7	<0.02	4.68	3.92	1.7	0.194	3.19
3.4	422		44.3			<5.0	<0.02	2.76	2.19	3.21	0.122	2.52
3.54	428		39.3			1.2	<0.02	2.19	0.76	3.64	0.119	5.97
3.2	409		42.8			<1.0	<0.02	2.81	1.36	3.23	0.06	2.13
3.11	353		35.4			<5.0	<0.02	3.25	1.04	2.6	0.111	2.83
		8.56	22.5				<0.02	2.56		0.979	0.0751	2.3
			21.6	n.d.	0.046	<5.0	<0.02	2.96	5.21	0.657		
			17	n.d.	n.d.	12	<0.02	3.4	1.7	0.467		
2.11	188	6.55	18	n.d.	n.d.	1.7	<0.02	2.6	1.3	0.716	0.0769	6.17
1.78	220		23	n.d.	n.d.	2.6	<0.02	3.2	1.5	0.809	0.0902	3.13
2.39	204		25	n.d.	n.d.	12	<0.02	4.9	1.3	0.791	0.13	3.41
2.72	309		35			1.3	<0.02	2.1	1.1	1.64	0.113	3.37
2.93	359		41	<0.0350	<0.0950	1.9	<0.02	2.3	0.9	1.77	0.0849	5.6
2.88	366		39			3.3	<0.02	2.4	0.75	1.64	0.0948	4.48
2.87	378		41			1.8	<0.02	3.5	0.8	1.26	0.133	3.74
2.3	297		31.5			2.1	<0.02	3.18	1.92	0.984	0.109	4.87
1.85	324		37.3			1.9	0.107	2.89	1.02	1.35	0.101	2.06
2.28	345		34.9			8.7	<0.02	2.74	4.02	1.21	0.0928	3.85
2.8	284		35.4			7.8	0.0716	5.93	6.85	0.944	0.149	2.75
2.62	300		25			8.7	<0.02	5.2	1.3	0.739	0.133	2.66
2.78	275		25.1			5.8	<0.02	3.64	2.85	0.839	0.127	4.59
3.07	309		32.8			7	<0.02	2.74	2.39	1.09	0.0856	2.61
3.13	334		34.6			5.4	<0.02	2.17	3.61	1.44	0.0673	4.1
3.15	323		34.9			1.2	<0.02	2.61	1.57	1.33	0.0755	4.12
3.11	315		35.8			1.9	<0.02	2.13	1.02	1.5	0.056	4.1
2.85	302		33.2			1.7	<0.02	2.43	1.08	1.22	0.0761	3.85
2.13	251		21.1			15.6	<0.02	2.88	8.68	0.7	0.114	1.83
2.45	288		44.4			5.7	<0.04	2.72	2.74	0.85	0.078	3.43
2.28	271		23.2			16.9	<0.02	2.79	5.7	0.775	0.133	3.71
2.25	202		16.4			9.9	<0.04	3.02	4.74	0.471	0.109	5.92
1.89	132		12.8			55	<0.02	4.32	23.8	0.396	0.165	6.06
2.11	261		22.3			8	<0.02	3.48	4.99	0.654	0.117	2.21
1.96	325		29.3			<5.0	<0.02	2.82	1.08	0.989	0.078	5.49
1.76	346		30.9			<5.0	<0.02	3.46	0.81	1.53	0.0905	3.51
2.65	350		31.5			<5.0	<0.02	2.76	0.98	1.49	0.125	2.78
2.7	323		35.3			5.4	<0.02	2.88	2.03	1.2	0.14	5.74
2.6	318		29.6			<5.0	<0.02	2.76	1.82	1.05	0.125	4.59
2.39	297		25.6			8	<0.02	3.24	3.86	0.922	0.12	3.22
2.76	314		25.6			9.7	<0.02	4.68	4.42	0.853	0.179	3.52
3.18	360		33.4			<5.0	<0.02	3.01	0.27	1.4	0.0903	2.57
3.29	379		31.9			<1.0	<0.02	2.08	0.84	1.6	0.106	4.37
3.02	370		37			<1.0	<0.02	3.05	0.62	1.48	0.0812	2.33
2.97	315		27			<5.0	<0.02	3.83	0.74	1.18	0.0994	3.74

Vedlegg 24.2

	Vigga O	Vigga O	Vigga O DYN	Vigga O HOL	Vigga O HOL	Vigga HOL	Vigga DYN	Vigga HOL	Vigga DYN	Vigga HOL	Vigga DYN	Vigga HOL	Vigga HOL	Vigga DYN	Vigga DYN	Vigga HOL	Vigga O Vøien	VIG-O	VIG-O
	07.01.16	04.02.16	02.03.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	03.06.16	14.07.16	14.07.16	17.08.16	17.08.16	14.09.16	12.10.16	22.11.16	13.12.16	13.12.16	03.03.17	12.10.17	21.11.17
Filtrering	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Ca (Kalsium) mg/l	68.9	69.6	67.2	38.2	43.6	54.3	55.1	42	44.5	55.1	56.6	66	67.6	61.3	58.6	57.8	57	56.0	67
Fe (Jern) mg/l	0.0278	0.0306	0.0412	0.0317	0.0245	0.0217	0.0211	0.0682	0.0647	0.032	0.0302	0.0455	0.0386	0.0101	0.0245	0.0244	0.0226	0.030	0.025
K (Kalium) mg/l	2.43	2.63	2.3	2.12	1.58	2	1.99	1.56	1.63	1.92	1.95	2.46	2.47	2	1.94	1.94	2.96	2.8	2.6
Mg (Magnesium) mg/l	4.61	4.59	4.09	2.2	2.43	3.02	3.19	2.3	2.51	3.13	3.24	3.96	4.3	3.61	3.47	3.34	3.97	4.0	4.8
Na (Natrium) mg/l	6.72	9.09	7.34	3.78	3.52	5.04	5.05	5.09	5.33	5.32	5.51	8.34	8.62	6.04	5.62	5.5	11.6	4.8	7.1
Al (Aluminium) µg/l	15.6	19.6	21.1	25.3	32	17.4	16	32.7	30.3	22.3	21.2	24.2	17.5	85	25.3	26.7	16	20.0	15
As (Arsen) µg/l	0.147	0.209	<0.3	0.216	0.222	0.22	0.228	0.286	0.332	0.252	0.273	0.154	0.216	0.35	0.188	0.188	0.238	0.2	0.16
Ba (Barium) µg/l	32.1	33.6	28.9	18.7	18.8	23.9	25.2	19.2	20.4	23.7	24.9	33	32.3	27.4	24.8	23.9	29.3	28.0	28
Cd (Kadmium) µg/l	0.0104	0.0103	0.0106	0.0084	0.0188	0.0179	0.00737	0.00918	0.0134	0.0125	0.0138	0.00319	0.00742	0.0112	0.00972	0.0117	0.0107	0.01	0.007
Co (Kobolt) µg/l	0.0668	0.0676	0.0865	0.0649	0.0496	0.0394	0.0326	0.0458	0.0392	0.053	0.0515	0.0198	0.0394	0.0744	0.0501	0.0611	0.0537	0.052	0.054
Cr (Krom) µg/l	0.0864	0.0267	0.0906	0.16	0.178	0.119	0.107	0.277	0.202	0.121	0.111	0.0307	0.0628	0.148	0.0732	0.0867	0.0425	0.12	0.066
Cu (Kopper) µg/l	0.463	0.574	0.413	0.662	0.687	0.537	0.562	0.609	0.671	0.581	0.478	0.557	0.502	0.656	0.414	0.4	0.687	0.7	0.41
Hg (Kvikksølv) µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00302	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0,005	<0,005
Mn (Mangan) µg/l	15.1	10	17.6	3.65	1.74	0.719	0.728	0.989	0.886	4.47	3.52	<3	3.44	8.61	6.06	13.1	7.7	1.8	8
Mo (Molybden) µg/l	2.67	2.9	3.12	0.884	1.12	2.14	1.99	2.62	2.55	2.64	2.87	3.89	4.61	1.79	2.28	2.34	2.24	1.9	2.1
Ni (Nikkel) µg/l	1.79	1.88	1.91	2.05	2.01	1.94	1.77	1.86	1.8	1.9	2.02	2.04	1.75	2.1	1.71	1.78	1.65	2.1	1.6
P (Fosfor) µg/l	6.77	9.85	9.45	18	5.97	16.9	12.7	16.6	18.3	3.52	3.75	8.41	8.79	7.61	5.63	4.9	18.3	<0,30	12
Pb (Bly) µg/l	<0.01	0.0262	<0.01	0.0195	0.0107	0.0248	<0.01	0.0258	0.0212	<0.01	<0.01	0.0498	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0	<0,010
Si (Silisium) mg/l	3.38	3.25	3.25	2.05	2.15	2	2.02	2.34	2.41	2.47	2.5	2.73	2.88	2.7	2.9	2.91	2.52	2.6	3.2
Sr (Strontium) µg/l	328	329	302	171	190	244	251	178	190	244	254	303	307	274	259	254	268	290	290
Zn (Sink) µg/l	6.58	5.01	6.41	2.56	5.86	1.97	1.98	2.65	1.15	1.89	1.84	2.01	2.44	1.69	2.34	2.62	2.59	1.1	1.3
V (Vanadium) µg/l	0.076	0.0725	0.0834	0.122	0.12	0.115	0.112	0.133	0.15	0.127	0.121	0.106	0.0595	0.101	0.086	0.0809	0.102	<0,020	<0,020
B (Bor) µg/l	14.5	15.8	12.8	<10	<10	11.9	12.3	<10	<10	<10	<10	12.2	15.3	13.4	11.5	10.8	10.3	13.3	9.8
Th (Thorium) µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0,10	<0,010
U (Uran) µg/l	1.31	1.49	1.49	0.431	0.632	0.995	1.04	0.797	0.82	0.983	1	1.67	1.66	0.993	1.05	1.04	1.24	1.2	1.1
TOC mg/l	2.39	2.76	2.65	3.01	3.2	2.74	2.58	3.84	3.89	3.16	2.98	0.5	2.44	3.44	2.6	2.6	3.17	5.8	3.1
Alkalinitet pH 4.5 mmol/l	2.76	2.75	2.82	1.62	1.76	2.32	2.38	1.8	1.85	2.46	2.47	2.74	2.97	2.5	2.46	2.32	2.31		2.6
Alkalinitet pH 8.3 mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-47.0	0
Ledningsevne mS/m	38.1	39.3	35.6	120	24	28	28.2	23.7	25.1	31.8	32.4	38.6	39.6	36.9	33.9	33.4	36.7	34.2	35.7
Turbiditet FNU	1.39	2.83	0.87	14.6	5.65	1.41	1.5	1.11	0.96	1.87	0.79	0.47	0.66	2.61	1.8	0.77	0.88		
Suspendert stoff mg/l	<5.0	<5.0	<5.0	32.4	11.2	<5.0	8.6	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	6.8	<5.0	<5.0	<5.0	21.0	4.8
S (Svovel) mg/l	10.9	10.9	9.63	5.58	5.82	7.95	8.4	6.87	7.27	9.47	9.74	11.7	11.2	9.18	9.39	9.22	10.5	10.0	12
N-total mg/l	4.68	4.29	3.58	2.39	3.11	2.81	2.68	1.3	1.48	1.83	1.88	3.7	3.17	3.45	4.21	4.34	3.31		
P-total mg/l	0.031	0.022	<0.010	0.066	0.019	0.018	0.016	0.012	0.011	<0.010	0.012	<0.050	0.01	0.034	<0.010	<0.010	0.017	0.03	<0,30
pH	7.78	7.8	8.05	7.83	7.83	7.7	7.79	7.64	7.76	7.98	8.01	7.96	8.44	8.05	7.89	7.96	7.85	8.00	7.9
Klorid (Cl-) mg/l	11	14.3	11.8	6.16	5.69	6.94	6.95	6.58	6.84	7.24	7.24	10.5	10.8	10.6	8.79	8.65	18.9	8.9	11
Sulfat (SO4) mg/l	34.7	34.4	29.4	15.1	18.7	21.4	22.2	20.8	21	26.9	26.9	32.5	33.3	28.5	26.3	25.6	31.7	33.7	35.1
Nitrat-N (NO3-N) mg/l	2.95	2.61	2.13	1.96	1.55	1.81	1.92	1.08	1.12	1.2	1.25	1.59	1.94	2.05	1.89	1.77	1.95	2.700	3.6
Fosfat-P (ortofosfat-P) mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.013	0.005	0.0058
Ammonium-N (NH4-N) mg/l	0.34	0.376	0.419	0.074	0.046	0.116	0.06	0.022	<0.020	0.192	0.136	<0.020	0.178	0.176	0.288	0.297	0.262	0.026	0.17
Løst organisk karbon (DOC)																		5.7	3.1

	m Vigga 30m													Vigga 30	
	nedstrøm	N utløp	N Vøien	N Vøien	N Vøien	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	Vigga 30M	M	VIG-N
	07.01.16	04.02.16	02.03.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	14.09.16	12.10.16	22.11.16	13.12.16	03.03.17	30.05.20	12.10.17
Filtrering	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Ca (Kalsium) mg/l	71.1	73.1	67.4	39.5	45.1	59.9	48.7	59.9	74	74.3	64.4	62.8	58.5	66.7	59.0
Fe (Jern) mg/l	0.0247	0.0278	0.0292	0.0305	0.0213	0.0158	0.036	0.0257	0.0288	0.0226	0.012	0.0238	0.0229	0.0161	0.031
K (Kalium) mg/l	2.65	2.99	2.56	2.51	1.78	2.36	2.02	2.2	3.01	2.87	2.26	2.13	3.14	3.33	3.0
Mg (Magnesium) mg/l	4.96	5.16	4.56	2.79	2.95	3.87	3.18	3.87	5.27	5.27	4.27	4.05	4.37	4.53	4.3
Na (Natrium) mg/l	8.2	11.3	8.2	4.77	4.34	6.2	6.47	6.38	10.1	9.84	6.71	6.51	12.5	7.7	5.1
Al (Aluminium) µg/l	14.4	17.1	18	23.5	28	14.8	22.7	18.9	12.5	9.97	78.1	18.4	15.5	21.3	21.0
As (Arsen) µg/l	0.145	0.288	<0.3	0.235	0.204	0.232	0.31	0.263	0.0756	0.172	0.327	0.193	0.235	0.212	0.2
Ba (Barium) µg/l	33.4	34.5	31.3	19.3	19.5	28.6	24.6	27.4	40	38.8	29.7	27.7	29.4	25.9	29.0
Cd (Kadmium) µg/l	0.0108	0.0124	0.0118	0.0115	0.0142	0.00797	0.0102	0.0126	0.00497	0.00752	0.0113	0.0103	0.0125	0.00792	0.01
Co (Kobolt) µg/l	0.0709	0.0654	0.0646	0.0675	0.045	0.0398	0.0464	0.0582	0.034	0.038	0.0845	0.0545	0.0652	0.0645	0.059
Cr (Krom) µg/l	0.102	0.0928	0.0944	0.187	0.147	0.0809	0.158	0.096	0.0463	0.0552	0.163	0.101	0.0786	0.106	0.13
Cu (Kopper) µg/l	0.485	0.584	0.52	0.782	0.676	0.635	0.694	0.536	0.529	0.41	0.573	0.413	0.731	0.826	0.8
Hg (Kvikksølv) µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00318	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0,005
Mn (Mangan) µg/l	13.6	9.49	11	2.8	1.42	0.472	0.679	2.81	5.01	4.85	6.13	8.02	8.06	2.31	1.9
Mo (Molybden) µg/l	4.81	5.7	3.92	2	1.75	2.79	3.36	2.96	4.18	3.45	2.61	2.59	2.76	4.12	1.7
Ni (Nikkel) µg/l	2.33	2.18	2.73	2.31	2.41	2.14	2.34	2.65	3.03	1.61	2.68	1.75	2.54	2.82	2.7
P (Fosfor) µg/l	6.84	9.78	8.44	21	4.66	7.86	19.6	7.4	6.03	4.45	8.1	5.24	19.5	11.2	<0,30
Pb (Bly) µg/l	<0.01	0.0269	<0.01	0.0222	<0.01	<0.01	0.0154	<0.01	0.0379	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0
Si (Silisium) mg/l	3.39	3.29	3.05	2.07	2.17	2.26	2.37	2.57	2.79	2.75	2.7	2.94	2.51	3.38	3
Sr (Strontium) µg/l	363	378	325	202	216	288	234	290	380	352	314	290	294	316	310
Zn (Sink) µg/l	4.63	4.06	5.48	2.04	3	3.15	2.85	1.6	1.73	2.74	1.63	1.91	2.44	3.06	1.2
V (Vanadium) µg/l	0.0939	0.0925	0.0911	0.149	0.112	0.116	0.178	0.135	0.0944	0.0605	0.113	0.0683	0.109	0.153	<0,020
B (Bor) µg/l	16.1	17.9	14.3	<10	<10	17.1	11.5	15.3	20.4	18.6	15.1	12.3	14	16.8	15.0
Th (Thorium) µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0,10
U (Uran) µg/l	2.35	2.96	2.44	1.09	1.31	2.02	1.77	2.01	3.06	2.28	1.97	1.54	2.15	4.9	1.5
TOC mg/l	2.38	2.87	2.16	3.03	3.19	2.64	3.64	2.95	0.57	2.28	3.14	2.51	3.26	3.81	6.8
Alkalinitet pH 4.5	2.93	3	2.9	1.6	1.82	2.44	2.03	2.55	2.98	3.13	2.52	2.5	2.32	2.37	
Alkalinitet pH 8.3	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-44.8
Ledningsevne mS/m	40	41.3	38.6	22.3	26.1	30.6	28.7	34.9	43.9	44.9	37.5	36.8	36.1	34.2	35.6
Turbiditet FNU	1.26	2.96	0.81	17.8	7.62	2.6	1.65	1.37	0.35	0.46	2.26	1.22	1.07	3.57	
Suspendert stoff mg/l	<5.0	9.5	<5.0	30.4	12.8	6	17.3	<5.0	<5.0	<5.0	5.4	<5.0	<5.0	9	27.0
S (Svovel) mg/l	12.5	13.8	12.1	7.69	7.56	10.2	8.58	12.1	15.5	*****	12.7	11.5	12	11.1	11
N-total mg/l	4.82	4.55	5.14	2.67	4.21	4.1	2.11	2.33	5.19	4.28	3.08	5.13	3.65	3.37	
P-total mg/l	0.03	0.025	<0.010	0.072	0.024	0.013	0.015	0.012	<0.050	<0.010	0.021	0.01	0.032	<0.050	0.04
pH	7.83	7.95	8.1	7.8	7.89	7.81	7.81	8.09	8.1	8.4	7.94	7.91	7.86	8.05	8
Klorid (Cl-) mg/l	11.1	14.5	12.5	6.04	6.11	7.65	7.56	8.03	11.7	12	10.1	9.33	19.2	11	9.0
Sulfat (SO4) mg/l	40.7	43.1	37.1	21.2	24.3	28.4	29.3	35.8	45.3	42	38.4	31.8	37.7	30.1	37.0
Nitrat-N (NO3-N) mg/l	3.14	2.77	2.87	2.12	2.05	2.74	1.47	1.55	2.38	2.63	2.55	2.5	2.01	3.05	3.000
Fosfat-P (ortofosfat-P) mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.023	<0.010	0.006
Ammonium-N (NH4-N) mg/l	0.299	0.296	0.406	0.076	0.027	<0.020	<0.020	0.056	<0.020	0.06	0.066	0.165	0.259	<0.020	0.030
Løst organisk karbon (DOC)															6.3

	Vigga N HAS	Vigga N Vigga N	Vigga N HAS	Vigga N HAS	Vigga N HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	Vigga HAS	VIG-N1	VIG-B
	07.01.16	04.02.16	02.03.16	30.03.16	04.05.16	03.06.16	14.07.16	17.08.16	14.09.16	12.10.16	22.11.16	13.12.16	12.10.17	21.11.17
Filtrering	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Ca (Kalsium) mg/l	73.6	75.9	69.3	39.1	45.1	59.3	49	59	74.1	74	64.1	63.1	54.0	56
Fe (Jern) mg/l	0.0294	0.042	0.0408	0.0295	0.0216	0.0173	0.0314	0.0262	0.0346	0.027	0.0143	0.0255	0.030	0.019
K (Kalium) mg/l	2.78	2.94	2.52	2.47	1.77	2.28	2.14	2.12	2.91	2.74	2.18	2.15	2.7	2.5
Mg (Magnesium) mg/l	5.08	5.26	4.67	2.62	2.91	3.84	3.22	3.72	5.18	5.25	4.18	4.09	4.0	3.9
Na (Natrium) mg/l	8	11.3	8.5	4.35	4.1	5.91	6.71	5.99	9.65	9.66	6.24	6.5	4.8	8.1
Al (Aluminium) µg/l	11.8	15.5	16.1	23.6	27.5	15.4	21.8	17.6	12.1	7.53	68.3	18.2	22.0	16
As (Arsen) µg/l	0.149	<0.2	<0.3	0.241	0.213	0.251	0.242	0.267	0.0906	0.175	0.245	0.167	0.2	0.17
Ba (Barium) µg/l	36.6	38.5	33.2	19.6	20.6	29.4	26.1	27.7	40.8	39.6	30.1	28.6	28.0	28
Cd (Kadmium) µg/l	0.0135	0.017	0.0105	0.0104	0.0161	0.0126	0.0073	0.0107	0.0042	0.0107	0.018	0.00918	0.01	0.005
Co (Kobolt) µg/l	0.0747	0.0809	0.0655	0.063	0.0522	0.0401	0.0525	0.0523	0.0215	0.0385	0.0687	0.0631	0.055	0.034
Cr (Krom) µg/l	0.0913	0.0663	0.0772	0.166	0.16	0.107	0.548	0.0997	0.0576	0.0419	0.0599	0.0935	0.14	0.063
Cu (Kopper) µg/l	0.488	0.615	0.404	0.708	0.694	0.566	0.65	0.564	0.573	0.45	0.545	0.423	0.7	0.54
Hg (Kvikksølv) µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00326	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0,005	<0,005
Mn (Mangan) µg/l	17.6	21.7	18.8	2.57	0.995	0.568	0.74	2.52	6.28	7.08	6.07	8.61	1.7	0.28
Mo (Molybden) µg/l	4.39	5.3	3.6	1.41	1.56	2.65	3.61	2.81	4.11	3.73	2.21	2.56	4.8	2.5
Ni (Nikkel) µg/l	2.24	2.24	2.36	2.11	2.04	2.15	2.11	2.36	2.47	1.55	2.39	1.9	2.5	1.5
P (Fosfor) µg/l	6.5	8.36	10.3	22.7	4.18	12	19.7	6.33	4.96	3.8	8.05	5.47	<0,30	57
Pb (Bly) µg/l	0.0221	0.0242	<0.01	0.0208	<0.01	<0.01	0.0161	0.012	0.044	0.012	0.0132	<0.01	0.0	0.014
Si (Silisium) mg/l	3.48	3.31	3.1	2.02	2.17	2.19	2.39	2.51	2.75	2.7	2.69	2.93	2.6	2.6
Sr (Strontium) µg/l	366	386	334	194	214	286	238	277	370	354	306	294	290	260
Zn (Sink) µg/l	4.1	3.14	3.47	2.04	3.09	2.84	1.92	1.89	2	2.15	1.6	2.33	1.2	0.61
V (Vanadium) µg/l	0.0868	0.0751	0.0796	0.157	0.114	0.112	0.134	0.103	0.113	0.0738	0.121	0.0727	0.1	0.25
B (Bor) µg/l	16.6	18.8	15	<10	<10	15.3	12.3	13.7	20.6	18	14.8	12.4	17.0	9.2
Th (Thorium) µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0,10	<0,010
U (Uran) µg/l	2.6	3.33	2.3	0.792	1.02	1.66	1.61	1.57	2.65	2.22	1.6	1.53	1.6	1.7
TOC mg/l	<0.50	2.63	2.43	3.03	3.24	2.56	3.32	3.13	0.67	2.41	3.49	2.49	6.9	3.3
Alkalinitet pH 4.5 mmol/l	2.93	3.02	2.95	1.62	1.81	2.52	2.08	2.45	2.98	3.19	2.54	2.87	2.6	2.4
Alkalinitet pH 8.3 mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	-43.8	0
Ledningsevne mS/m	41	42.8	39	23.4	25.6	30.5	29.3	34.6	43.5	45	37.2	36.7	33.6	35
Turbiditet FNU	5.06	2.08	1.23	16.5	7.14	3.85	2.35	1.31	0.3	0.74	2.85	2.59		
Suspendert stoff mg/l	<5.0	<5.0	<5.0	32.7	14.5	23.2	13.2	<5.0	<5.0	<5.0	4.4	11.5	24.0	45
S (Svovel) mg/l	12.7	14	11.6	6.8	7.19	9.21	9.1	11.6	15.4	14.4	11	11.4	10	13
N-total mg/l	5.01	4.69	4.86	2.42	4.4	3.82	1.94	2.16	5.19	4	4.06	5.35		
P-total mg/l	0.031	0.021	<0.010	0.068	0.023	0.015	0.019	0.015	<0.050	<0.010	0.017	0.021	0.04	<0,30
pH	7.82	7.99	8.09	7.79	7.87	7.62	7.77	8.09	8.08	8.41	7.96	8.02	8.0	7.9
Klorid (Cl-) mg/l	11.3	15	12.4	6.22	5.9	7.68	7.93	7.66	11.6	11.6	10.1	9.42	8.5	15
Sulfat (SO4) mg/l	41.5	44.9	37	19.1	21.9	27.7	29.2	32.2	44.1	41.3	36.2	31.9	33.9	34.8
Nitrat-N (NO3-N) mg/l	3.18	2.83	2.76	2.12	1.95	2.7	1.51	1.55	2.3	2.53	2.56	2.61	2.9	3.6
Fosfat-P (ortofosfat-P) mg/l	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	5.0	0.0089
Ammonium-N (NH4-N) mg/l	0.294	0.206	0.289	0.072	0.023	<0.020	<0.020	0.058	<0.020	<0.020	0.056	0.149	19.0	0.11
Løst organisk karbon (DOC)													6.3	3.1

Vedlegg 25

	Prøver tatt oppstrøms i Vøienbekken						Prøver tatt nedstrøms i Vøienbekken				
		VØI-O	VØI-O	SGO 6-2 (VØI-O) COWI	SGO 7-2 (VØI-O) COWI	VØI-O	VØI-O	VØI-O	VØI-N	VØI-N	VØI-N
Laboratorie	ALS	ALS	ALS	ALS	ALS	Eurofins	Eurofins	Eurofins	ALS	Eurofins	Eurofins
Benevning	31.03.2014	09.05.2014	16.05.2014	16.06.2014	30.05.2017	12.10.2017	23.11.2017	30.05.2017	12.10.2017	23.11.2017	
Acenaften	µg/l	<0.010	<0.010								
Acenaftylen	µg/l	<0.010	<0.010								
Al (Aluminium)	µg/l	12.6	17.1	16.2	12.1	22.6	26.0	21	32.4	20.0	9.7
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	1.96	1.41				2.4	2.3		2.6	2.8
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150			<0.150	-51.3	0	<0.150	-43.3	0
Ammoniakk (NH3)	mg/l	<0.010	<0.010	<0.003	0.013	2.28		0.04	0		0.03
Ammonium-N (NH4-N)	mg/l	<0.020	0.004			<0.020	0.017		0.03	0.0079	
Antracen	µg/l	<0.010	<0.010								
As (Arsen)	µg/l	0.0598	0.103	0.158	<1	0.189	0.2	0.16	0.229	0.2	0.16
B (Bor)	mg/l	0.0102	<10			13.2	16.0	8	15.9	18.0	15
Ba (Barium)	µg/l		15.7			23.9	23.0	24	29.5	25.0	26
Benzo(a)antracen^	µg/l	<0.010	<0.010								
Benzo(a)pyren^	µg/l	<0.010	<0.010								
Benzo(b)fluoranten^	µg/l	<0.010	<0.010								
Benzo(ghi)perylene	µg/l	<0.010	<0.010								
Benzo(k)fluoranten^	µg/l	<0.010	<0.010								
Ca (Kalsium)	mg/l		40.3			58.6	55.0	53	63.3	60.0	79
Cd (Kadmium)	µg/l	0.00616	0.00665	0.0021	<0.05	0.00343	0.01	0.004	0.0103	0.01	0.009
Co (Kobolt)	µg/l		0.0355	0.0337	0.0777	0.0539	0.082	0.084	0.0675	0.070	0.048
Cr (Krom)	µg/l	0.0944	0.0843	0.0703	<0.5	0.0977	0.1	0.17	0.095	0.1	0.078
Cu (Kopper)	µg/l	<1	0.409	0.484	<1	0.805	1.3	0.74	0.702	1.4	0.55
Dekantering		Ja									
Dibenzo(ah)antracen^	µg/l	<0.010	<0.010								
Fe (Jern)	mg/l	0.00822	0.00921	0.00498	<0.004	0.0169	0.03	0.01	0.0453	0.03	0.01
Fenantren	µg/l	<0.020	<0.020								
Filtrering		JA									
Fluoranten	µg/l	<0.010	<0.010								
Fluoren	µg/l	<0.010	<0.010								
Fosfat-P (ortofosfat-P)	mg/l	<0.010	0.004			<0.010	0.0	0.01	<0.010	0.0	0.01
Fraksjon >C10-C12	µg/l	<5.0	<5.0								
Fraksjon >C10-C40	µg/l	<50	<50								
Fraksjon >C12-C16	µg/l	<5.0	<5.0								
Fraksjon >C12-C35 (sum)	µg/l	n.d.	n.d.								
Fraksjon >C16-C35	µg/l	<30	<30								
Fraksjon >C35-C40	µg/l	<10	<10								
Hg (Kvikksølv)	µg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.02	<0.002	< 0.005	< 0.005	<0.002	< 0.005	< 0.005
Indeno(123cd)pyren^	µg/l	<0.010	<0.010								
K (Kalium)	mg/l		1.84			2.88	4.0	2.6	2.54	4.5	3.6
Klorid (Cl-)	mg/l	5.12	4			6.07	7.0	30	9.41	8.7	10
Krysen^	µg/l	<0.010	<0.010								
Ledningsevne	mS/m	27.8	24			31.2	30.8	37.4	37.3	38.7	43.6
Mg (Magnesium)	mg/l		1.82			2.46	2.6	2.5	4.27	5.3	6.3
Mn (Mangan)	µg/l	1.42	0.905	0.107	1.3	1.47	0.7	0.63	8.56	0.5	2
Mo (Molybden)	µg/l		1.99	1.7	1.75	2.05	1.7	1.6	2.49	3.8	5.2
Na (Natrium)	mg/l	2.75	2.58			3.46	3.1	17	6.59	6.5	8.7
Naftalen	µg/l	<0.030	<0.030								
Ni (Nikkel)	µg/l	0.669	0.501	0.631	0.511	1.04	1.6	0.64	2.11	4.2	3.1
Nitrat-N (NO3-N)	mg/l	3.09	2.58			2.78	3.5	4.6	2.75	3.2	6.2
N-total	mg/l	5.67	2.78	2.63	3.32	4.62			4.3		
P (Fosfor)	µg/l		4.18			11.8	60.00	61	5.6	100.00	26
Pb (Bly)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.2	<0.01	< 0.010	0.012	0.014	< 0.010	< 0.010
pH (OS)		8.1	7.72			8.09	8.1	8.1	8.04	7.9	7.9
P-total	mg/l	0.011	0.229			<0.050	< 0.30	< 0.30	<0.050	< 0.30	< 0.30
Pyren	µg/l	<0.010	<0.010								
S (Svovel)	mg/l					6.82	7	8.2	14.3	16	20
Sb (Antimon)	µg/l	0.0485									
Se (Selen)	µg/l	<0.5									
Si (Silisium)	mg/l		3.24			3.32	3	2.90	2.12	3	3.70
Sr (Strontium)	µg/l		147	173		213	190	200	303	320	370
S-total	mg/l	6.14	5.67								
Sulfat (SO4)	mg/l	17.6	16			18.1	23.1	22	40	51.5	59.9
Sum PAH carcinogene^	µg/l	n.d.	n.d.								
Sum PAH-16	µg/l	n.d.	n.d.								
Suspendert stoff	mg/l	<5.0	5.6			24.6	33.0	64	23.7	44.0	16
Th (Thorium)	µg/l	<0.02	<0.02			<0.02	< 10	< 0.010	<0.02	< 10	< 0.010
TOC	mg/l	2.19	2			4.43	7.5	3.5	4.09	7.5	2.6
Turbiditet	FNU	1.16	1			3.11			5.66		
U (Uran)	µg/l	0.612	0.562	0.594		1.15	0.9	0.93	1.98	4.4	6.9
V (Vanadium)	µg/l		0.12	0.142	0.222	0.176	0.2	0.19	0.18	0.2	0.038
Zn (Sink)	µg/l		3.95	4.65	<2	2.85	0.6	0.44	4.72	1.1	1.1
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l						7.0	2.6		7.1	2.5

Bioforsk Rapport

Vol. 10 Nr. 32 2015

Ny Rv4 Gran grense - Jaren

Miljøovervåkning i Vigga, status 1. januar 2015

Eirik Leikanger, Roger Roseth, Thor-Endre Nytrø, Øyvind Rise, Geir Tveiti og Øistein Johansen
Bioforsk Divisjon Miljø, Ås

www.bioforsk.no

Tittel: Rv4 Gran grense - Jaren. Miljøovervåking i Vigga, statusrapport per 1. januar 2015
Forfattere: Eirik Leikanger, Roger Roseth, Thor-Endre Nytrø, Øyvind Rise, Geir Tveiti og Øistein Johansen

Dato: 15.01.2015	Tilgjengelighet: Lukket	Prosjekt nr.: 8572	Saksnr.:
Rapport nr.: 10(32) 2015	ISBN-nr.:	Antall sider: 16	Antall vedlegg: 2

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen Region Øst	Kontaktperson: Malin Torp og Jon Kvisberg
---	--

Stikkord: Rv4 Gran grense - Jaren, anleggsarbeid, Vigga, partikler, turbiditet, automatisk vannovervåking	Fagområde: Miljøovervåking
--	-----------------------------------

Sammendrag:

I forbindelse med utbyggingen av Rv4 Gran grense - Jaren har Bioforsk på oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) gjennomført automatisk overvåking av vannkvaliteten i Vigga. Vigga renner gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4, og er hovedresipient for anleggsarbeidene. Det er derfor opprettet to overvåkingsstasjoner i Vigga, oppstrøms arbeidene ved Vøien og ved Hofsbua nedstrøms Gran sentrum.

Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013, og vegen skal etter planen stå ferdig i 2016. Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. oktober 2013 til og med 1. januar 2015.

I løpet av overvåkingsperioden har målestasjonene avdekket flere episoder med forhøyet turbiditet i Vigga, både oppstrøms og nedstrøms. Overvåkingen har blant annet vist at den normale avrenningssituasjon i Vigga gir stor partikkelbelastning på vassdraget. For eksempel er det målt nedbørsinduserte episoder hvor ordinær jordbruksavrenning ga turbiditet på mer enn 1000 NTU. Overvåkingen har også avdekket flere episoder med anleggsrelatert avrenning som har gitt forhøyet turbiditet, hvor det blant annet ble målt enkeltverdier over 2000 NTU. Målinger av pH og ledningsevne gjennom overvåkingsperioden ga ingen indiksjoner på endringer av vannkvaliteten som følge av utslipp fra anleggsområdene (med unntak av nevnte skyggeeffekter).

Generelt sett har overvåkingen vist at det er tilført partikler fra anleggsområdene til Vigga. Flere av de høye turbiditetsverdier som ble målt i Vigga kan relateres til arbeider som har pågått ved Vøien og Vøienbekken. Det er også målt økt turbiditet som kan relateres til utslipp fra renseanlegget ved Grantunellen. I disse områdene kan det ha oppstått lokale effekter på fisk og bunndyr som følge av tilslamming eller dårlig vannkvalitet. Effektene vil være kortvarige da innlagret slam vil spyles videre ved neste storflom. Fisk, kreps og bunndyr vil raskt rekolonisere disse områdene når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg. Disse er også tilpasset et liv i en elv med periodisk høy partikkelbelastning. Det forventes ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapt episoder.

Land:	Norge
Fylke - kommune:	Oppland - Gran
Sted/Lokalitet:	Gran

Seksjonsleder

Prosjektleder



Trond Mæhlum



Eirik Leikanger

Forord

I forbindelse med utbyggingen av Rv4 Gran grense - Jaren har Bioforsk på oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) gjennomført automatisk overvåkning av vannkvaliteten i Vigga. Det har blitt gjennomført automatisk overvåkning ved to målepunkter/stasjoner. Den første stasjonen ble satt i drift i april 2013, som en del av forundersøkelsene før anleggsfasen (Leikanger og Roseth, 2013). Ved anleggsoppstart, oktober 2013, ble det etablert en ny stasjon i Vigga.

Eirik Leikanger har vært prosjektansvarlig fra Bioforsk. Bioforsk sin måletekniske gruppe har vært ansvarlig for utsetting og vedlikehold av utstyr, samt presentasjon av data på overvåkningsside. Måleteknisk gruppe ledet av Øistein Johansen har utarbeidet konsept for vinterdrift og oppsett for stasjoner. Eirik Leikanger og Roger Roseth har vært ansvarlig for kvalitetssikring, bearbeiding og rapportering av innsamlede data. Vannføringsmålinger er utført av Thor- Endre Nytrø og Eirik Leikanger.

Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. oktober 2013 til og med 1. januar 2015. Statusrapporten er skrevet av Eirik Leikanger og Roger Roseth.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Innholdsfortegnelse	2
1. Innledning	3
2. Miljøovervåkning	4
2.1 Målestasjoner	4
2.2 Multiparametersensorer og loggere	6
2.3 Værdata	6
3. Resultat og diskusjon	7
3.1 Nedbør, vannstandsendringer og vannføring	7
3.2 Vanntemperatur	8
3.3 Turbiditet	9
3.4 pH	12
3.5 Ledningsevne	14
4. Sammenfattede vurderinger	15
5. Referanser	16
Vedlegg:	17
Vedlegg 1: Vannføringskurve Vigga nedstrøms	18
Vedlegg 2: Vannføringsmålinger nedstrøms (VN?)	19

1. Innledning

I Gran kommune på Hadeland, fra kommunegrensen Lunner og Gran og til Jaren, bygger Statens vegvesen ny firefelts veg (Rv4 Gran grense - Jaren). Den nye Rv4 strekker seg over 9,3 kilometer og inkluderer bygging av 1,7 km tunell, med to løp, utenom Gran sentrum. Per 1. januar 2015 gjenstår det ca. 1000 m (500m i hvert løp) med tunneldriving. Ved Vøien, like sør for Gran sentrum, vil ny Rv4 vil også krysse elven Vigga. Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013, og vegeen skal etter planen stå ferdig i 2016.

Elven Vigga er hovedresipient for avrenning fra ny Rv4. Øvre del av Vigga renner gjennom Roa, hvor tilløpsekker fra Elgsjøen og Kalvsjøtjernet renner ut i Vigga. Fra Roa renner Vigga gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4. Øvre del av Vigga har utløp til Jarenvannet, og drenerer et nedbørsfelt på ca. 83 km². Midlere årsavregning for dette feltet er ca. 1,2 m³/s (Holmquist, 2004). Jarenvannet dekker et areal på om lag 1,7 km² og drenerer til nedre del av Vigga, som har utløp til Randsfjorden ved Brandbu. Vigga er en del av vannområde Randsfjorden.

En strekning på ca. 6,5 km kan potensielt bli berørt av anleggsaktivitetene. I den potensielt berørte strekningen av Vigga er elveløpet stedvis sterkt modifisert, både ved utretning og nedsenkning av elveløpet. Langs elva ligger det store jordbruksarealer med avrenning til vassdraget via overflatevann og drenering. Tilførsler av forurenset vann fra arbeid med Rv4 kan ledes direkte til Vigga via disse dreneringssystemene, eller tilførsler kan skje diffust gjennom terrengavrenning. Partikkelforurensning vil være mest sannsynlige forurensningsrisikoen ved arbeid i dagsonen, men også avrenning med høy pH fra områder hvor det benyttes betong. Arbeid direkte i vannkanten, slik som ved traseens krysningspunkt ved Vøien, eller ved omlegging av bekkeløp gir spesielt stor risiko for påvirkning av vannkvaliteten. Ved tunnelarbeider vil vann med høy pH, forårsaket av sementbaserte tetningsmidler og sprøytebetong, partikler fra tunneldriving og nitrogenavrenning fra uomsett sprengstoff være viktige forurensningskilder. Vann fra tunneldriving har som regel svært dårlig vannkvalitet og ledes derfor til containerbasert renseanlegg for nøytralisering av pH og sedimentering av partikler.

Store deler av ny trasé for Rv4, inklusive tunnel, anlegges i kontakt med skiferholdig berggrunn. Blant disse er alunskifer og noen svartskifre de mest problematiske bergartene. Det er lite sannsynlig at det vil forekomme sur avrenning av skiferbergarter i forbindelse med tunneldrivingen, grunnet forbruk av sementbaserte tetningsmidler. I skjæringer og fra områder med mellomlagring kan det imidlertid forekomme sur avrenning som følge av forvitring med dannelse av sulfat og svovelsyre.

Viktige utfordringer i anleggsfasen er riktig håndtering av kilder til forurensning (Roseth et al. 2011):

- Renset anleggsvann fra tunneldriving
- Avrenning fra erosjonsutsatte områder i dagsone
- Lensevann fra byggegrop
- Avrenning fra riggområder og deponier

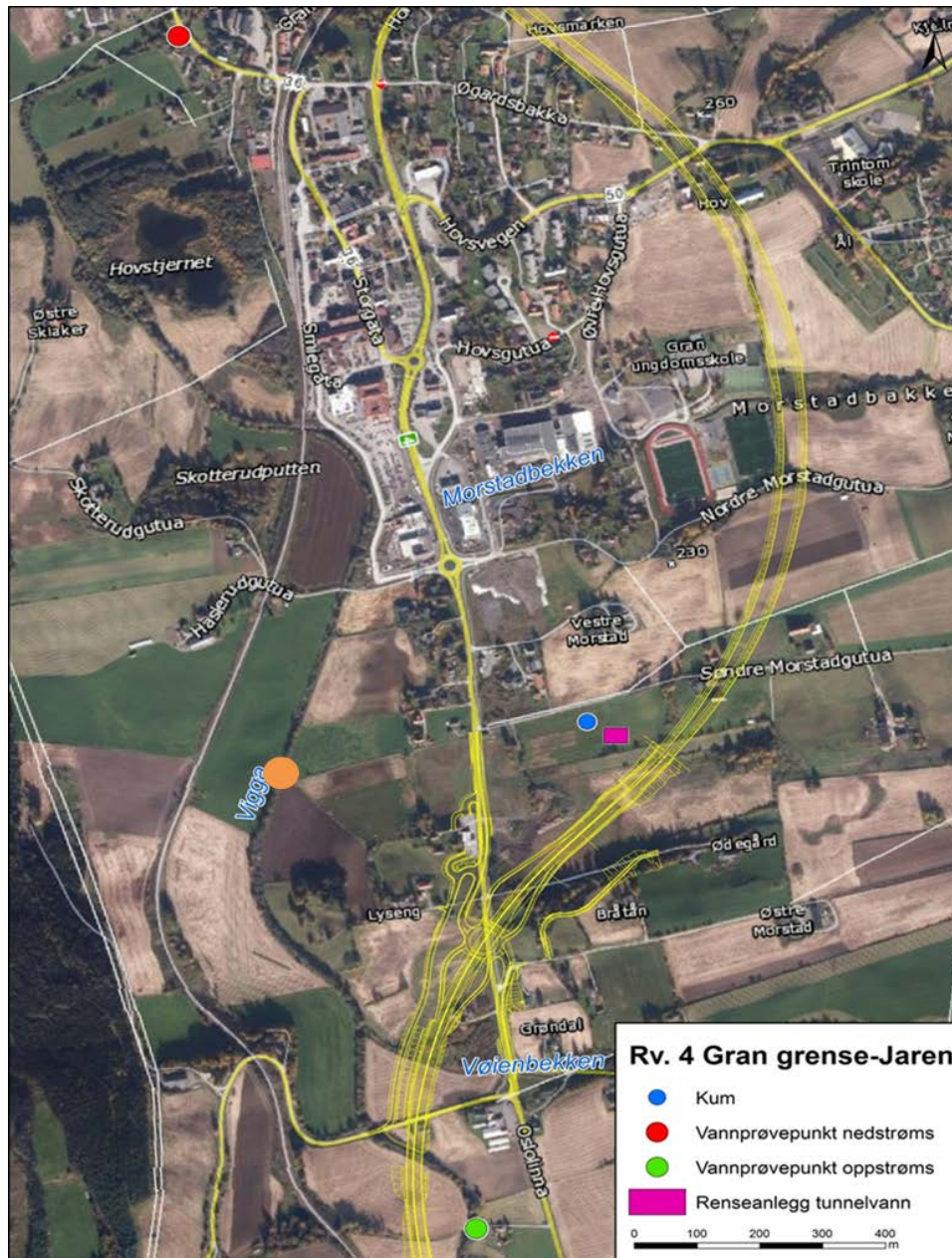
I henhold til Ytre Miljø Plan (YM-Plan) for Rv4 Gran grense - Jaren skal rensed anleggsvann fra tunnelområdet sør for Gran sentrum føres til utslipp i Vigga. Videre skal anleggsvann langs traseen føres diffust til terreng.

Fylkesmannens utslippstillatelse gir tillater utslipp av vann med partikkelinnhold på 100 mg SS/l og pH mellom 6 og 9. Det er også fastsatt grenser for utslipp av metaller, men disse omtales ikke i denne rapporten.

2. Miljøovervåkning

2.1 Målestasjoner

Det er etablert to stasjoner i Vigga hvor det ble utplassert multiparametersensorer (MPS) for on-line måling av vannkvalitet. Stasjonene er lokalisert oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) utslippspunktet i Vigga. Figur 1 viser målestasjonenes plassering og deler av parsellen Rv4 Gran grense - Jaren, inklusive deler av tunnellopet.



Figur 1: Plassering av målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga, samt plassering av renseanlegg og utslippspunktet i Vigga. Gule linjer viser parsellen Rv4 Gran grense - Jaren, samt planlagte miljøgate gjennom Gran sentrum. Sørvendt påslag til Grantunnelen ligger høyre for markøren (rosa) som viser renseanlegget (kart: Statens Vegvesen).

Stasjonen oppstrøms (VO) er plassert om lag 150 m oppstrøms anleggsområdet ved Vøien, der ny Rv4 trasé krysser Vigga. Fra VO og ned til utslippspunktet for rensert tunellvann er det ca. 950 m. Bilde 2 viser plassering av stasjonen VO. Automatiske målinger ved stasjonen oppstrøms ble påbegynt i november 2013. VO ble flyttet ved 2 tilfeller i løpet av måleperioden som presenteres i rapporten. Ved et tilfelle ble stasjonen flyttet i forbindelse med en skade på utstyret, stasjonen var ute i drift i perioden 06. - 18. mars. Grunnet lav vannstand og hyppige tørrmålinger, ble stasjonen flyttet igjen den 24. juni. Avstand fra opprinnelig målepunkt er mindre enn 10 m.



Bilde 1: målestasjonen "Vigga oppstrøms - VO". Stasjonen er plassert ved bro oppstrøms anleggsområdet på Vøien.

Stasjonen nedstrøms (VN) er plassert ved Hofsbrua (rød markør i figur 1), ca. 1800 m fra utslippspunktet. Stasjonen nedstrøms ble benyttet under referansemålingene, og har pågått siden 30. april 2013 (Leikanger og Roseth, 2013).



Bilde 2: Målestasjonen "Vigga nedstrøms - VN". Stasjonen er plassert nedstrøms anleggsområdet ved Hofsbrua. Målestasjonen vil fange opp avrenning fra Vøien, tunnelpåslaget og avrenning fra Gran sentrum.

2.2 Multiparametersensorer og loggere

For on-line målinger på stasjonene blir det benyttet logger av typen SEBA LogCom-2 logger og multiparametersensor av typen SEBA MPS-D8 sonde (bilde 3). MPS har sensorer for måling av vannhøyde, vanntemperatur, ledningsevne, pH og turbiditet. For turbiditet brukes det sensorer med måleområde 0-1000 NTU oppstrøms og 0-3000 NTU nedstrøms. LogCom-2 er tilpasset frittstående plassering med strømforsyning fra enkel batteripakke. Loggerne programmeres for ønsket måleintervall, grenseverdier og telefonnummer for alarmer, tidspunkter for overføring og navn på stasjon.



Bilde 3: Multiparametersonde (MPS-D8) som er benyttet på stasjonene for kontinuerlige automatiske målinger.

På stasjonene gjøres det automatiske målinger med MPS hvert 30. minutt og data sendes til server for presentasjon på egen nettbasert overvåkningside 3 ganger i døgnet. I data som presenteres i denne rapporten er feilmålinger tatt ut, oversikt over utelatte data oppbevares hos Bioforsk og rådata er tilgjengelig på overvåkningsiden: <http://128.39.191.5/projects/login.php> (krever innlogging).

Fra begge målestasjonene vil det sendes ut alarmer for pH ved målte verdier over pH 9 og under pH 6. For turbiditet sendes det ut alarmer ved turbiditet over 100 NTU.

Målestasjonene er vedlikeholdt regelmessig av Statens vegvesen, som hovedregel gjennomført med 14. dagers intervaller. I tillegg har Bioforsk utført utvidet vedlikehold og kalibrering ved behov.

I løpet av 2014 ble det gjennomført 3 vannføringsmålinger som ble benyttet for å etablere en kalibreringskurve for beregning av vannføring. Disse ble utført den 5. og 23. mai og den 3. september. Hensikten med vannføringsmålingene var å etablere en kalibreringskurve, slik at vannhøyde målt med MPS kunne benyttes for kontinuerlig estimering av vannføring. Punktet hvor vannføring estimeres er i utgangspunktet ikke egnet for vannføringsmålinger, da det kun benyttes et naturlig elveprofil og ikke ett tilrettelagt vannløp. Det foreligger ikke kalibreringsdata for vannføringer lavere enn 0,45 m³/s eller vannføring over 1,5 m³/s. Det knytter seg derfor en del usikkerheter til estimeringen av vannføring utenfor dette intervallet. Basert på observasjoner er det grunn til å tro at vannføringen overestimeres, og at graden øker med avstanden til "måleintervallet".

2.3 Værdata

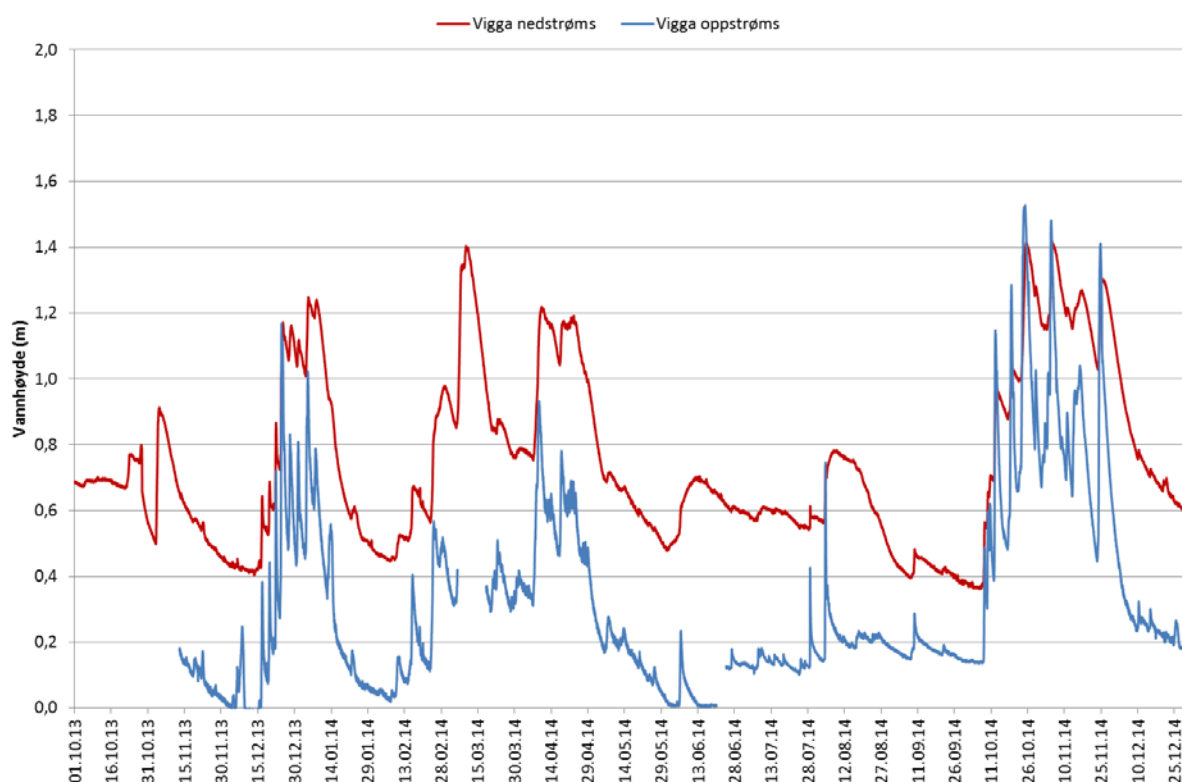
Nedbørsmålinger er hentet fra Gran målestasjon. Stasjonen ligger i Gran Kommune 245 moh ca. 0,8 km sør for Gran sentrum. Nedbørsdata for Gran er tilgjengelig på: <http://www.yr.no/sted/Norge/Oppland/Gran/Gran/statistikk.html>

3. Resultat og diskusjon

3.1 Nedbør, vannstandsendringer og vannføring

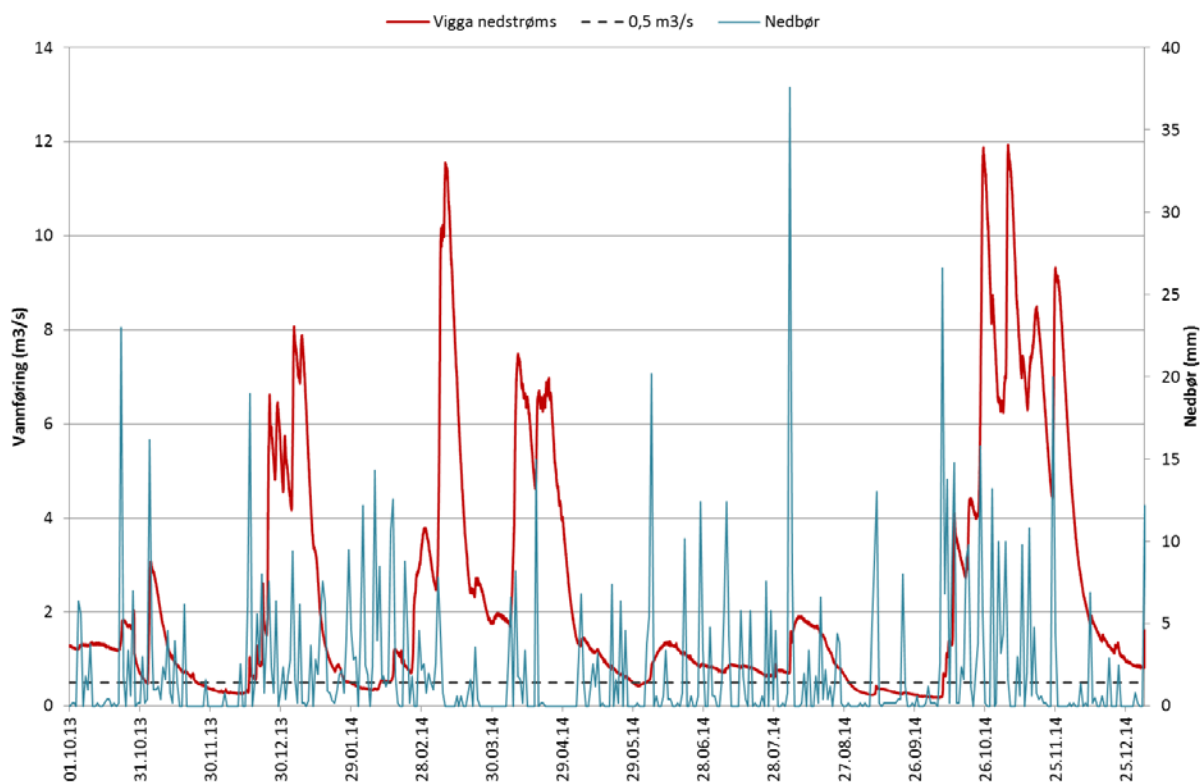
Figur 2 viser relative endringer i vannhøyden ved målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga. Grunnet ulikheter i elveprofil (fall, bredde, vegetasjon) er det stor forskjell i målt vannhøyde mellom punktene. Et grunnere elveprofil, med større fall oppstrøms gir raskere endringer i vannhøyde og dermed raskere endring vannhastighet og erosjonspotensial.

Målestasjonen Vigga oppstrøms har blitt flyttet 3 ganger i løpet av måleperioden grunnet utfordringer med lav vannstand. Målingene gir allikevel en indikasjon på vannstandsøkninger forårsaket av nedbør, og kan benyttes som forklaringsvariabel for blant annet økning i turbiditet.



Figur 2: Vannhøyde ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

På stasjonen nedstrøms er målingene av vannhøyde benyttet til å beregne vannføringen (figur 2). Siden det kun er gjort vannføringsmålinger ved vannføringer 0,4 - 1,5 m³/s vil kalibrering være unøyaktige ved vannføringer utenfor disse områdene. Hensikten med å etablere en vannføringskurve var å ha et mål på resipientens sårbarhet. Ved vannføring under 0,5 m³/s ble elven karakterisert som ekstra sårbar for utslipp. Under disse periodene var oppfølging av utslipp fra anlegget tettere.

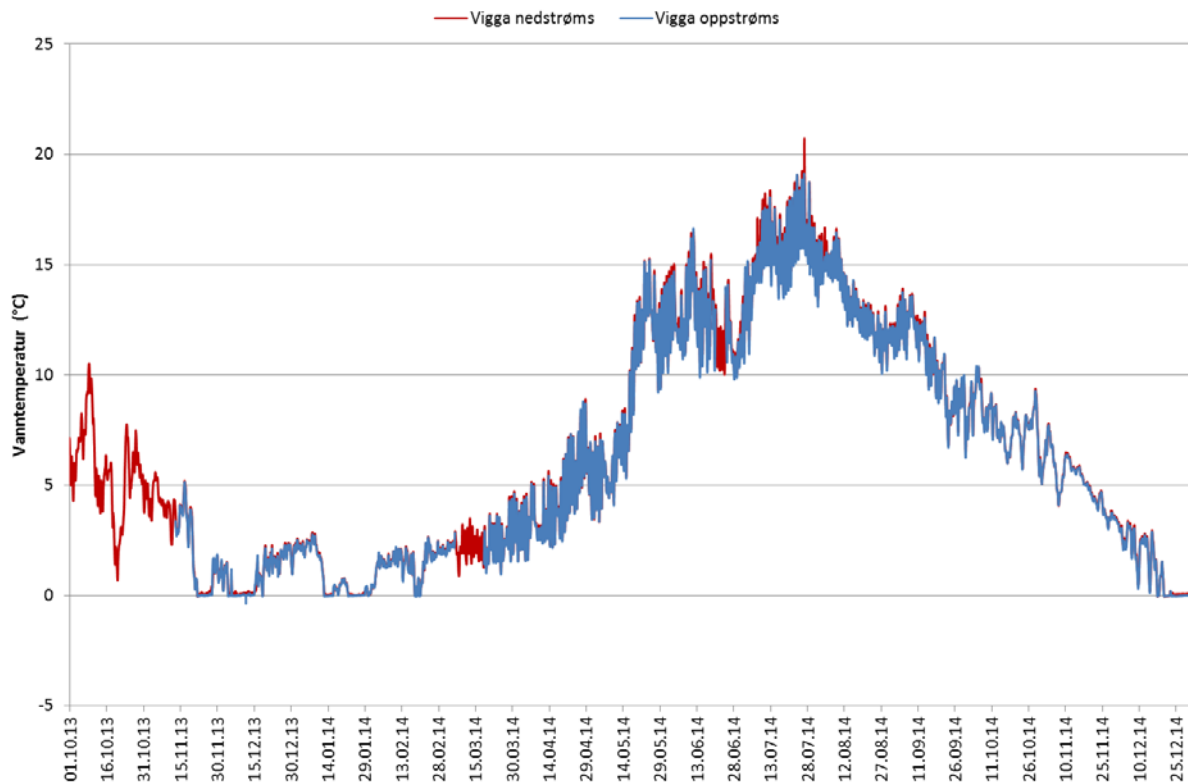


Figur 3: estimert vannføring ved stasjonen nedstrøms (VN) og nedbørmålinger fra Gran metrologiske stasjon for perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

I praksis gjelder dette hele perioden fra mai til slutten av september. Målingene viser at vannføringen var over 0,5 m³/h store deler av sommeren, men dette vurderes ikke som sikre estimater. Årsaken er at vannvegetasjon og oppsamling av kvist nedstrøms målepunktet gav en oppstuvning av vann foran målepunktet. Siden vannføringen beregnes som en funksjon av vannhøyden, vil den beregnede vannføring overestimeres. På bakgrunn av målingene, og observasjoner gjort i felt betrakter Bioforsk Vigga som spesielt sårbar for utslipp i juni, juli og i september davannføringen i disse månedene var lav.

3.2 Vanntemperatur

Figur 4 viser vanntemperaturen i Vigga. Vanntemperaturer målt gjennom vinterperioden (desember 2013 til mars 2014 og desember 2014) er påvirket av varmekabler som er benyttet i forbindelse med vintersikringen av målestasjonene, og viser ikke den reelle temperaturen i vannet. Vanntemperaturen kan imidlertid indikere mildværsperioder i løpet av vinteren, og dermed avrenningsepisoder, samt perioder hvor forholdene ligger til rette for algevekst.



Figur 4: Vanntemperatur ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

3.3 Turbiditet

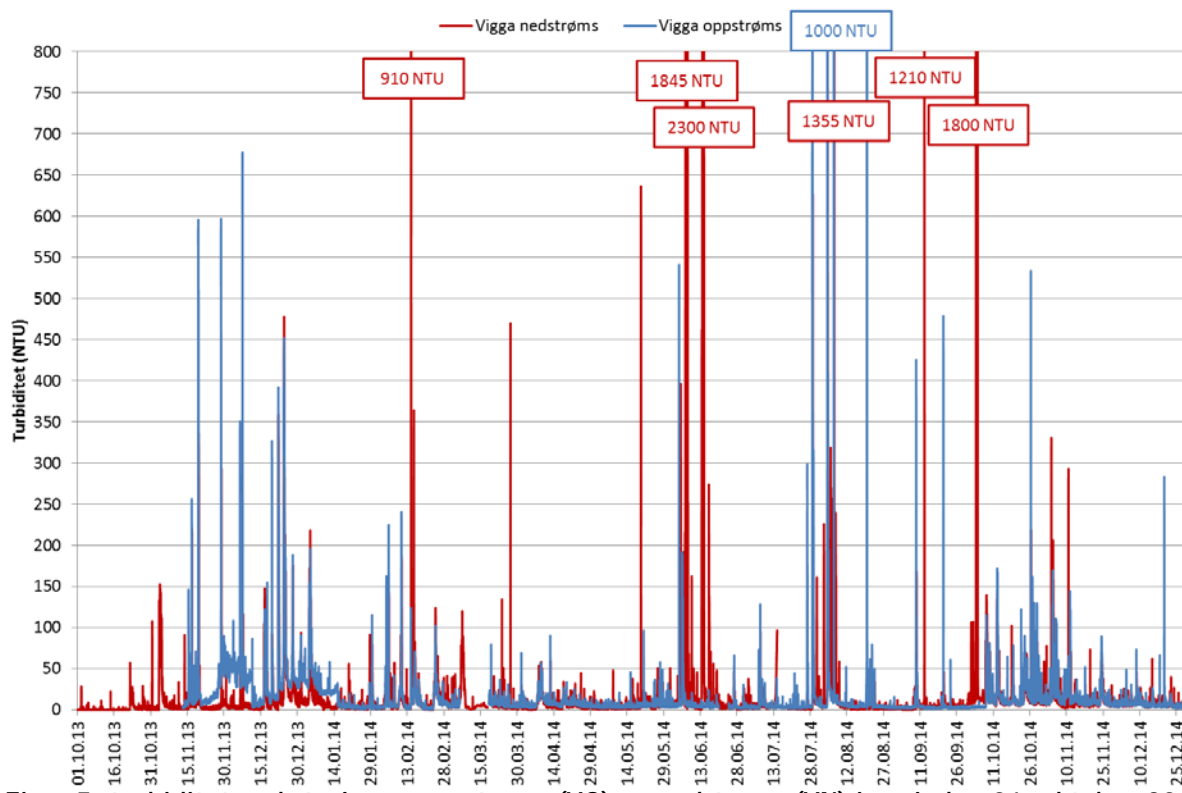
Turbiditet er et indirekte mål på innholdet av partikler i vannet med måleenhet NTU (nephelometric turbidity unit). For et vassdrag eller et utslipp kan det etableres en kalibrering mellom målt turbiditet og innhold av partikler (suspendert tørrstoff angitt i mg SS/l) i vannet. Sammenhengen vil kunne variere mye mellom ulike vassdrag og utslipp avhengig av partikkelstørrelse, partikkelform, humusinnhold med mere. Normalt sett tilsvarer 1 NTU fra 0,5 til 1,5 mg SS/l. Sammenhengen behøver ikke være lineær ved økende konsentrasjoner.

Fra begynnelsen av oktober 2013 og ut januar 2014 var det enkelte episoder med turbiditet i størrelsesorden 100 - 600 NTU (figur 5). Felles for disse episodene var at de oppstod samtidig med nedbør (figur 3) eller mildvær, som gav snøsmelting (økende vanntemperatur, figur 4).

I perioden januar til medio mars 2014 var det flere utfordringer knyttet til vannhåndteringen ved tunnelpåslaget sør for Gran sentrum. I januar og februar ga avrenning av smeltevann og innsig av grunnvann kapasitetsproblemer for renseanlegget. Dette medførte overbelastning og redusert renseseffekt i kortere perioder. Bioforsk og SVV gjennomførte manuelle kontrollmålinger ved utslippspunktet i Vigga den 16. januar. Målingene viste turbiditet på 615-870 NTU i utløpsrøret (med opprinnelse fra renseanlegget), men på grunn av stor fortykning av vannet var målt turbiditet 30m nedstrøms i Vigga under 10 NTU. I denne perioden ble det derfor ikke målt større endringer i vannkvaliteten i Vigga som følge av utslipp av anleggsvann. Det var ingen episoder med klare økninger i turbiditet som følge av tilførsel av anleggsvann i denne perioden.

I slutten av januar og februar, når vannføringen ble lavere (figur 3), viste målingene ved VN periodisk økt turbiditet i størrelsesorden 8- 25 NTU. Noen få enkeltmålinger viste turbiditet opp mot 50 NTU. Ved turbiditet på 25 NTU kan vannet fremstå som blakket. Målinger med håndholdt utstyr, og logging av data i renseanlegg viste at økningen i turbiditet ved VN hadde sammenheng med utslipp av vann fra renseanlegget (Leikanger og Roseth, 2014). Avstanden til VN, 1800m nedstrøms utslippspunktet, tilsier at det var en vesentlig høyere turbiditet ved utslippspunktet.

Et annet problem som oppstod i januar-mars var en kraftig økning i mengde finpartikulært materiale som følge av tunneldriving i skiferbergarter. De finpartikulære partiklene lot seg ikke sedimentere eller filtrere ut i renseanlegget. Økt mengde med finpartikler og innlekkasje av rent vann, som gav kapasitetsproblemer, var hovedårsakene til periodisk økt turbiditet. I denne perioden ble det derfor testet ut flere mulige tiltak for å redusere utslippene. Det ble blant annet satt inn finere filter i utløpet (1000µm) og sedimentasjonsgrøfter innover i tunneløpet. Fra uke 12 (medio mars) ble det etablert en stasjon for tilsetning av fellingskjemikalier (PAX-XL60) som en del av rensingen av tunnelvannet. Periodisk økt turbiditet i Vigga avtok etter dette, selv om det i perioder med høy belastning av renseanlegget, og lav vannføring, ble målt periodisk økning av turbiditet opp mot 20 NTU. Blant annet i kortere perioder i mai-juni og august-september.



Figur 5: turbiditet ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

I løpet av 2014 ble det målt flere episoder med stor økning i turbiditet. Enkelte av disse episodene var naturlige erosjonsepisoder, som vist i målinger før anleggsoppstart (Leikanger og Roseth, 2013). Eksempler på dette var nedbørsinduserte episoder den 26. og 28. juni, 28. juli, 04. august og 09. september. Under disse episodene ble det målt turbiditet i størrelsesorden 300 - 1400 NTU. Felles for disse episodene var kort varighet og at de inntreffer når vannstanden i Vigga begynner å stige, i starten av en flom. En episode 4. august viste den høyeste turbiditeten hvor målte verdier ved VO økte til > 1000 NTU og ved VN til 1355 NTU. Dette skjedde i forbindelse med store nedbørsmengder (37,4 mm). Gjennom hele måleperioden har det blitt målt turbiditet opp mot 200 NTU som kan relateres til nedbør og vurderes som naturlige hendelser.

Andre målinger fra 2014 antyder at vannkvaliteten, i større eller mindre grad, var påvirket av partikler fra anleggsaktivitet. Sannsynligvis er dette tilfellet ved hendelser den 14. februar, i perioden 02. - 16. juni, 02. - 08. august, 20. - 22. august, 12. september, 20. september, 03. og 04. oktober, i slutten av oktober og november, samt den 20. desember.

Den 14. februar viste målingene en stor, men kortvarig økning i turbiditet ved VN. Maksimalt ble det målt ca. 900 NTU, men etter 3 timer var turbiditeten under 100 NTU. Ved VO ble det målt ca.

120 NTU. Økningen i turbiditet var nedbørsindusert og endringen i vannkvalitet har oppstått mellom målepunktene. Episoden var kortvarig og har hatt liten betydning for Vigga.

I begynnelsen av mars ble det observert avrenning fra et mellomlager av matjord til Vigga. Grunnet skade på måleutstyr ble det ikke gjort målinger på stasjonen oppstrøms på dette tidspunktet. I denne perioden var det kun en måling på stasjonen nedstrøms i Vigga som viste en mindre økning i turbiditet (15 NTU), og som kan ha sammenheng med avrenningen fra mellomlageret. I den aktuelle perioden var vannføringen i Vigga stor, noe som ga en stor fortykning av tilført partikkelholdig vann. Matjord er en del av den naturlige avrenningen til Vigga, og episoden vurderes å ha hatt liten betydning for vannkvaliteten og organismer i Vigga.

I perioden 05. - 16. juni var det flere episoder med større økninger i turbiditet ved stasjonen VN. Den 05. juni ble det målt turbiditet i størrelsesorden 390 NTU i forbindelse med nedbør, deretter måles det vedvarende økt turbiditet i størrelsesorden 30- 200 NTU over 16 timer. Den 06. juni øker turbiditeten i 5 timer i forbindelse med store nedbørsmengder (20,2 mm), hvorav høyest målte verdi er 1175 NTU. Den 07. juni ble det ikke målt nedbør på Gran, det blir imidlertid målt svært høye turbiditetsverdier over en lengre periode. Det blir målt > 1000 NTU i 4 timer, hvorav høyeste måling er 1845 NTU. Den 13. og 14. juni var det tre påfølgende hendelser hvor det ble målt svært høy turbiditet. Målingene hadde alle en varighet på 5-6 timer, med maksimalverdier på hhv. 461 NTU ca. 2000 NTU og ca. 2350 NTU. Det ble kun registrert små nedbørsmengder disse dagene (0,4 mm). Den 16. juni, blir det ikke målt nedbør, men økt turbiditet (50 - 270 NTU) over en periode på 7 timer.

Refererte episoder i juni har trolig sammenheng med anleggsvirksomheten. Økt turbiditet i forbindelse med nedbør har skjedd som følge av avrenning fra vegetasjonsfrie arealer nær Vigga. Økning i perioder uten nedbør kan ha sammenheng med pumping av vann fra anleggsområder, eller gravearbeider i vann. I den aktuelle perioden pågikk det arbeider ved brua på Vøien, og ved Vøienbekken. Episodene oppstod i perioder med lav vannføring, da utslipp av partikler får størst negativ effekt for vannlevende organismer. Episodene vurderes å kunne ha gitt periodisk tilslamming av elvebunn og dårligere levevilkår for fisk og kreps i områdene nær utslipp.

I perioden 02. - 08. august ble det også målt flere episoder med økt turbiditet ved stasjonen VN. Den 02. august ble det målt en økt turbiditet (50- 225 NTU) over 5 timer. Det ble ikke registrert nedbør denne dagen. Den 04. ble det registrert mye nedbør (37,4) og stor økning i turbiditet, som tidligere omtalt. Turbiditet økte både oppstrøms og nedstrøms, men målinger nedstrøms viste høyere verdier. Avrenning fra anleggsområder har trolig bidratt til økt turbiditet. Fra nedbørshendelsen den 04. august og nesten til den 08. august sank ikke turbiditet under 10 NTU. I løpet av denne perioden var det også noen episoder hvor turbiditet økte opp og hadde maksverdier i størrelsesorden 100 - 900 NTU. Trolig var arbeider ved Vøien hovedårsaken til målt endring i turbiditet.

Den 06. august økte turbiditet kraftig både oppstrøms (> 1000 NTU) og nedstrøms (890 NTU). Det var ikke registrert nedbør denne dagen. Det kan være arbeider oppstrøms stasjonen VO som har forårsaket dette.

Fra den 20. til den 22. august ble det, som den 06. august målt økt turbiditet ved stasjon VO. Det ble målt to kortvarige høye topper den 20. august, hhv 1070 og 890 NTU, som kan ha vært nedbørsindusert. Deretter viser målinger oppstrøms periodisk økt turbiditet (20-80 NTU) ut den 22. august. Det kan tyde på at det i denne perioden har vært avrenning av partikler fra en kilde, mulig anleggsrelatert, oppstrøms stasjonen VO.

12. september viste en enkeltmåling turbiditet på 1210 NTU ved stasjonen nedstrøms, som trolig hadde sammenheng med anleggsvirksomhet.

Den 20. september ble det gjort ny enkeltmåling med høy turbiditet ved stasjonen oppstrøms på (480 NTU), målingen finnes igjen nedstrøms som topp på 46 NTU.

Målinger den 03. og 04. oktober viste to episoder ved stasjonen VN hvor turbiditeten økte til hhv 1800 og 1590 NTU. Begge episodene hadde en varighet på 3-4 timers, og antas å ha sammenheng

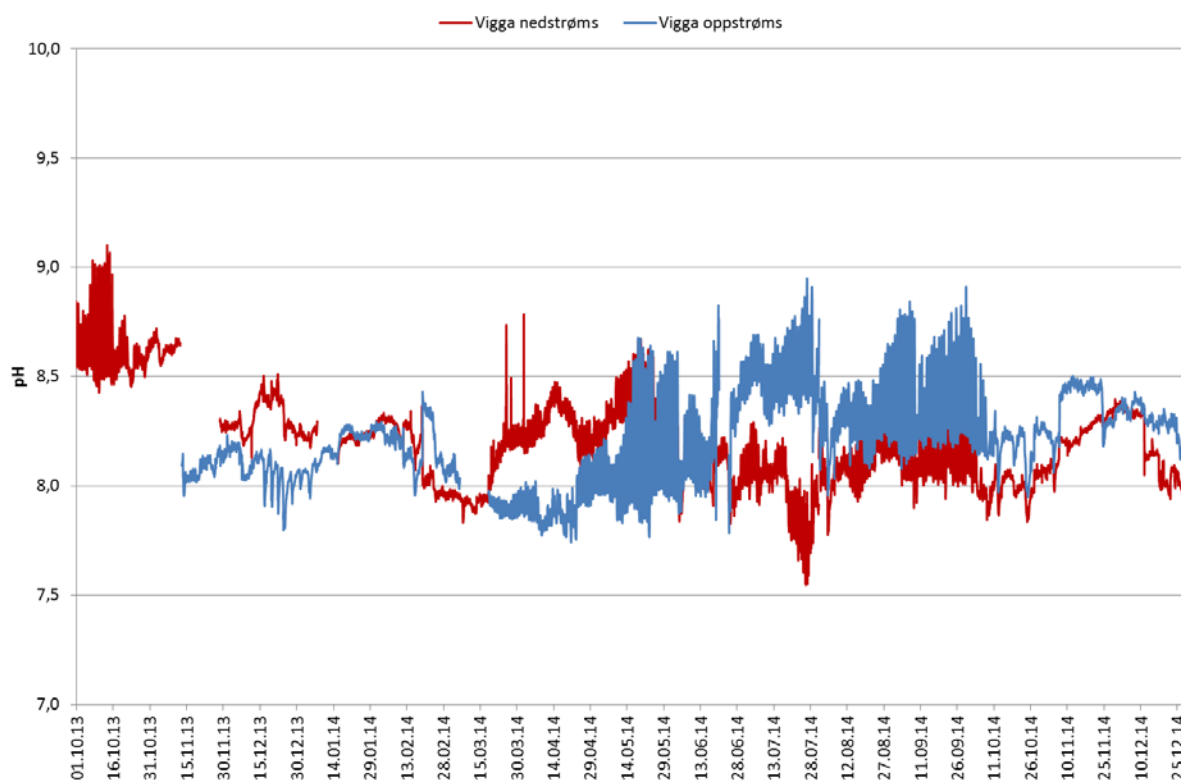
med anleggsaktivitet ved Vøien. Episoden den 04. oktober oppstod fordi det ble nødvendig å øke kapasiteten i kulvert/rør under midlertidig anleggsvei som følge av høstflommen.

Senere i oktober og i november viste flere målinger kortvarig økning i turbiditet på 50-300 NTU i forbindelse med nedbørshendelser. Anleggsområdene ved Vøien antas å bidra til økt partikkelavrenning til Vigga i disse periodene.

Den 20. desember viste to målinger økt turbiditet (200-300 NTU) ved stasjonen oppstrøms i Vigga. Det ble ikke registrert nedbør denne dagen.

3.4 pH

Målingene viser at pH gjennom overvåkingsperioden har variert mellom pH 7,6 og 9,1 på stasjonen nedstrøms og pH 7,8 og 8,9 oppstrøms (figur 6). Innsamlede data viser at det ikke har forekommet brå og større endringer i pH som kan knyttes til anleggsvirksomheten. Bruk av sementbaserte tetningsmidler, sprøytebetong og betong kan gi store utslag i pH, og kan i verste fall gi akutt toksiske forhold i elven. Slike forhold har det ikke blitt målt i Vigga. Det har imidlertid blitt målt mindre endringer i pH som kan ha sammenheng med bruk av sement eller betong den 25. og 27. mars, og den 01. april. Disse episodene gav en kortvarig pH økning på mellom 0,3 - 0,6 pH-enheter. Forskjell i pH mellom stasjonen oppstrøms og nedstrøms i mars/april kan skyldes tilførsel av vann med høyere pH fra tunnelarbeider.



Figur 6: pH ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

Ved flere tilfeller gjennom overvåkingsperioden ble det målt lavere pH ved store nedbørsmengder. Endringene var i størrelsesorden 0,1 - 0,3 pH-enheter. Dette er en normal nedbørsstyrt prosess som vi påviser på de fleste målestasjoner.

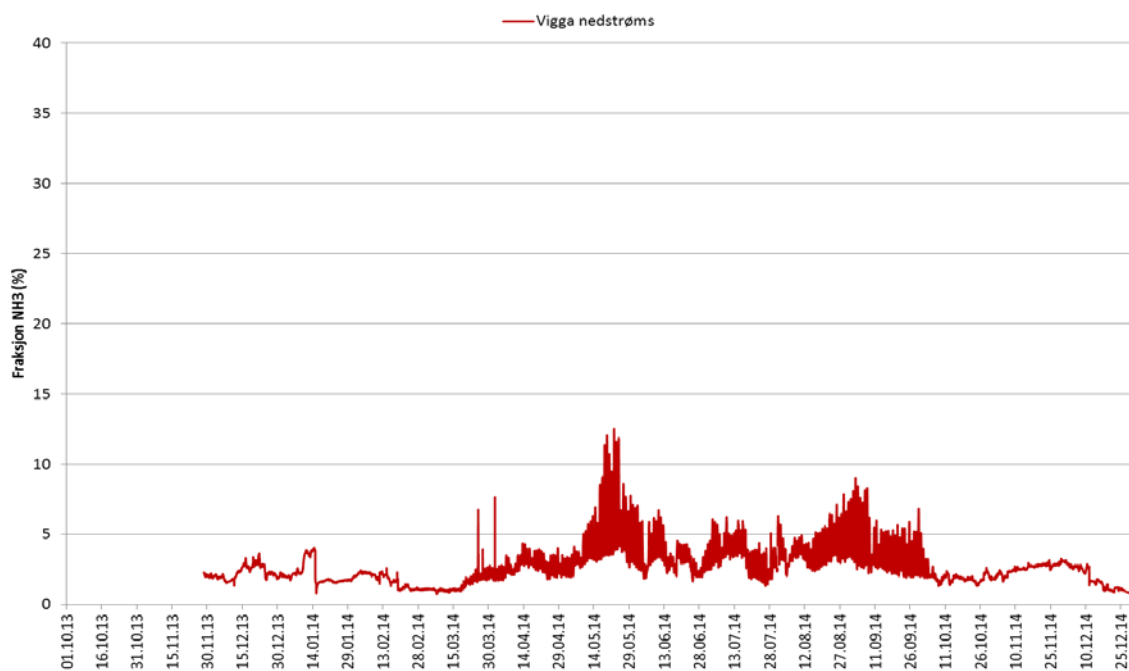
For målingene gjort i oktober 2013 lå kalibreringen i pH sonden ca. 0,3 -0,4 pH-enheter for høyt som følge av at målingene hadde driftet. Ved feltbesøk ble det avdekket at sonden var skadet. Data for perioden 12. - 28. november er derfor fjernet. Data for perioden 07. - 16. januar ble også fjernet, som følge av feil på målesonden.

Variasjonene i pH er store gjennom året, og er sesongavhengig. Store variasjonene i pH har sammenheng med biologisk aktivitet, alger og vannvegetasjon, produksjon og respirasjon. I løpet av dagen, når plantene og algenes produksjon er størst forbrukes CO₂, noe som medfører en økning i pH. På natten, uten fotosyntese, vil pH synke igjen.

Forskjeller i pH mellom stasjonen oppstrøms og nedstrøms i juni/juli har trolig sin naturlige forklaring. Dette er en periode med meget godt vær og høye temperaturer (som fremgår av målt vanntemperatur, figur 4). Ved for stor tilgang på sollys kan algevekst og produksjon stoppe opp. Elven ved stasjonen nedstrøms er lite beskyttet mot sollys, mens elven ved stasjonen oppstrøms blir i større grad skjermet for direkte sollys. Sterkere døgnvariasjoner på stasjonen oppstrøms kan tyde på at dette er tilfellet.

Alger kan benyttes som en biologisk indikator. Når målinger av pH tyder på at algene ikke produserer slik som tidligere, er det naturlig å anta at leveforhold for både bunndyr og fisk også er påvirket. Det kan være flere årsaker redusert algevekst og endret mønster for døgnvariasjoner i pH. En av disse er redusert lystilgang, som kan oppstå både naturlig og anleggsrelatert. Under partikkelutslippene i periodene 05. - 16. juni og 02. - 08. august, som beskrevet i avsnittet om turbiditet, ser det ut til at økt turbiditet har gitt skyggeeffekt og begrenset algenes primærproduksjon.

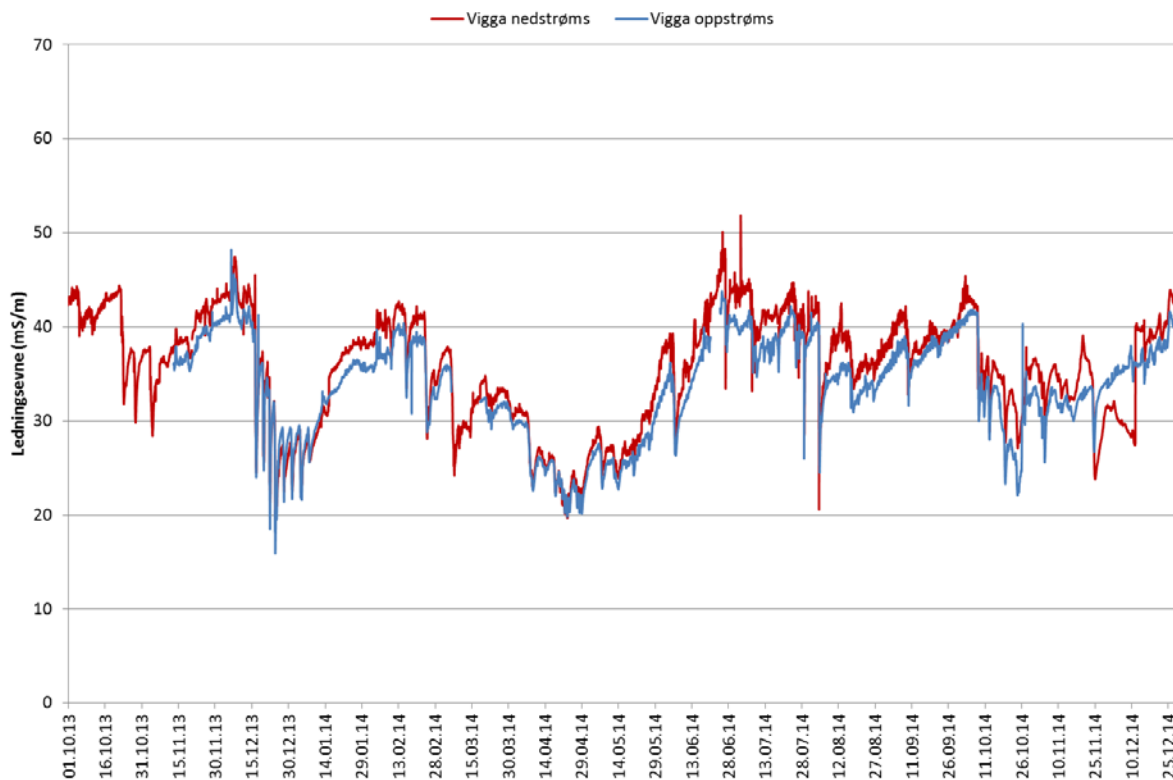
Sammen med høye vanntemperaturer kan høy pH gi forhold som legger til rette for dannelse av ammoniakk (NH₃). NH₃ er toksisk og kan selv i små konsentrasjoner (0,01 mg NH₃/l) være toksisk for de mest sensitive ferskvannsorganismene. Konsentrasjoner over 1 mg NH₃/l vil være akutt toksisk. Faren for dannelse av toksisk NH₃ oppstår ved utslipp, eller avrenning, av anleggsvann med høye konsentrasjoner av uomsatt sprengstoff (ammoniumnitrat, NH₄NO₃). Ammonium (NH₄) opptrer i likevekt med NH₃ og økende vanntemperatur og pH vil forskyve likevekten mot toksisk NH₃. Figur 7 viser hvordan dette forholdet har endret seg gjennom overvåkingsperioden. I følge denne beregningen tilsa forholdene den 22. mai (pH 8,6 og vanntemperatur 15,2) størst fare for dannelse av toksisk NH₃, med et teoretisk forhold NH₄/NH₃ på 87/13. På dette tidspunktet var også vannføringen nedadgående, noe som vil øke faren for toksiske effekter da fortynningen av anleggsvannet blir mindre.



Figur 7: teoretisk forhold mellom NH₄ og NH₃, beregnet fra vanntemperatur og pH, ved stasjonen nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

3.5 Ledningsevne

I løpet av overvåkingsperioden er det målt ledningsevne i mellom 16,5 mS/m og 52 mS/m (figur 8). Årsaken til variasjonen skyldes hovedsakelig fortynningseffekter ved nedbørshendelser. Det er ikke målt større avvik mellom stasjonene VO og VN enn 13 mS/m (28. juni). Dette skjer under en periode med lav vannføring, hvor tilførsler av rensert anleggsvann blir lite fortynnet. Overvåking av ledningsevne viser ingen store endringer i vannkvalitet forårsaket av anleggsvirksomheten.



Figur 8: ledningsevne ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. oktober 2013 - 31. desember 2014.

4. Sammenfattede vurderinger

Målingene i overvåkingsperioden viser at det har vært flere episoder hvor avrenning, utpumping eller arbeid ved anleggsområdene sannsynligvis er årsaken til økt turbiditet i Vigga. Enkelte av episodene er kortvarige, og har således hatt begrenset betydning for vannkvaliteten.

Flere episoder med høy turbiditet over flere timer er mer alvorlig med hensyn på vannkvaliteten, spesielt når disse inntreffer under perioder med liten vannføring. I perioden 05.- 16. juni og 02. - 08. august var det hendelser med stortilførsel av partikler ved liten vannføring. Målinger av pH indikerte skyggeeffekter på algesamfunnet forårsaket av økt turbiditet.

Målinger av pH og ledningsevne gjennom overvåkingsperioden ga ingen indiksjoner på endringer av vannkvaliteten som følge av utslipp fra anleggsområdene (med unntak av nevnte skyggeeffekter).

Episoder med utslipp av partikler kan ha påvirket livet i Vigga, men effektene har stort sett vært kortvarige. Det er grunn til å tro at enkelte områder, som rundt Vøien og Vøienbekken og ved renseanleggets utslippspunkt til Vigga, har vært hardere belastet. I disse områdene kan det ha oppstått lokale effekter på fisk og bunndyr som følge av tilslamming eller dårlig vannkvalitet. Effektene vil være kortvarige da innlagret slam vil spyles videre ved neste storflom. Fisk, kreps og bunndyr vil raskt rekolonisere disse områdene når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg. Den potensielt berørte stekningen av Vigga er vurdert som en sterkt modifisert elvestrekning, med store tilførsler av jordpartikler fra jordbruket. Livet i Vigga er tilpasset periodisk høy partikkelkonsentrasjon. Slik forventes det ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapte episoder med høye konsentrasjoner av jordpartikler.

5. Referanser

Leikanger, E. og Roseth, R. 2013. Miljøovervåkning i Vigga i perioden 30.04.13 - 18.09.13. Bioforsk notat 25.09.13.

Leikanger, E. og Roseth, R. 2014. Miljøovervåkning Rv4 Gran grense - Jaren i perioden 29. november 2013 til 17. januar 2014. Bioforsk notat 20.01.14.

Roseth, R., Woldstad, L. og Bye, F. N. 2011. Rv7 Ramsrud - Kjeldsbergsvingene. Sluttrapport miljøovervåking anleggsfase. Bioforsk Rapport 6(137).

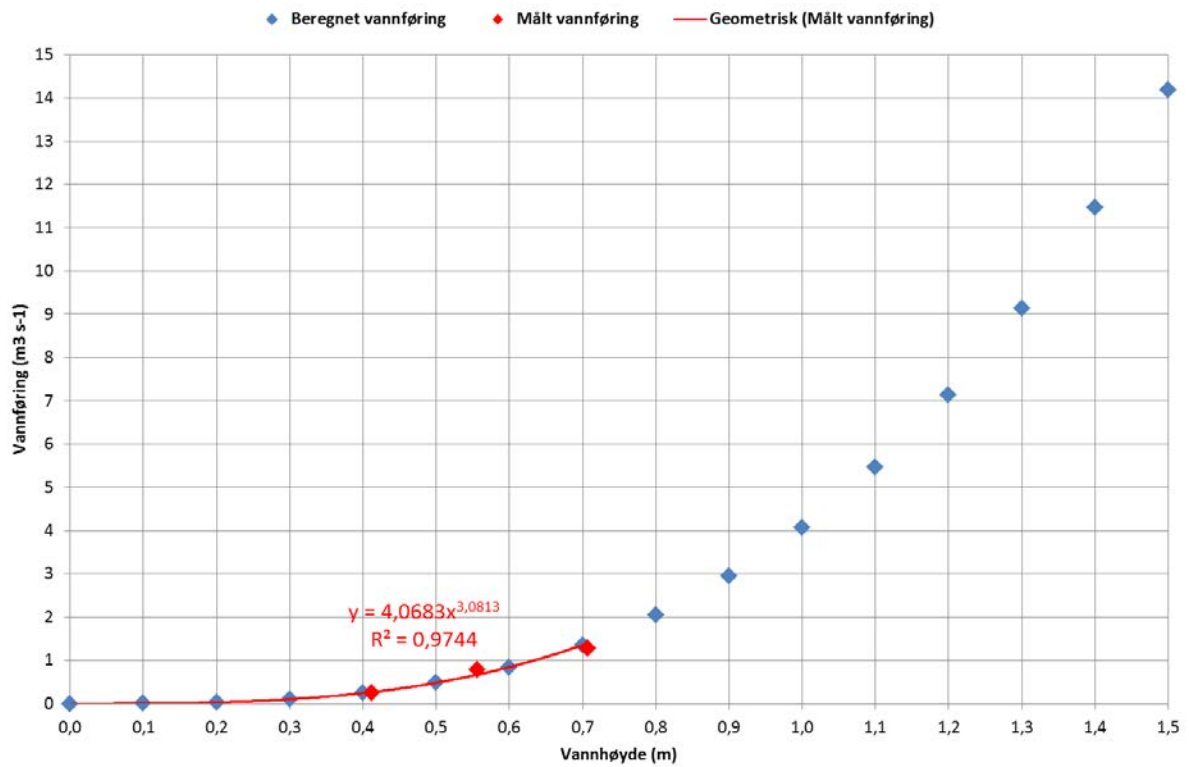
Vedlegg:

Vedlegg 1: Vannføringskurve Vigga nedstrøms

Vedlegg 2: Vannføringsmålinger Vigga nedstrøms

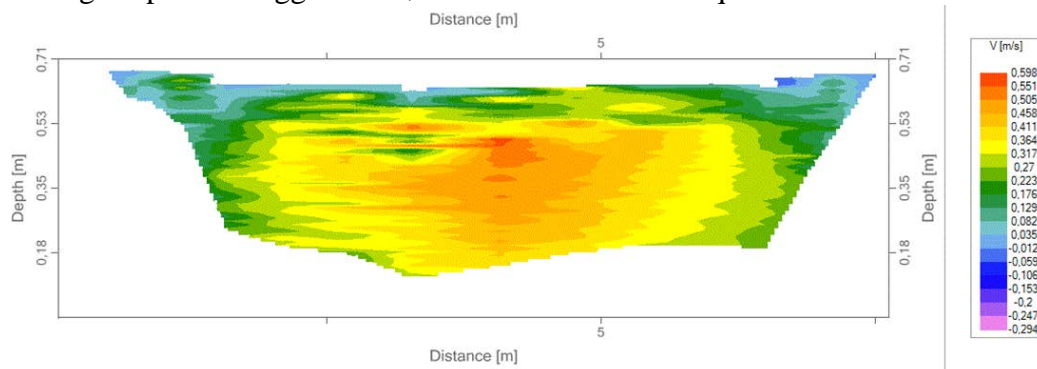
Vedlegg 1: Vannføringskurve Vigga nedstrøms

Figuren viser sammenheng mellom vannføring og vannhøyde ved målepunktet Vigga nedstrøms.

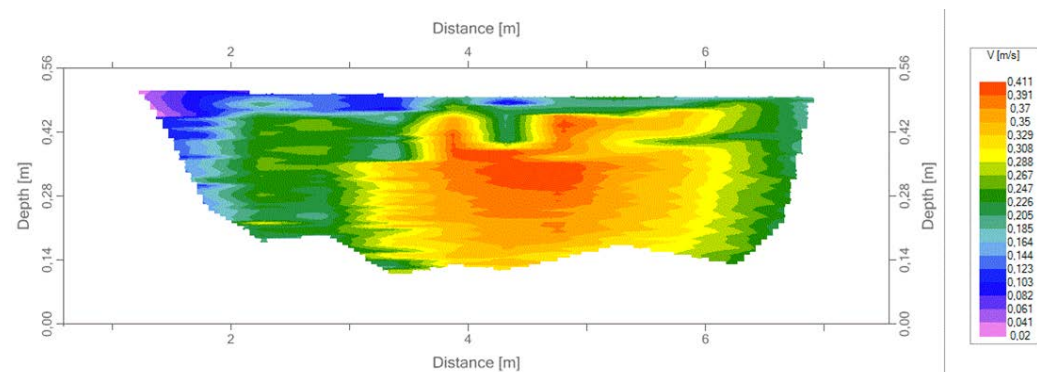


Vedlegg 2: Vannføringsmålinger Vigga nedstrøms

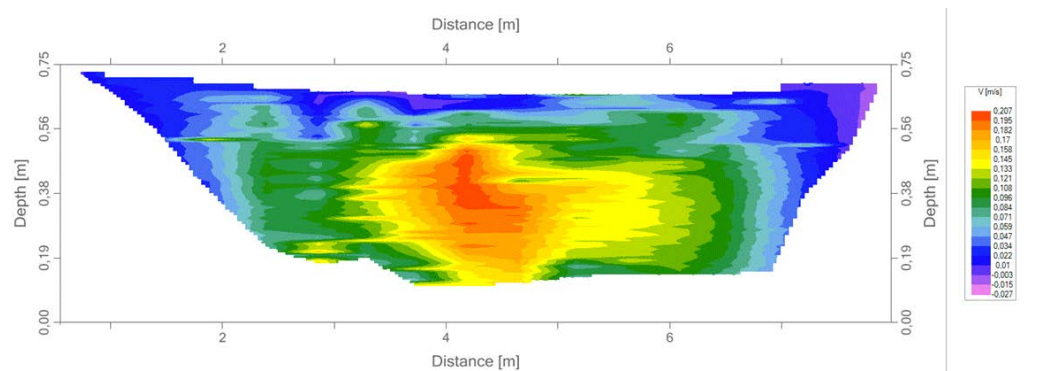
Hastighetsprofil i Vigga nedstrøms målt med SEBA AquaProfiler.



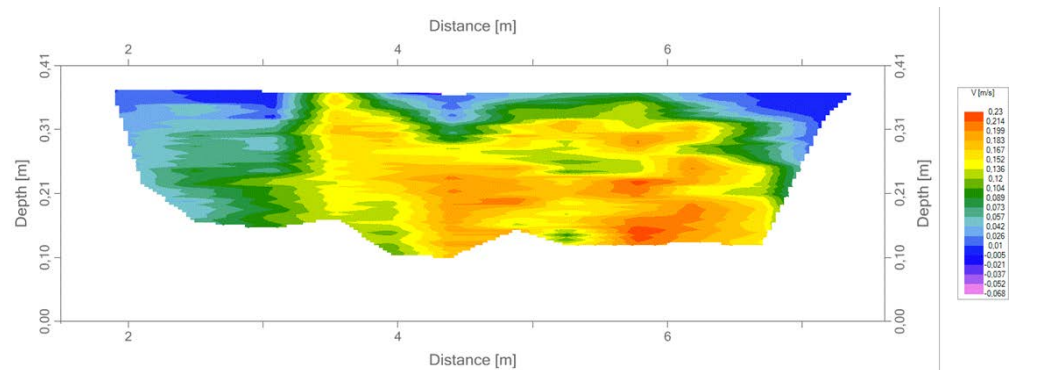
Figur 9: Hastighetsprofil Vigga nedstrøms 5. mai 2014.



Figur 10: Hastighetsprofil Vigga nedstrøms 23. mai 2014.



Figur 11: Hastighetsprofil Vigga nedstrøms 13. august 2014.



Figur 12: Hastighetsprofil Vigga nedstrøms 3. september 2014.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT

VOL.: 1, NR.: 86, 2015

Ny Rv4 Gran grense – Jaren

Miljøovervåkning i Vigga, status 1. november 2015

TITTEL/TITLE

NY RV4 GRAN GRENSE – JAREN

MILJØOVERVÅKNING I VIGGA, STATUS 1. NOVEMBER 2015

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

EIRIK LEIKANGER, ROGER ROSETH, GEIR TVEITI, THOR-ENDRE NYTRØ OG ØISTEIN JOHANSEN

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
25.11.2015	1(86)2015	Lukket	8572	
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01502-4	Versjon nr. 01		19	0

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Statens Vegvesen, Prosjekt Vestoppland

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Malin Torp

STIKKORD/KEYWORDS:

Statens Vegvesen, Rv4 Gran grense – Jaren, turbiditet, partikler, pH, miljøovervåking,

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljøovervåking, Vannkvalitet

SAMMENDRAG/SUMMARY:

I forbindelse med utbyggingen av Rv4 Gran grense - Jaren har Bioforsk på oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) gjennomført automatisk overvåking av vannkvaliteten i Vigga. Vigga renner gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4, og er primærresipient for anleggsarbeidene. Det er derfor opprettet to overvåkningsstasjoner i Vigga, oppstrøms arbeidene ved Vøien og ved Hofsbrua nedstrøms Gran sentrum.

Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013, og vegen skal etter planen stå ferdig i 2016. Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. januar 2015 til og med 1. november 2015.

I løpet av overvåkningsperioden har målestasjonene avdekket flere episoder med høy turbiditet, både i forbindelse med naturlig avrenning og det som sannsynligvis var anleggsrelatert avrenning. Episoder i perioden 15.- 18. februar ga høye verdier for turbiditet. Flere episoder ga en maksimal turbiditet i størrelsesorden 530 - 924 NTU. Den 23. februar, 01. mars, 05.-06. mars, 05. april, 26. april, 01. mai, 13. juli, 31. august – 01. september og 08. oktober ble det også avdekket episoder med økt turbiditet som sannsynligvis kan relateres til anleggsvirksomheten. Målinger av pH og ledningsevne gjennom overvåkningsperioden ga ingen indikasjoner på endret av vannkvalitet som følge av utslipp fra anleggsområdene.

Episoder med utslipp av partikler kan ha påvirket livet i Vigga, men hendelsene har stort sett vært kortvarige. I nærområdene for utslipp eller uheldig avrenning (spesielt ved Vøien og utslippspunktet fra anleggsområdet ved Grantunnelen) kan det ha oppstått lokale effekter på fisk og bunndyr som følge av

tilslamming eller dårlig vannkvalitet. Effektene vil være kortvarige da akkumulert slam vil spyles videre ved neste storflom. Områdene vil raskt rekoloniseres med normal fauna når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg. Bunndyr og fisk i Vigga er tilpasset et liv med periodisk høy partikkelbelastning. Det forventes ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapte episoder.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Oppland
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Gran
STED/LOKALITET: Gran

GODKJENT /APPROVED



TROND MÆHLUM

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



EIRIK LEINAGER

FORORD

På oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) har NIBIO (tidl. Bioforsk) gjennomført automatisk overvåking av vannkvaliteten i Vigga. Overvåking har vært utført ved to målepunkter/stasjoner. Den første stasjonen ble satt i drift i april 2013, som en del av forundersøkelsene før anleggsfasen (Leikanger og Roseth, 2013). Ved anleggsoppstart, oktober 2013, ble det etablert en ny stasjon i Vigga.

Eirik Leikanger har vært prosjektansvarlig fra NIBIO. NIBIO sin måletekniske gruppe med Øistein Johansen, Geir Tveiti og Thor-Endre Nytrø har vært ansvarlig for utsetting og vedlikehold av utstyr, samt presentasjon av data på nettbasert portal for vannovervåking. Eirik Leikanger og Roger Roseth har vært ansvarlig for kvalitetssikring, bearbeiding og rapportering av innsamlede data.

Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. oktober 2013 til og med 1. januar 2015.

Ås, 25.11.15

Eirik Leikanger

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	4
INNHOLDSFORTEGNELSE	5
1 INNLEDNING.....	6
2 MILJØOVERVÅKING	7
2.1 Overvåkingsstasjoner	7
2.2 Multiparametersensorer og loggere	8
2.3 Værdata.....	9
3 RESULTATER OG DISKUSJON	10
3.1 Nedbør, vannstandsendringer og vannføring	10
3.2 Vanntemperatur.....	11
3.3 Turbiditet.....	12
3.4 pH	14
3.5 Ledningsevne.....	16
4 SAMMENFATTEDE VURDERINGER	18
REFERANSER.....	19

1 INNLEDNING

I Gran kommune på Hadeland, fra kommunegrensen Lunner og Gran og til Jaren, bygger Statens vegvesen ny firefelts veg (Rv4 Gran grense – Jaren). Den nye Rv4 strekker seg over 9,3 kilometer og inkluderer bygging av 1,7 km tunnel, med to løp, utenom Gran sentrum. Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013, og veggen skal etter planen stå ferdig i 2016.

Elven Vigga er primærresipient for avrenning fra ny Rv4. Øvre del av Vigga renner gjennom Roa, hvor tilløpsekker fra Elgsjøen og Kalvsjøtjernet renner ut i Vigga. Fra Roa renner Vigga gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4. Øvre del av Vigga har utløp til Jarenvannet, og drenerer et nedbørsfelt på ca. 83 km². Midlere årsavregning for dette feltet er ca. 1,2 m³/s (Holmquist, 2004). Jarenvannet dekker et areal på om lag 1,7 km² og drenerer til nedre del av Vigga, som har utløp til Randsfjorden ved Brandbu. Vigga er en del av vannområde Randsfjorden.

En strekning på ca. 6,5 km kunne bli påvirket av anleggsaktivitetene. I den potensielt berørte strekningen av Vigga er elveløpet stedvis sterkt modifisert, både ved kanalisering og senkning av elveløpet. Langs elva ligger det store jordbruksarealer med avrenning til vassdraget via overflatevann og drenering. Tilførsler av forurenset vann fra arbeid med Rv4 kan ledes direkte til Vigga via drencsystemene, eller tilførsler kan skje diffust gjennom terrengavrenning. Partikkelforurensning vil være mest sannsynlige forurensningsrisikoen ved arbeid i dagsonen, men også avrenning med høy pH fra områder hvor det benyttes betong. Arbeid direkte i vannkanten, slik som ved traseens krysningspunkt ved Vøien, eller ved omlegging av bekkeløp gir spesielt stor risiko for påvirkning av vannkvaliteten. Ved tunnelarbeider vil vann med høy pH, forårsaket av sementbaserte tetningsmidler og sprøytebetong, partikler fra tunneldriving og nitrogenavrenning fra uomsett sprengstoff være viktige forurensningskilder. Vann fra tunneldriving har som regel svært dårlig vannkvalitet og ledes derfor til kontainerbasert renseanlegg for nøytralisering av pH og sedimentering av partikler.

Store deler av ny trasé for Rv4, inklusive tunnel, anlegges i kontakt med skiferholdig berggrunn. Blant disse er alunskifer og noen svartskifre de mest problematiske bergartene. Det er lite sannsynlig at det vil forekomme sur avrenning av skiferbergarter i forbindelse med tunneldrivingen, grunnet forbruk av sementbaserte tetningsmidler. I skjæringer og fra områder med mellomlagring kan det imidlertid forekomme sur avrenning som følge av forvitring med dannelse av sulfat og svovelsyre.

Viktige utfordringer i anleggsfasen er riktig håndtering av kilder til forurensning (Roseth et al. 2011):

- Renset anleggsvann fra tunneldriving
- Avrenning fra erosjonsutsatte områder i dagsone
- Lensevann fra byggegrop
- Avrenning fra riggområder og deponier

I henhold til Ytre Miljø Plan (YM-Plan) for Rv4 Gran grense - Jaren skal rensed anleggsvann fra tunnelområdet sør for Gran sentrum føres til utslipp i Vigga. Videre skal anleggsvann langs traseen føres diffust til terreng.

Fylkesmannens utslippstillatelse gir tillatelse til utslipp av vann med partikkelinnhold på opptil 100 mg SS/l. pH skal ligge mellom 6 og 9. Det ble også fastsatt grenseverdier for utslipp av metaller, men disse omtales ikke i denne rapporten.

2 MILJØOVERVÅKING

2.1 Overvåkingsstasjoner

I Vigga er det etablert to stasjoner hvor det ble utplassert multiparametersensorer (MPS) for on-line måling av vannkvalitet. Stasjonene er lokalisert oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) utslippspunktet i Vigga. Figur 1 viser målestasjonenes plassering og deler av parsellen Rv4 Gran grense – Jaren, inklusive deler av tunnellopet.



Figur 1: Plassering av målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga, samt plassering av renseanlegg og utslippspunktet i Vigga. Gule linjer viser parsellen Rv4 Gran grense – Jaren, samt planlagte miljøgate gjennom Gran sentrum. Sørvendt påslag til Grantunnelen ligger høyre for markøren (rosa) som viser renseanlegget. Den oransje markøren viser utslippspunktet for rensset tunnelvann til Vigga (kart: Statens Vegvesen).

Stasjonen oppstrøms (VO) er plassert om lag 150 m oppstrøms anleggsområdet ved Vøien, der ny Rv4 trasé krysser Vigga. Fra VO og ned til utslippspunktet for rensset tunnelvann er det ca. 950 m. Bilde 2 viser plassering av stasjonen VO. Automatiske målinger ved stasjonen oppstrøms ble påbegynt i november 2013. VO ble flyttet ved 2 tilfeller i løpet av måleperioden som presenteres i rapporten.



Bilde 1: Målestasjonen "Vigga oppstrøms - VO". Stasjonen er plassert ved bro oppstrøms anleggsområdet på Vøien.

Stasjonen nedstrøms (VN) er plassert ved Hofsbrua (rød markør i figur 1), ca. 1800 m fra utslippspunktet. Stasjonen nedstrøms ble satt i drift som referansemålinger, og målingene har pågått siden 30. april 2013 (Leikanger og Roseth, 2013).



Bilde 2: Målestasjonen "Vigga nedstrøms - VN". Stasjonen er plassert nedstrøms anleggsområdet ved Hofsbrua. Stasjonen vil fange opp avrenning fra Vøien, tunnelpåslaget og avrenning fra Gran sentrum.

2.2 Multiparametersensorer og loggere

For on-line målinger på stasjonene blir det benyttet logger av typen SEBA LogCom-2 logger og multiparametersensor av typen SEBA MPS-D8 sonde (bilde 3). MPS har sensorer for måling av vannhøyde, vanntemperatur, ledningsevne, pH og turbiditet. For turbiditet brukes det sensorer med måleområde 0-1000 NTU oppstrøms og 0-3000 NTU nedstrøms. LogCom-2 er tilpasset frittstående plassering med strømforsyning fra enkel batteripakke. Loggerne programmeres for ønsket måleintervall, grenseverdier og telefonnummer for alarmer, tidspunkter for overføring og navn på stasjon.



Figur 2: Multiparametersonde (MPS-D8) som er benyttet på stasjonene for kontinuerlige automatiske målinger.

På stasjonene gjøres det automatiske målinger med MPS hvert 30. minutt og data sendes til server for presentasjon på egen nettbasert portal for overvåkingsdata 3 ganger i døgnet. I data som presenteres i denne rapporten er feilmålinger tatt ut. Oversikt over utelatte data oppbevares hos Bioforsk og rådata er tilgjengelig på overvåkingsiden: <http://128.39.191.5/projects/login.php> (krever innlogging).

Begge målestasjonene ble programmert til å sende ut SMS-alarm ved pH-verdier som oversteg pH 9 eller understeg pH 6. For turbiditet sendes det ut alarmer ved turbiditet over 100 NTU.

Målestasjonene har blitt vedlikeholdt regelmessig av Statens vegvesen, som hovedregel med 14. dagers intervaller. I tillegg har Bioforsk utført utvidet vedlikehold og kalibrering ved behov.

I løpet av 2014 ble det gjennomført 3 vannføringsmålinger som ble benyttet for å etablere en kalibreringskurve for beregning av vannføring. Disse ble utført den 5. og 23. mai og den 3. september. Hensikten med vannføringsmålingene var å etablere en kalibreringskurve, slik at vannhøyde målt med MPS kunne benyttes for kontinuerlig estimering av vannføring. Punktet hvor vannføring ble målt var i utgangspunktet dårlig egnet for vannføringsmålinger, da det var et naturlig elveløp med varierende strømningsmotstand som følge av vekst av vannplanter. Det foreligger ikke kalibreringsdata for vannføringer lavere enn 0,45 m³/s eller vannføring over 1,5 m³/s. Det knytter seg derfor betydelig usikkerhet til estimeringen av vannføring utenfor dette intervallet. Basert på observasjoner er det grunn til å tro kalibreringskurver gir en overestimert vannføring, og at graden av feil øker med stor vannføring.

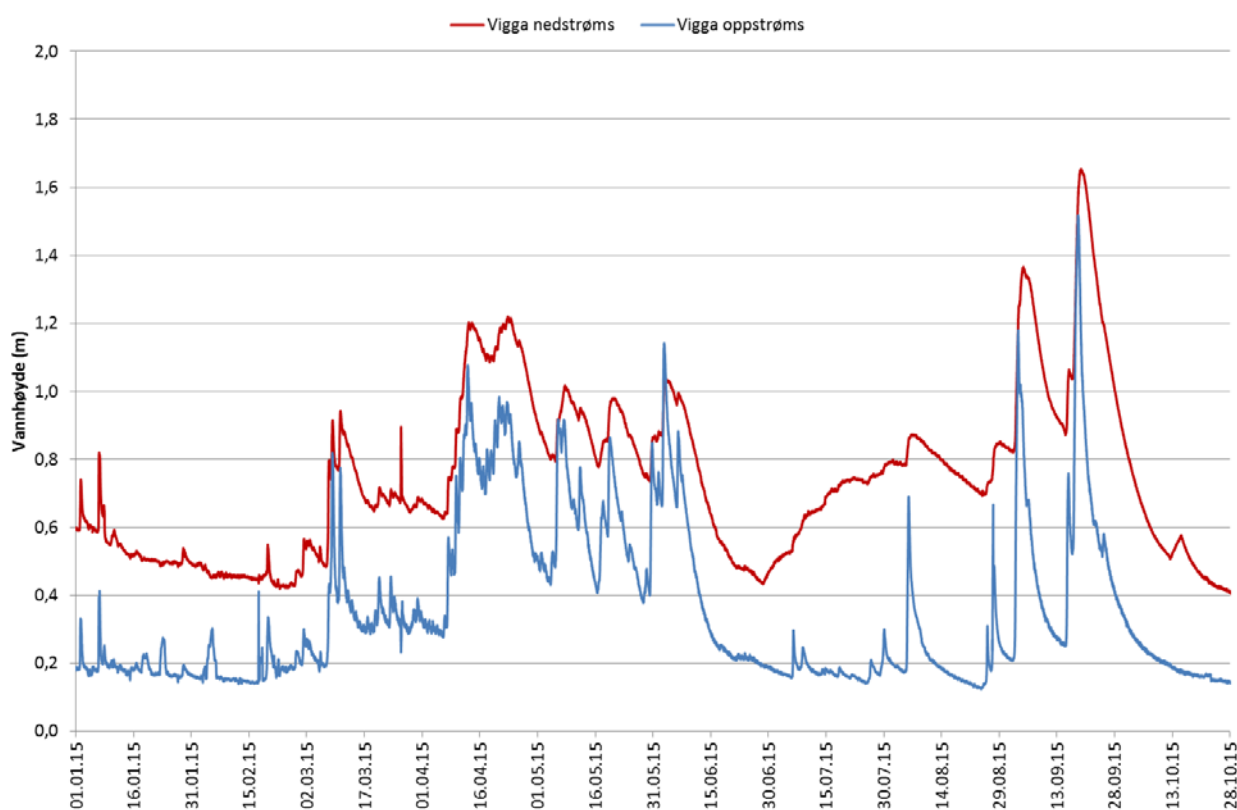
2.3 Værdata

Nedbørsmålinger er hentet fra Gran målestasjon. Stasjonen ligger i Gran Kommune 245 moh ca. 0,8 km sør for Gran sentrum. Nedbørsdata for Gran er tilgjengelig på: <http://www.yr.no/sted/Norge/Oppland/Gran/Gran/statistikk.html>

3 RESULTATER OG DISKUSJON

3.1 Nedbør, vannstandsendringer og vannføring

Figur 3 viser relative endringer i vannhøyden ved målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga. Elveprofilene (fall, bredde, vegetasjon) er svært ulike. Oppstrøms i Vigga er elveprofilen grunnere, smalere og har et større fall enn profilet nedstrøms. Dette gir blant annet større vannhastighet og erosjonspotensiale. Et slakt og bredt elveprofil ved VN kan gi partikler mulighet til å sedimentere. Endringer i vannhøyde og vannhastighet vil derfor være større ved stasjonen VO enn ved VN under og etter nedbør.



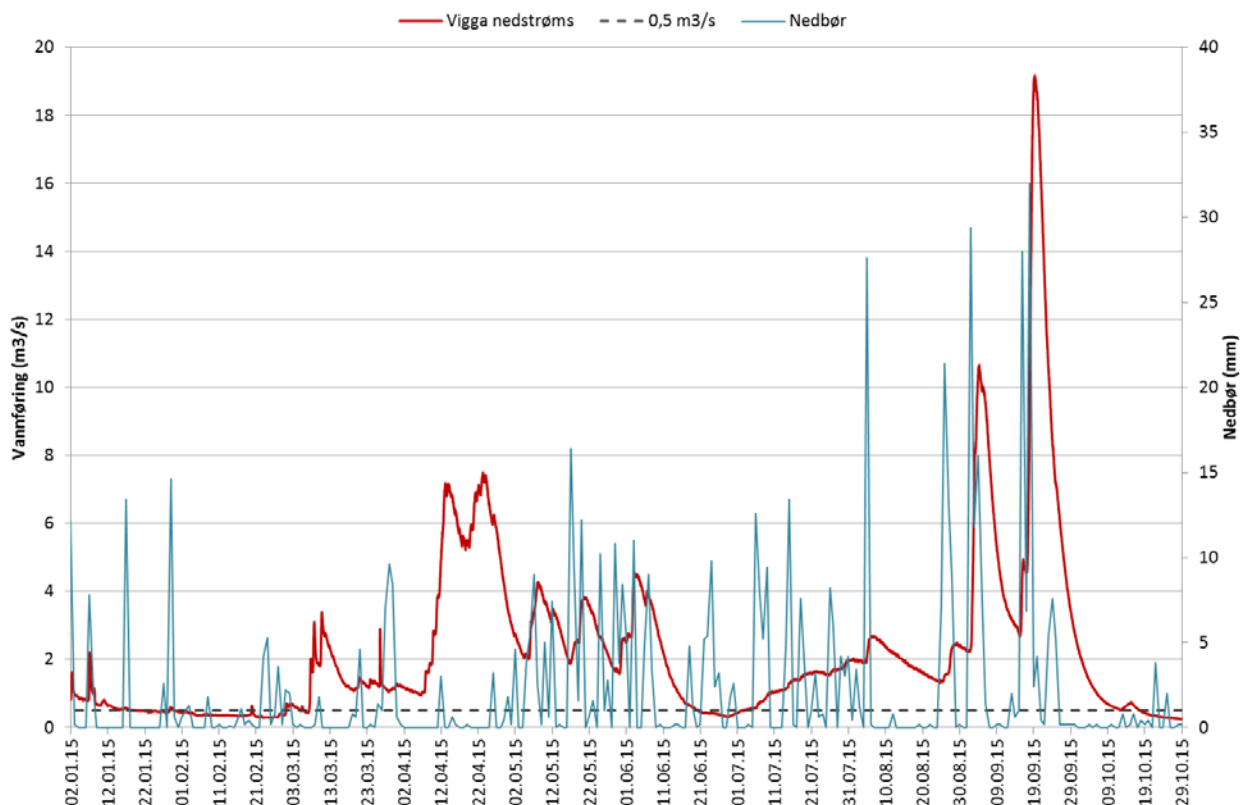
Figur 3: Vannhøyde ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

På stasjonen nedstrøms ble det etablert en kalibreringskurve for estimering av vannføring basert på målt vannhøyde (figur 2). Isdannelse over sonden på vinteren ga avlesninger av vannhøyde som ikke var korrekt, siden vannhøyde bestemmes ved måling av trykk. I likhet med sommeren 2014 ga begroing/oppdemning av elveleie i utover sommeren (fra medio juni) økt vannhøyde ved målepunktet (Leikanger et al. 2015). Siden vannføringen beregnes som en funksjon av vannhøyden, vil den beregnede vannføring overestimeres som følge av vegetasjonsutvikling. Dermed kan ikke den etablerte kalibreringskurven brukes for å beregne vannføring. Oppstivingen av vann ved målepunktet visualiseres ved å sammenligne endringer i vannhøyde mellom VN og VO (figur 3).

Vannføringsmålingene som lå til grunn for kalibreringskurven utført ved vannføringer mellom 0,4 og 1,5 m³/s. Estimert vannføring utenfor disse områdene vil derfor være unøyaktige. Hensikten med å etablere en vannføringskurve var å ha et mål på resipientens sårbarhet. Ved vannføring under 0,5 m³/s ble elven

karakterisert som ekstra sårbar for utslipp. Under disse periodene var oppfølgingen av utslipp fra anlegget tettere.

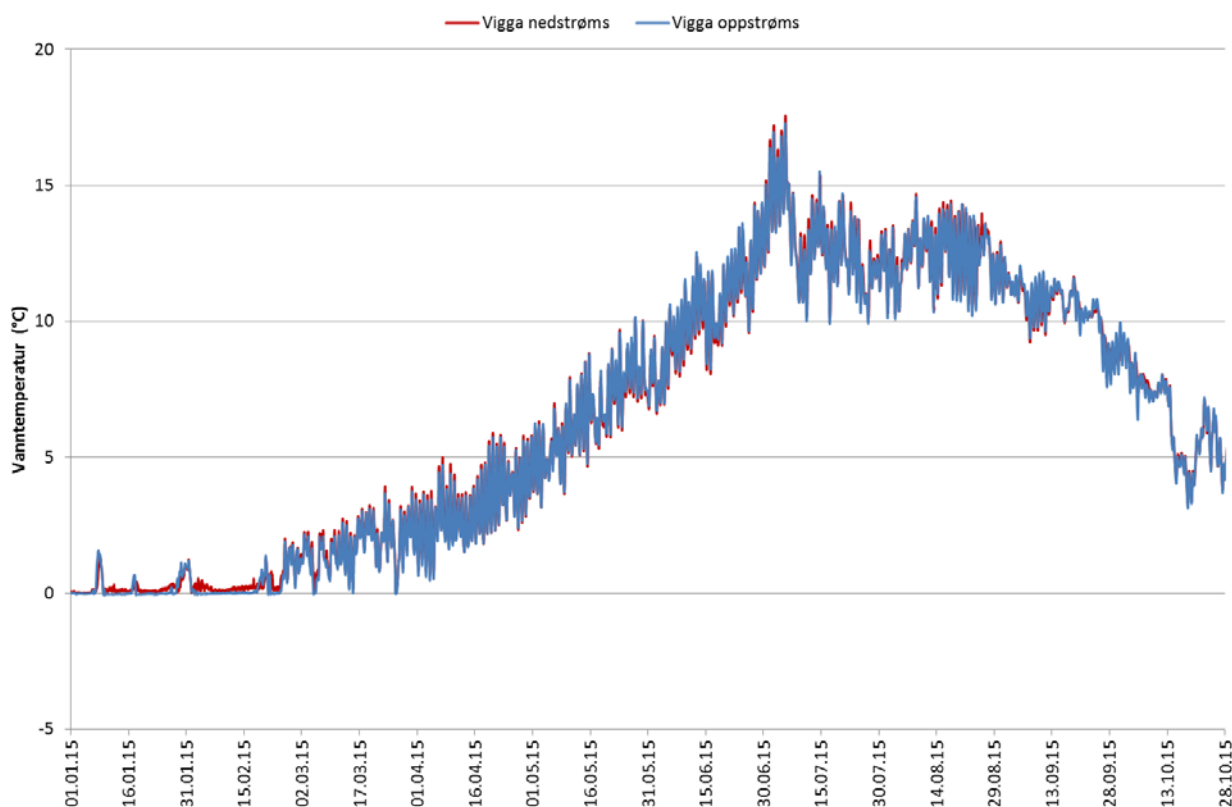
På bakgrunn av målingene, observasjoner gjort i felt samt oppstuvning og målt vannhøyde oppstrøms finner NIBIO det sannsynlig at vannføringen har vært lavere enn 0,5 m³/s, og dermed sårbar fra medio juni til begynnelsen av september og fra månedsskifte september/oktober og ut presentert måleperiode.



Figur 4: Estimert vannføring ved stasjonen nedstrøms (VN) og nedbørsmålinger fra Gran metrologiske stasjon for perioden 01. januar – 01. november 2015.

3.2 Vanntemperatur

Figur 5 viser vanntemperaturen i Vigga. Vanntemperaturer målt frem til månedsskiftet mars/april var påvirket av varmekablene som utgjør vintersikringen av målestasjonene. Disse målingene representerer derfor ikke den reelle vanntemperaturen i vannet. Vanntemperaturen kan imidlertid indikere mildværsperioder i løpet av vinteren og dermed avrenningsepisoder. I tillegg kan vanntemperatur si noe om perioder hvor forholdene ligger til rette for algevekst. Vanntemperatur er også viktig mhp dannelselse av toksisk ammoniakk (NH₃). Dette er nærmere omtalt i avsnitt 4.4.



Figur 5: Vanntemperatur ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

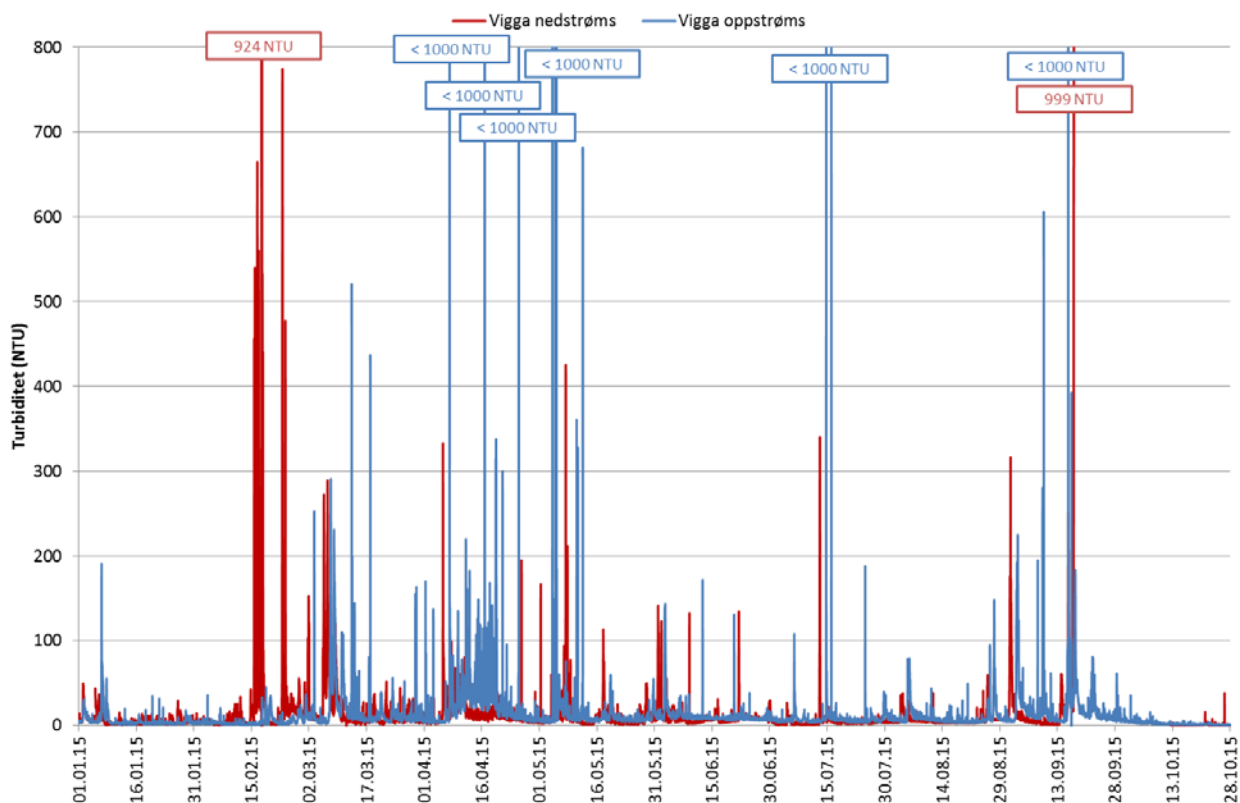
3.3 Turbiditet

Turbiditet er et indirekte mål på innholdet av partikler i vannet med måleenhet NTU (nephelometric turbidity unit). For et vassdrag eller et utslipp kan det etableres en kalibrering mellom målt turbiditet og innhold av partikler (suspendert tørrstoff angitt i mg SS/l). Sammenhengen vil kunne variere mellom ulike vassdrag og utslipp avhengig av partikkelstørrelse, partikkelform, humusinnhold med mer. Normalt sett tilsvarer 1 NTU fra 0,5 til 1,5 mg SS/l. Sammenhengen behøver ikke være lineær ved økende konsentrasjoner av partikler

Fra midten av februar til midten av mai viste overvåkingen flere episoder med høy turbiditet (figur 6). De fleste av episodene inntraff med økende vannføring/vannhøyde (figur 3 og 4). I sterkt modifiserte jordbrukspåvirkede vassdrag, slik som Vigga ved Gran, er det ikke uvanlig med stor partikkeltransport etter nedbør. Spesielt når det utføres vår- og høstbearbeiding av jordbruksarealer. Dette i kombinasjon med avrenning av smeltevann gir normalt store utslag på målingene. I 2013 og 2014 ble det målt flere episoder med turbiditet over 1000 NTU (også over 2000 NTU) som skyldes avrenning fra jordbruksarealer etter nedbør både oppstrøms og nedstrøms i Vigga (Leikanger og Roseth, 2013; Leikanger og Roseth, 2014; Leikanger et al. 2015).

Ved stasjonen oppstrøms (VO) er elveleie smalere og grunnere, slik at vannet har høyere vannhastighet enn ved stasjonen nedstrøms (VN). Derfor ble også de høyeste turbiditetsverdier målt ved VO. Våren 2015 viste målinger ved VO turbiditet over 1000 NTU i forbindelse med episoder som anatas å være naturlige avrenningsepisoder. Ved VN ble det ikke målt høyere turbiditet enn 450 NTU i forbindelse med disse episodene.

I løpet av sommeren og høsten ble det målt få episoder med høy turbiditet. Episodene med høyest målt turbiditet kan relateres til nedbør. Ved VO ble det målt noen få episoder med maksimal turbiditet over 1000 NTU, mens det ved VN ved et tilfelle ble målt turbiditet opp til 1000 NTU.



Figur 6: turbiditet ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

Overvåkingen har avdekket perioder der vannkvaliteten, i større eller mindre grad, var påvirket av partikler fra anleggsaktivitet. Sannsynligvis var dette tilfellet for hendelser i perioden 15. – 18. februar, 23. februar, 01. mars, 05.-06. mars, 05. april, 26. april, 01. mai, 13. juli, 31. august – 01. september og 08. oktober. Felles for alle nevnte episoder var at overvåkingen viste turbiditet over 100 NTU ved stasjonen nedstrøms.

I perioden 15. – 18. februar viste overvåking episoder med betydelig økt turbiditet. Daglig ble det målt episoder hvor maksimal turbiditet var i størrelsesorden 530 - 924 NTU. Fra begynnelsen av episoden til turbiditet var lavere enn 30 NTU igjen tok det mellom 11 – 22 timer. I dagene før 08. – 12. og 14. februar ble det også målt forhøyet turbiditet (maksimal turbiditet i størrelsesorden 30 - 50 NTU).

Den 23. februar ble det målt to kortvarige episoder med maksimale verdier på hhv. 772 NTU og 476 NTU. Episodene var sannsynligvis relatert til pumping av anleggsvann.

01. mars viste overvåkingen en episode med maksimal turbiditet på 150 NTU. Det tok 7 timer før turbiditet igjen var lavere enn 30 NTU. Tilsvarende økning ble målt **den 05. og 06. mars** der det var to episoder med maksimal turbiditet opp mot 300 NTU. Mellom maksimale verdier sank ikke turbiditet under 30 NTU. Fra begynnelsen av første episode til det ble målt under 30 NTU tok det om lag 43 timer. Episodene har trolig sammenheng med pumping av anleggsvann.

Den 05. april ble det målt økning i turbiditet med maksimal verdi på 331 NTU. Det tok 10 timer før turbiditet var under 30 NTU i etterkant av episoden.

Både 26. april og 01. mai viste enkeltmålinger turbiditet på hhv. 195 og 167. Varigheten på episodene var mindre enn en time.

Den 13. juli viste overvåkingen en episode med maksimal målt turbiditet på 340 NTU. Episoden hadde en varighet på 5 timer (> 30 NTU).

Fra den 31. august til den 01. september viste målingene forhøyet turbiditet i 19 timer (> 30 NTU). Maksimal målt turbiditet under episoden var 316 NTU.

Målinger av turbiditet, pH og ledningsevne på stasjonen VN var ute av drift fra 17. september. Nedbørepisoden denne dagen førte til nedgraving av MPS, som i sin tur førte til feilfunksjon på flere sensorer. Reparasjon av sonden ble utført den 12. oktober. I løpet av denne perioden ble det observert en episode **den 08. oktober** hvor vannet ved VN var tydelig blakket.

I tillegg ble det målt flere episoder gjennom hele måleperioden med turbiditet i størrelsesorden 10-30 NTU nedstrøms, som kan sammenheng med utslipp av fra renseanlegget. Tidligere studier av utslipp av rensed anleggsvann fra Grantunnelen har viste liknende utslag i turbiditet ved stasjonen VN (Leikanger og Roseth, 2014). Avstanden fra utslippspunktet og målestasjonen VN er om lag 1800 m. Dermed vil anleggsvann tilført Vigga bli vesentlig fortynnet før stasjonen. Blant annet har det blitt målt turbiditet ved utslippspunktet i Vigga på 870 NTU, mens målinger ved VN har vært lavere enn 10 NTU (Leikanger et al. 2015).

3.4 pH

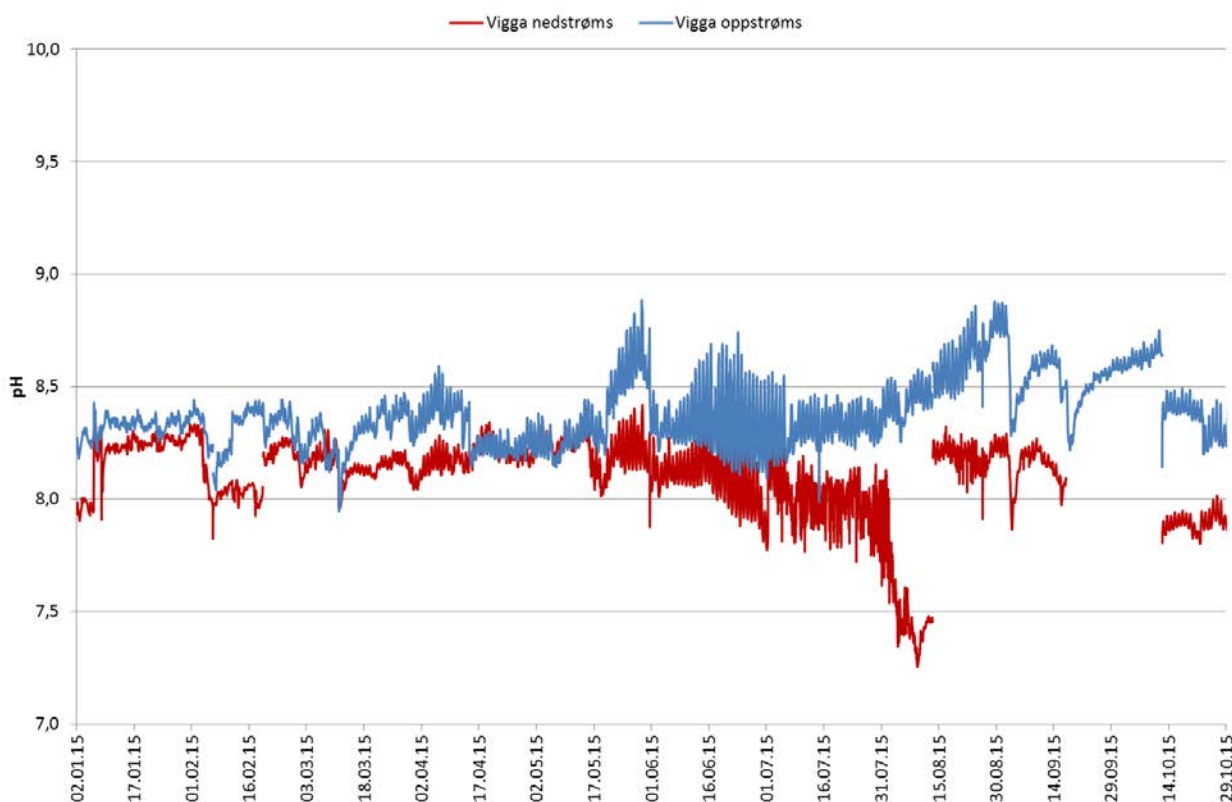
Overvåkingen viste at målt pH har variert mellom 7,9 – 8,9 ved VO og 7,3 – 8,5 ved VN (figur 7). Målt pH i månedsskiftet juli/august viste de laveste verdiene ved VN. Disse skyldes akkumulering av partikler på sonden grunnet manglende vedlikehold i ferien hvor anlegget var stengt. Sannsynligvis var ikke pH lavere enn 7,7 ved VN i denne perioden.

Gjennom døgnet varierer pH med den biologiske aktiviteten. På dagtid, når plantene og algenes produksjon er størst forbrukes CO₂, noe som medfører økt pH. På natten vil pH synke igjen fordi CO₂ frigjøres fra plantene (respirasjon). Variasjonene er også sesongavhengige og vil normalt være størst på sommeren.

Variasjoner i Vigga som har gitt rask reduksjon i pH var hovedsakelig relatert til nedbørepisoder. Endringene var i størrelsesorden 0,1 - 0,3 pH-enheter. Dette er en normal nedbørsstyrt prosess som vi påviser på de fleste målestasjoner.

Det ble ikke målt episoder med rask økning i pH som kan tyde på utslipp av f.eks. sementbaserte tetningsmidler, sprøytebetong, betong, syre eller andre kjemikalier.

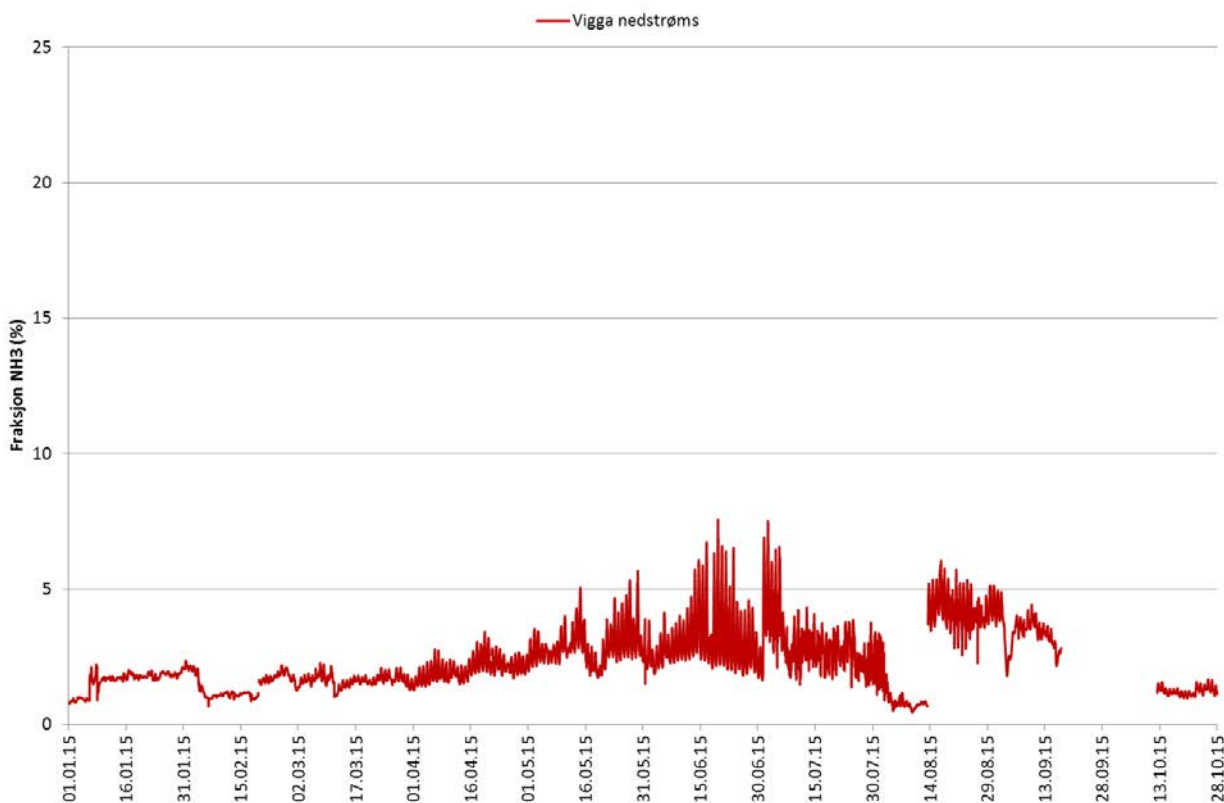
Alger kan benyttes som en biologisk indikator. Når målinger av pH tyder på at algene ikke produserer slik som tidligere, er det naturlig å anta at levetilstand for både bunndyr og fisk også er påvirket. Det kan være flere årsaker redusert algevekst og endret mønster for døgnvariasjoner i pH. En av disse er redusert lystilgang, som kan oppstå både naturlig og anleggsrelatert. I 2014 ble det målt 2 slike episoder (Leikanger et al. 2015). I 2015 har målingene av pH har ikke vist tegn til redusert algevekst i forbindelse med episodene hvor det antas at ble tilført partikler fra anleggsområdene.



Figur 7: pH ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

Høye vanntemperaturer i kombinasjon med høy pH kan medføre omdanning av ammonium (NH_4) til ammoniakk (NH_3). NH_3 er toksisk og kan selv i små konsentrasjoner (0,01 mg NH_3 /l) være en alvorlig trussel for de mest sensitive ferskvannsorganismene. Konsentrasjoner over 1 mg NH_3 /l er antatt å være akutt toksisk. Faren for dannelse av toksisk NH_3 oppstår ved utslipp, eller avrenning, av anleggsvann med høye konsentrasjoner av uomsatt sprengstoff (ammoniumnitrat, NH_4NO_3). Ammonium (NH_4) opptrer i likevekt med NH_3 . Økende vanntemperatur og pH vil forskyve likevekten mot toksisk NH_3 .

Figur 8 viser hvordan dette forholdet mellom NH_4 og NH_3 har endret seg gjennom 2015. Den 19. juni (pH 8,4 og temp 12,8) og 02. juli (pH 8,3 og temp 17,1) tilsa målingene av pH og vanntemperatur størst fare for dannelse av toksisk NH_3 , med et teoretisk forhold NH_4/NH_3 på 92,5/7,5. Vannføringen på tidspunktet var antageligvis lavere enn $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (diskusjon i avsnitt 3.1), noe som vil øke faren for toksiske effekter da fortyningen av anleggsvannet blir mindre.

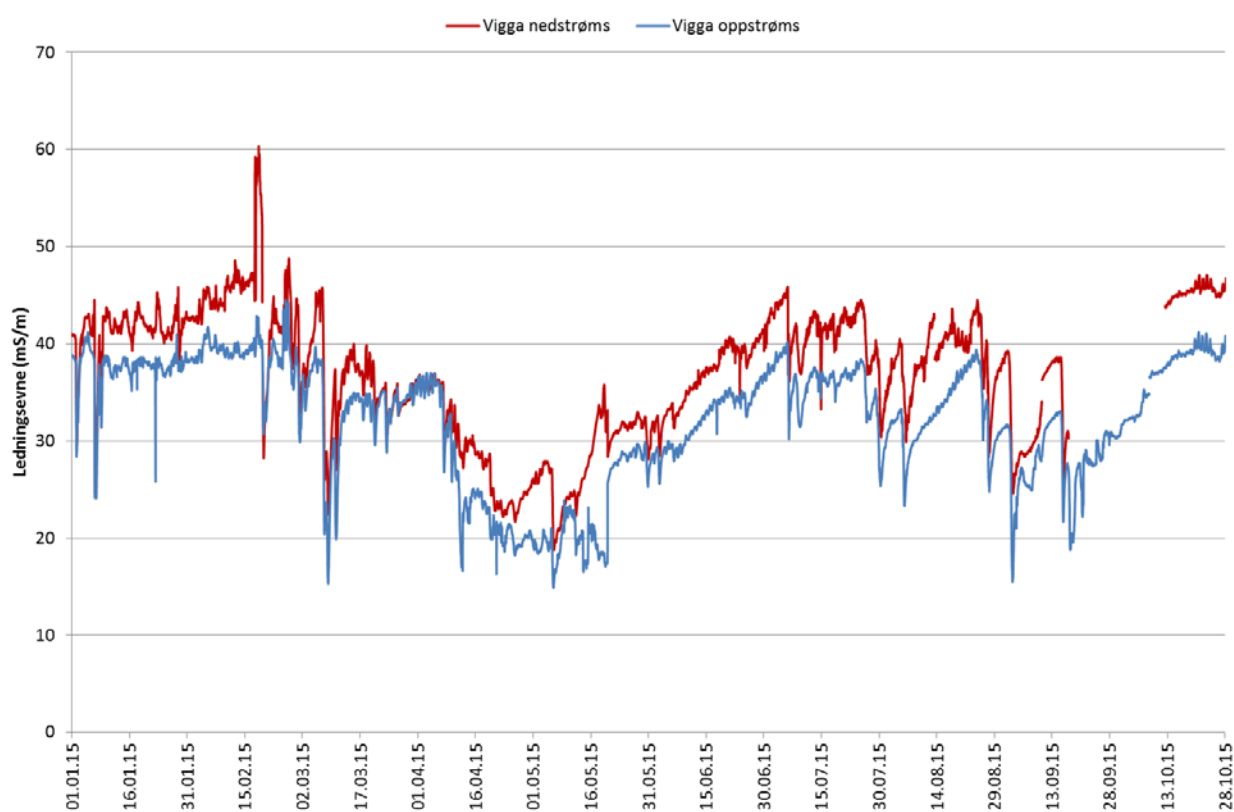


Figur 8: teoretisk forhold mellom NH_4 og NH_3 , beregnet fra vanntemperatur og pH, ved stasjonen nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

3.5 Ledningsevne

I løpet av overvåkingsperioden ble det målt ledningsevne i mellom 16 og 60 mS/m (figur 9). De høyeste verdiene ble målt i forbindelse med de høye turbiditetsverdiene i perioden 15.-18 februar. I forbindelse med episodene med høy turbiditet 23. februar og 05. - 06. mars ble det også målt økt ledningsevne (hhv. 48 og 45 mS/m).

Med unntak av episoden 15.-18. februar ble det ikke målt ledningsevne over 48 mS/m. De laveste verdiene for ledningsevne ble målt i forbindelse med nedbør. Jevnt stigende ledningsevne fra mai og utover sommeren skyldes redusert fortykning av punktkilder og dreinsvann fra jordbruket med forhøyet ledningsevne.



Figur 9: ledningsevne ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i perioden 01. januar – 01. november 2015.

4 SAMMENFATTEDE VURDERINGER

Overvåkingen har avdekket flere episoder der det er sannsynlig at avrenning, utpumping eller arbeid ved anleggsområdene var årsaken til økt turbiditet i Vigga. Episodene i perioden 15.- 18. februar viste uvanlig høy turbiditet. Det ble målt 3 episoder med lang varighet (11-22timer) og maksimal turbiditet i størrelsesorden 530 - 924 NTU. Det ble også målt økt ledningsevne, fra ca. 45 til 60 mS/m. Den 23. februar, 01. mars, 05.-06. mars, 05. april, 26. april, 01. mai, 13. juli, 31. august – 01. september og 08. oktober ble det også avdekket episoder med økt turbiditet som mest sannsynlig kan relateres til anleggsvirksomheten.

I tillegg viste overvåkingen flere episoder ved VN med turbiditet i størrelsesorden 10-30 NTU som kan sammenheng med utslipp av fra renseanlegget ved Grantunnelen.

Episoder med utslipp av partikler kan ha påvirket livet i Vigga, men episodene har stort sett vært kortvarige. I berørte områder (spesielt ved Vøien og utslippspunktet fra anleggsområdet ved Grantunnelen) kan det ha oppstått lokale effekter på fisk og bunndyr som følge av tilslamming eller dårlig vannkvalitet. Effektene vil være kortvarige da akkumulert slam spyles videre ved neste storflom. Områdene vil raskt rekoloniseres når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg.

Den potensielt berørte strekningen av Vigga er vurdert som en sterkt modifisert elvestrekning, med store tilførsler av jordpartikler fra jordbruket. Livet i Vigga er tilpasset periodisk høy partikkelkonsentrasjon. Slik forventes det ikke større biologiske endringer i elva som følge av dokumenterte anleggsskapt episoder med høye konsentrasjoner av jordpartikler.

Ingen målinger gir indikasjoner på at episodene med anleggsrelaterte partikler har begrenset algeveksten (reduert døgnvariasjoner i pH). Det ble ikke målt pH som kan tyde på utslipp av f.eks sementbaserte tetningsmidler, sprøytebetong, betong, syre eller andre kjemikalier. Det ble ikke målt pH over 8,7 eller under 7,3 ved noen av målestasjonene i Vigga i løpet av måleperioden.

Overvåking av pH og vanntemperatur indikerer at det har vært liten fare for dannelse av toksisk ammoniakk i elva under måleperioden. Episodene med størst potensiale for uheldig dannelse av ammoniakk har oppstått sommerstid, med lav vannføring og dårlig resipientkapasitet.

REFERANSER

- Leikanger, E. og Roseth, R. 2013. Miljøovervåkning i Vigga i perioden 30.04.13 – 18.09.13. Bioforsk notat 25.09.13.
- Leikanger, E. og Roseth, R. 2014. Miljøovervåkning Rv4 Gran grense – Jaren i perioden 29. november 2013 til 17. januar 2014. Bioforsk notat 20.01.14.
- Leikanger, E. og Roseth, R. 2014. Utslipp av vann fra anleggsområder til Vigga i uke 36-38. Bioforsk notat 25.09.14.
- Leikanger, E., Roseth, R., Nytrø, T.E., Rise, Ø., Tveiti, G., Johansen, Ø. 2015. Ny Rv4 Gran grense – Jaren. Miljøovervåkning i Vigga, status 1. januar 2015. Bioforsk rapport 10 (32) 2015
- Roseth, R., Woldstad, L. og Bye, F. N. 2011. Rv7 Ramsrud – Kjeldsbergsvingene. Sluttrapport miljøovervåking anleggsfase. Bioforsk Rapport 6(137) 2011.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Vedlegg 26.3

Ny Rv4 Gran grense – Jaren

Resultater fra overvåkning av vannkvalitet i Vigga mellom 01.
november 2015 og 09. november 2016.

NIBIO RAPPORT 15.06.17

TITTEL

Ny Rv4 Gran grense – Jaren. Resultater fra overvåkning av vannkvalitet i Vigga mellom 01. november 2015 og 09. november 2016.

FORFATTERE

Eirik Leikanger, Roger Roseth, Geir Tveiti, Thor-Endre Nytrø og Øistein Johansen

DATO: 15.06.17	RAPPORT NR:	TILGJENGELIGHET: Lukket	PROSJEKTNR.: 8572	SAKSNR.: 2017/02256
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER: 22	ANTALL VEDLEGG: 0	

OPPDRAUGSIVER:

Statens vegvesen, prosjekt Vestoppland

KONTAKTPERSON:

Malin Torp / Sturla Elvsveen

STIKKORD:

Statens Vegvesen, Rv4 Gran grense – Jaren, turbiditet, partikler, ledningsevne, pH, miljøovervåking

FAGOMRÅDE:

Miljøovervåking, Vannkvalitet

SAMMENDRAG:

I forbindelse med utbyggingen av Rv4 Gran grense - Jaren har NIBIO på oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) gjennomført automatisk overvåkning av vannkvaliteten i Vigga. Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013, og vegen åpnes i juli 2017. Vigga renner gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4, og er primærresipient for anleggsarbeidene. I løpet av anleggsfasen har det totalt vært 5 målestasjoner i drift.

Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. november 2015 til og med 9. november 2016.

Overvåkingen av vannkvalitet i denne perioden avdekket ingen større anleggsrelaterte hendelser som påvirket vannkvaliteten. Enkelte målinger med forhøyet turbiditet som kan skyldes anleggsavrenning ble målt, men disse var hovedsakelig kortvarige og antas å hatt minimal betydning på vannkvaliteten i Vigga.

Målinger av ledningsevne avdekket regelmessig tilførsel av vann med høy ledningsevne til Vigga i perioden august og november 2016. Det var ikke samvariasjon med øvrige målte parametere.

LAND: Norge
FYLKE: Oppland
KOMMUNE: Gran
STED/LOKALITET: Gran

GODKJENT**PER STÅLNACKE****PROSJEKTLEDER****EIRIK LEIKANGER**

Forord

På oppdrag fra Statens vegvesen (SVV) har NIBIO gjennomført automatisk overvåking av vannkvaliteten i Vigga. Overvåkning har vært utført ved totalt 5 målepunkter/stasjoner. Den første stasjonen ble satt i drift i april 2013, som en del av forundersøkelsene før anleggsfasen (Leikanger og Roseth, 2013). Ved anleggsoppstart, oktober 2013, ble det etablert en ny stasjon i Vigga. De to etablerte stasjonene i februar 2016 erstattet 3 nye stasjoner for å spisse overvåkingen inn mot områdene anleggsarbeidene pågikk.

Eirik Leikanger har vært prosjektansvarlig fra NIBIO. Fra NIBIO sin måletekniske gruppe med Øistein Johansen, Geir Tveiti og Thor-Endre Nytrø har vært ansvarlig for utsetting og vedlikehold av utstyr, samt presentasjon av data på nettbasert portal for vannovervåking. Eirik Leikanger og Roger Roseth har vært ansvarlig for kvalitetssikring, bearbeiding og rapportering av innsamlede data.

Denne statusrapporten presenterer automatisk innsamlede data fra målestasjonene i Vigga målt i perioden 1. november 2015 til og med 9. november 2016.

Ås, 15.06.17

Eirik Leikanger

Innhold

Forord	3
1 Innledning	5
2 Miljøovervåking	6
2.1 Overvåkingsstasjoner	6
2.2 Multiparametersensorer og logger	9
2.3 Værdata	10
3 RESULTATER OG DISKUSJON	11
3.1 Vigga oppstrøms og nedstrøms (01.11.15 – 19.02.16)	11
3.1.1 Nedbør og vannstandsendringer	11
3.1.2 Vanntemperatur	12
3.1.3 Turbiditet	13
3.1.4 Ledningsevne	14
3.1.5 pH	15
3.2 HOL, DYN og HAS (19.02.16 – 09.11.16)	15
3.2.1 Nedbør og vannstandsendringer	15
3.2.2 Vanntemperatur	17
3.2.3 Turbiditet	17
3.2.4 Ledningsevne	19
3.2.5 pH	19
Referanser	22

1 Innledning

I Gran kommune på Hadeland, fra kommunegrensen Lunner og Gran og til Jaren, bygger Statens vegvesen ny firefelts veg (Rv4 Gran grense – Jaren). Den nye Rv4 strekker seg over 9,3 kilometer og inkluderer bygging av 1,7 km tunnel, med to løp, utenom Gran sentrum. Utbyggingen av Rv4 mellom Gran grense og Jaren startet høsten 2013 og åpnes sommeren 2017. Sommeren 2015 var tunnellopene Grantunnelen ferdig sprengt og i slutten av 2016 var store deler av arbeidet i dagsonen utført.

Elven Vigga er primærresipient for avrenning fra ny Rv4. Øvre del av Vigga renner gjennom Roa, hvor tilløpsekker fra Elgsjøen og Kalvsjøtjernet renner ut i Vigga. Fra Roa renner Vigga gjennom Viggadalen, langs eksisterende og ny trasé for Rv4. Øvre del av Vigga har utløp til Jarenvannet, og drenerer et nedbørsfelt på ca. 83 km². Midlere årsavrenning for dette feltet er ca. 1,2 m³/s (Holmquist, 2004). Jarenvannet dekker et areal på om lag 1,7 km² og drenerer til nedre del av Vigga, som har utløp til Randsfjorden ved Brandbu. Vigga er en del av vannområde Randsfjorden.

En strekning på ca. 6,5 km er utsatt for anleggspåvirkning. På den potensielt berørte strekningen av Vigga er elveløpet stedvis sterkt modifisert, både ved kanalisering og senkning av elveløpet. Langs elva ligger det store jordbruksarealer med avrenning til vassdraget via overflatevann og drenering. Tilførsler av forurenset vann fra arbeid med Rv4 kan ledes direkte til Vigga via drencsystemene, eller tilførsler kan skje diffust gjennom terrengavrenning. Partikkelforurensning vil være mest sannsynlige forurensningsrisikoen ved arbeid i dagsonen, men også avrenning med høy pH fra områder hvor det benyttes betong. Arbeid direkte i vannkanten, slik som ved traseens krysningspunkt ved Vøien, midlertidig krysningspunkt ved Holmen eller ved omlegging av bekkeløp gir spesielt stor risiko for påvirkning av vannkvaliteten.

Ved tunnelarbeider vil vann med høy pH, forårsaket av sementbaserte tetningsmidler og sprøytebetong, partikler fra tunneldriving og nitrogenavrenning fra uomsett sprengstoff være viktige forurensningskilder. Vann fra tunneldriving har som regel svært dårlig vannkvalitet og ledes derfor til kontainerbasert renseanlegg for nøytralisering av pH og sedimentering av partikler.

Store deler av ny trasé for Rv4, inklusive tunnel, anlegges i kontakt med skiferholdig berggrunn. Blant disse er alunskifer og noen svartskifre de mest problematiske bergartene. Det er lite sannsynlig at det vil forekomme sur avrenning av skiferbergarter i forbindelse med tunneldrivingen, på grunn av forbruk av sementbaserte tetningsmidler. I skjæringer og fra områder med mellomlagring kan det imidlertid forekomme sur avrenning som følge av forvitring med dannelse av sulfat og svovelsyre.

Viktige utfordringer i anleggsfasen er riktig håndtering av kilder til forurensning (Roseth et al. 2011):

- Renset anleggsvann fra tunneldriving
- Avrenning fra erosjonsutsatte områder i dagsone
- Lensevann fra byggegrop
- Avrenning fra riggområder og deponier

I henhold til Ytre Miljø Plan (YM-Plan) for Rv4 Gran grense - Jaren skal rensed anleggsvann fra tunnelområdet sør for Gran sentrum føres til utslipp i Vigga. Videre skal anleggsvann langs traseen føres diffust til terreng.

Fylkesmannens utslippstillatelse gir tillatelse til utslipp av vann med partikkelinnhold på opptil 100 mg SS/l. pH skal ligge mellom 6 og 9. Det ble også fastsatt grenseverdier for utslipp av metaller, men disse omtales ikke i denne rapporten.

2 Miljøovervåking

2.1 Overvåkingsstasjoner

I Vigga har det i anleggsperioden vært driftet totalt 5 målestasjoner for kontinuerlig overvåking av vannkvalitet (figur 1 og 2). Stasjonene har vært instrumentert med multiparametersensorer (MPS), beskrevet i avsnitt 2.2. Fram til februar 2016 var det to stasjoner drift, disse stasjonene var plassert I Vigga oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) anleggsområdet for Grantunnelen. Figur 1 viser målestasjonenes plassering og deler av parsellen Rv4 Gran grense – Jaren (røde veglinjer).



Figur 1: viser plassering til målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga og stasjonen plassert i Vigga ved Haslerudgutua (HAS). Dagsonen på ny Rv4 er markert med røde veglinjer.

Stasjonen oppstrøms (VO) er plassert om lag 150 m oppstrøms anleggsområdet ved Vøien, der ny Rv4 trasé krysser Vigga. Fra VO og ned til utslippspunktet for rensert tunellvann er det ca. 950 m. Bilde 2 viser plassering av stasjonen VO. Automatiske målinger ved stasjonen oppstrøms ble påbegynt i november 2013. VO ble flyttet ved 2 tilfeller i løpet av måleperioden som presenteres i rapporten.

Stasjonen nedstrøms (VN) er plassert ved Hofsbrua (rød markør i figur 1), ca. 1800 m fra utslippspunktet. Stasjonen nedstrøms ble satt i drift som referansemålinger, og målingene har pågått siden 30. april 2013 (Leikanger og Roseth, 2013).

Stasjon VO var ute av drift i perioden 09.-25.11.15, mens en skade på sensor for måling av turbiditet ved VN førte til at det mangler turbiditetsmålinger i perioden 24.11-11.12.16.

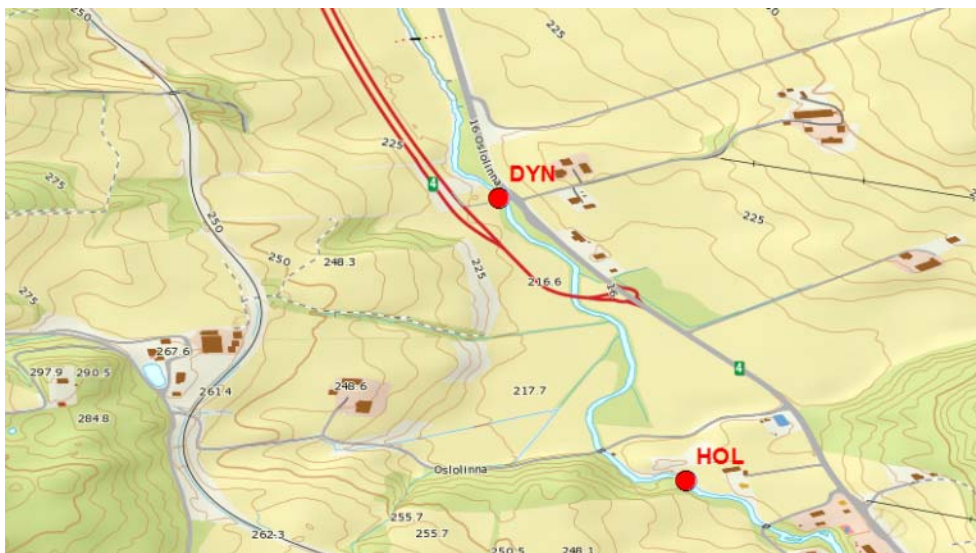


Bilde 1: Målestasjonen "Vigga oppstrøms - VO". Stasjonen er plassert ved bro oppstrøms anleggsområdet på Vøien.



Bilde 2: Målestasjonen "Vigga nedstrøms - VN". Stasjonen er plassert nedstrøms anleggsområdet ved Hofsbrua. Stasjonen vil fange opp avrenning fra Vøien, tunnelpåslaget og avrenning fra Gran sentrum.

Den 12. februar 2016 ble stasjonene oppstrøms og nedstrøms i Vigga erstattet med stasjoner plassert ved Haslerudgutua (HAS), Dynna (DYN) og Holmen gård (HOL). Endringen skyldes at arbeider ved Vøien og Grantunnellen i all hovedsak var ferdigstilt, mens det ved Dynna/Holmen skulle etableres midlertidig bruforbindelse mellom ny og gammel Rv4-trasee. Figur 1 viser lokaliseringen til HAS, mens figur 2 viser hvor DYN og HOL er lokalisert.



Figur 2: viser plassering til målestasjonene plassert i Vigga ved Dynna (DYN) og Holmen gård (HOL). Dagsonen på ny Rv4 er markert med røde veglinjer.

Stasjonen ved Haslerudgutua (HAS) er plassert nærmere anleggsområdet ved Grantunnellen enn stasjonen nedstrøms i Vigga (VN). Avstanden fra påslippspunkt hvor dreisvann fra anleggsområdene sør for Grantunnellen ledes er ca. 350m. Bilde 3 viser plassering til HAS.

Ved Dynna (DYN) er stasjonen plassert rett nedstrøms midlertidig krysningspunkt over Vigga mellom ny og gammel Rv4-trase. Avstanden er ca. 100m. Bilde 4 viser plasseringen til DYN.

Den øverste stasjonen er plassert ved Holmen gård (HOL). Stasjonen ligger ca. 600m oppstrøms stasjonen ved DYN. Bilde 5 viser plasseringen til HOL.

Mellom HAS og HOL er lengden på bekkeløpet ca. 4km.



Bilde 3: Målestasjonen "HAS" stod plassert ved bro der Haslerudgutua krysser Vigga.



Bilde 4: Målestasjonen "DYN" stod plassert ved bro ved Dynna, rett nedstrøms midlertidig bro mellom ny og eksisterende Rv4 trase.



Bilde 5: Målestasjonen "HOL" stod plassert ved Holmen gård, ca. 600 m oppstrøms midlertidig bro mellom ny og eksisterende Rv4 trase.

2.2 Multiparametersensorer og logger

For on-line målingene på stasjonene ble det benyttet logger av typen SEBA LogCom-2 og multiparametersensor av typen SEBA MPS-D8 sonde (bilde 3). MPS har sensorer for måling av vannhøyde, vanntemperatur, ledningsevne, pH og turbiditet. For turbiditet brukes det sensorer med måleområde 0-1000 NTU oppstrøms og 0-3000 NTU nedstrøms. LogCom-2 er tilpasset frittstående plassering med strømforsyning fra enkel batteripakke. Loggerne programmeres for ønsket måleintervall, grenseverdier og telefonnummer for alarmer, tidspunkter for overføring og navn på stasjon.



Bilde 5: Multiparametersonde (MPS-D8) som er benyttet på stasjonene for kontinuerlige automatiske målinger.

På stasjonene ble det gjort automatiske målinger med MPS hvert 30. minutt og data ble sendt til server for presentasjon på egen nettbasert portal for overvåkingsdata 3 ganger i døgnet. I data som presenteres i denne rapporten er feilmålinger tatt ut. Oversikt over utelatte data oppbevares hos NIBIO og rådata er tilgjengelig på overvåkningsiden:

<http://bioweb08.bioforsk.no/seba/projects/index.php> (krever innlogging).

Begge målestasjonene ble programmert til å sende ut SMS-alarm ved pH-verdier som oversteg pH 9 eller understeg pH 6. For turbiditet sendes det ut alarmer ved turbiditet over 100 NTU.

Målestasjonene har blitt vedlikeholdt regelmessig av Statens vegvesen, som hovedregel med 14. dagers intervaller. I tillegg har NIBIO utført utvidet vedlikehold og kalibrering ved behov.

2.3 Værdata

Nedbørsmålinger er hentet fra Gran målestasjon (stasjonsnr.: 20540). Stasjonen ligger i Gran kommune 245 moh ca. 0,8 km sør for Gran sentrum. Nedbørsdata for Gran er tilgjengelig på www.eKlima.no.

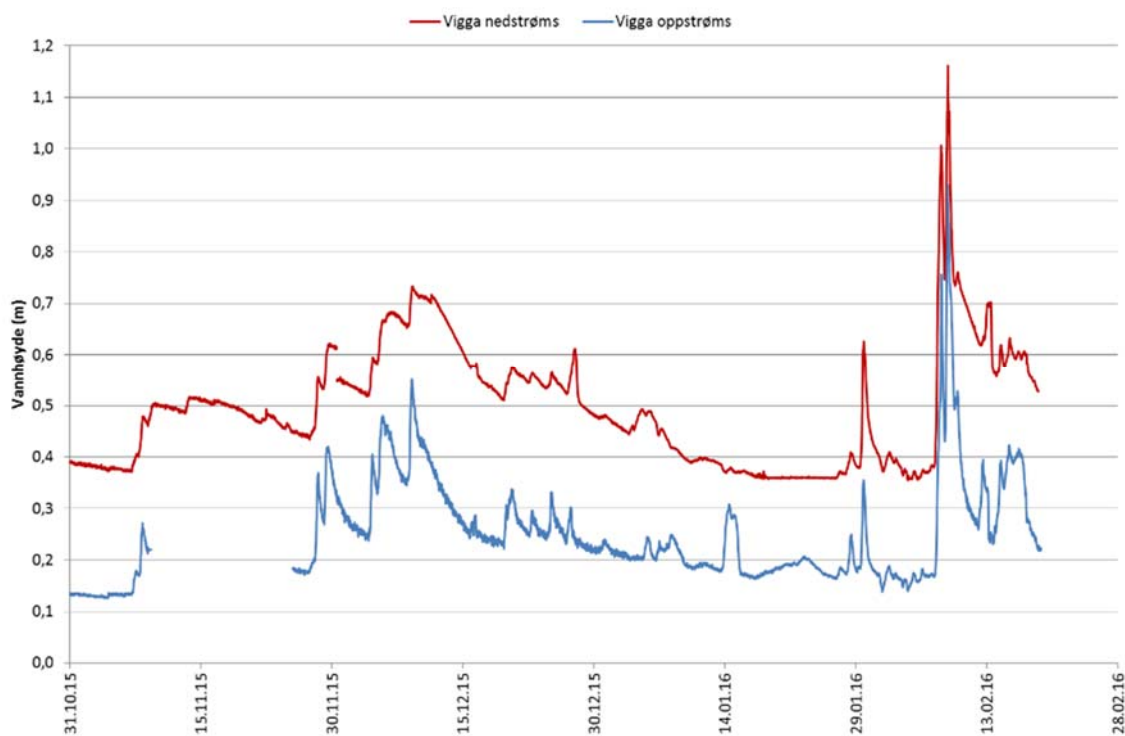
3 RESULTATER OG DISKUSJON

3.1 Vigga oppstrøms og nedstrøms (01.11.15 – 19.02.16)

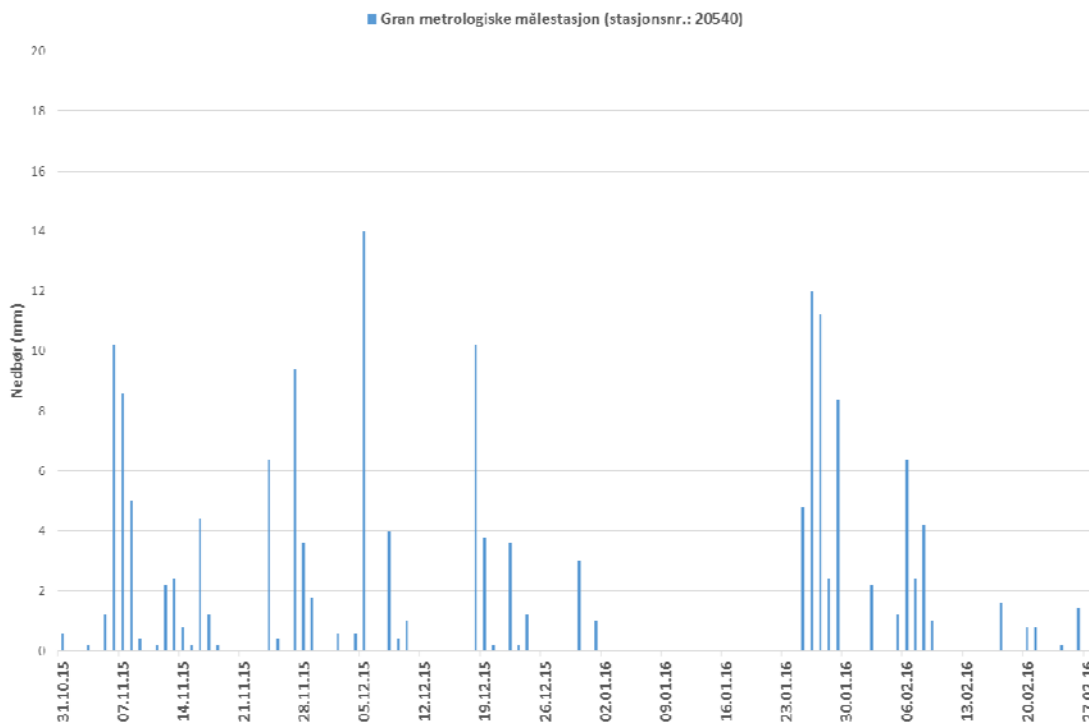
3.1.1 Nedbør og vannstandsendringer

Figur 3 viser relative endringer i vannhøyden ved målestasjonene oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga. Oppstrøms i Vigga er elveprofilen grunnere, smalere og har et større fall enn profilen nedstrøms. Dette gir blant annet større vannhastighet og erosjonspotensiale. Et slakt og bredt elveprofil ved VN kan gi partikler mulighet til å sedimentere. Endringer i vannhøyde og vannhastighet vil derfor være større ved stasjonen VO enn ved VN under og etter nedbør.

Figur 4 viser nedbørs målt ved den metrologiske stasjonen på Gran.



Figur 3: Vannhøyde ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga for perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

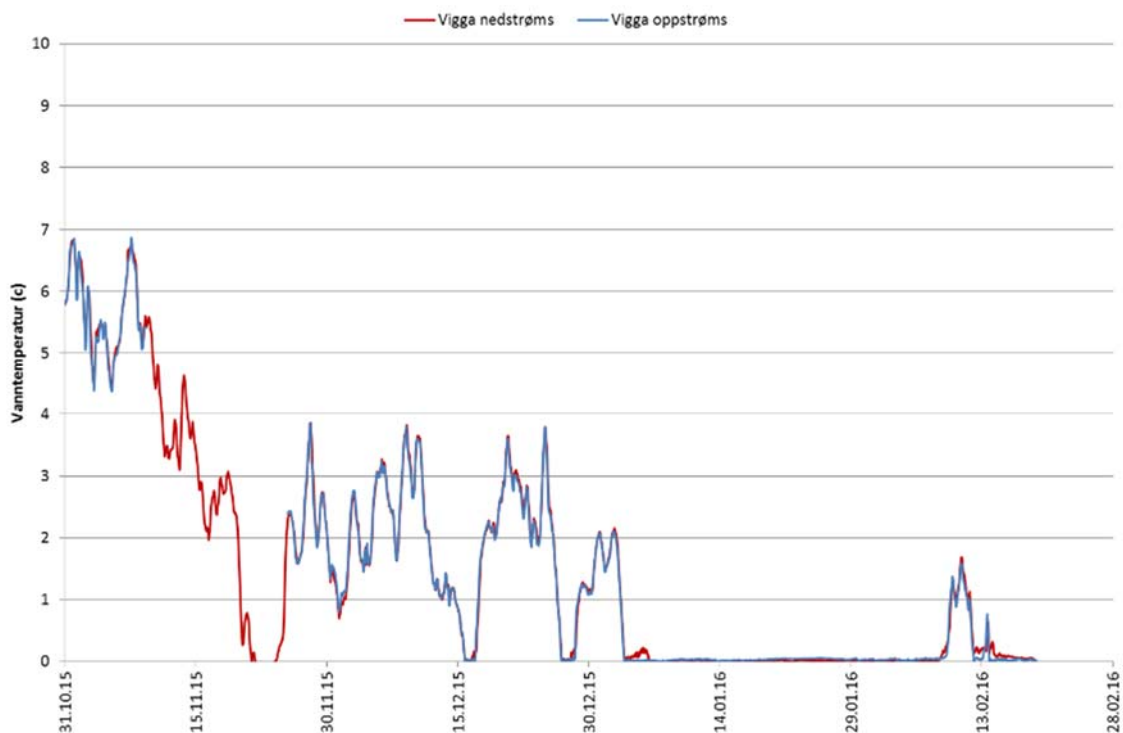


Figur 4: Nedbør ved den metrologiske stasjonen på Gran i perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

3.1.2 Vanntemperatur

I vinterperioden var målt vanntemperatur påvirket av varmekablene som holder sensorene frostfrie. Målte temperaturer representerer således ikke den reelle vanntemperaturen (figur 5). Selv om målt vanntemperatur påvirkes av vintersikringene gir økte temperaturer en indikasjon på mildværsperioder, når avrenning av smeltevann kan forekomme.

Målte vanntemperaturer ved VO og VN viste at det var vekslende kulde og mildværsperioder fra begynnelsen av november og fram til romjulen/nyttår 2015. Under disse periodene kan det ha forekommet avrenning av smeltevann til Vigga.



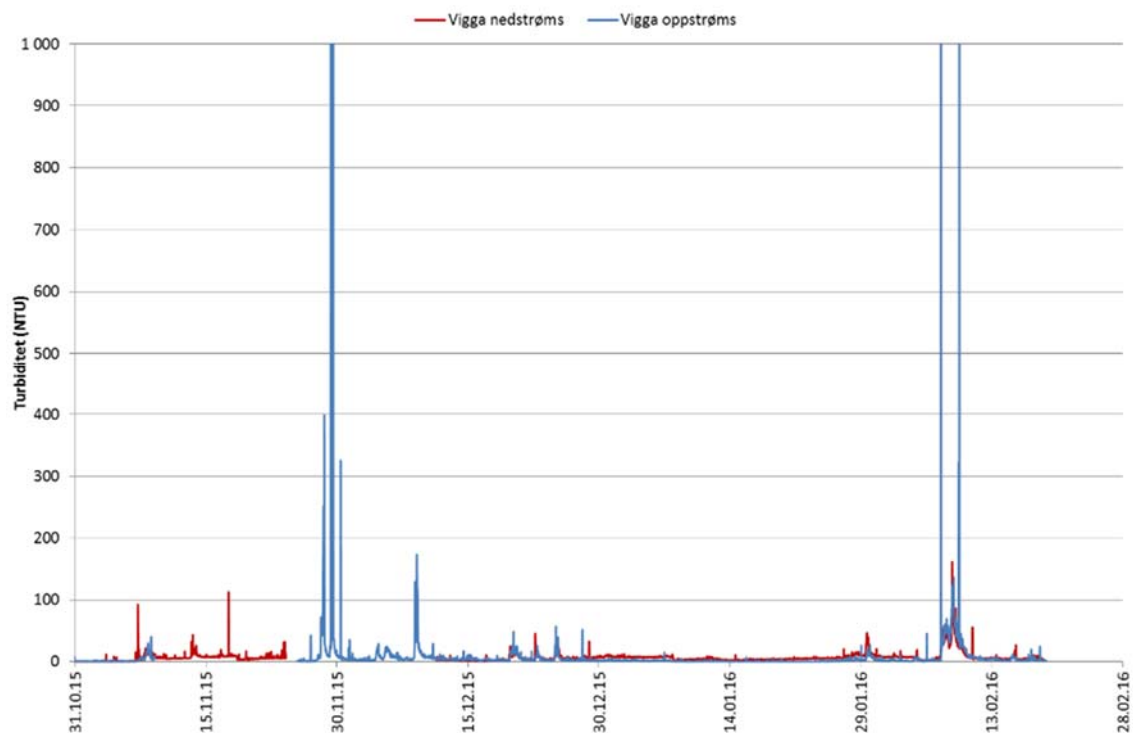
Figur 5: Vanntemperatur ved stasjonen oppstrøms (VO) (blå linje) og nedstrøms (VN) (rød linje) i Vigga for perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

3.1.3 Turbiditet

Fra begynnelsen av november 2015 til februar 2016 viste de kontinuerlige målingene enkelte episoder med høy turbiditet (figur 6).

Ved VN overskred målingene 100 NTU ved to perioder. **Den 17. november** viste en enkeltmåling turbiditet på 112 NTU. Stasjonen VO var ute av drift på dette tidspunktet. **I perioden 07.-11. februar** viste flere målinger økt turbiditet, men ikke overstigende 162 NTU. Ved VO viste overvåkingen flere pulser med turbiditet overstigende 1000 NTU. Høy turbiditet i denne perioden sammenfaller med mye nedbør og stor økning i vannføring (økt vannstand) (figur 3 og 4).

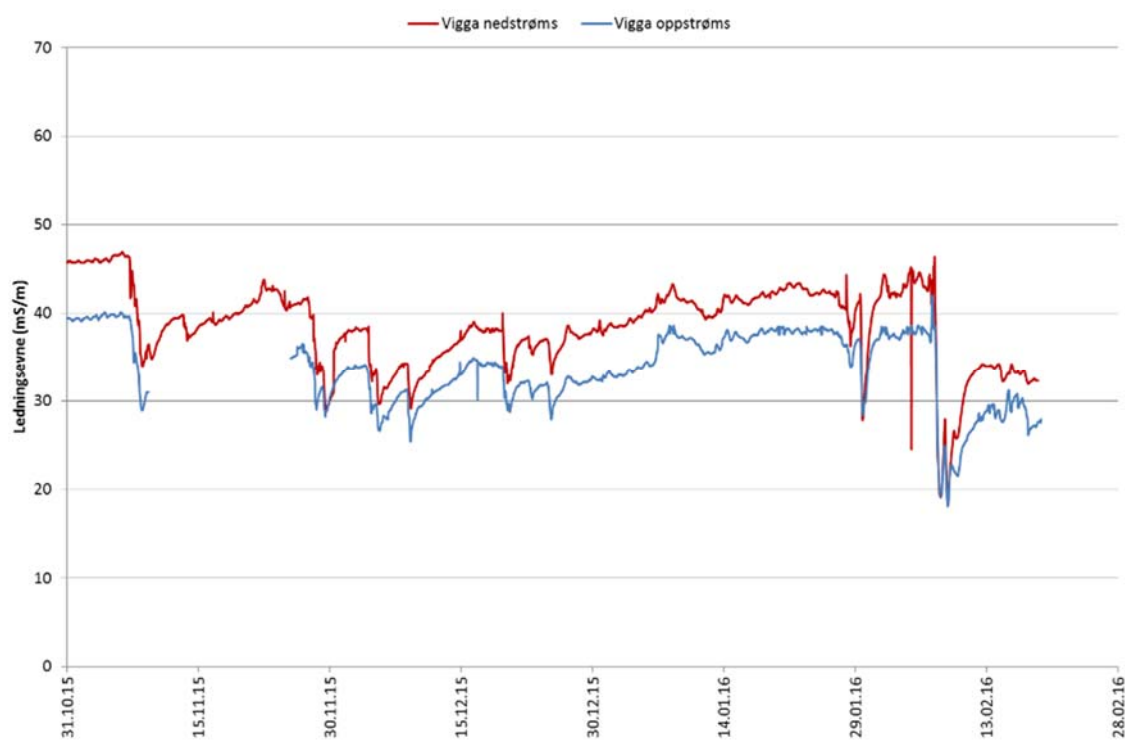
I perioden sensor for måling av turbiditet ved VN var ute av drift, var det flere episoder med økt turbiditet ved VO. I forbindelse med nedbør **den 28.-30. november** viste flere målinger turbiditet over 1000 NTU. Under nedbøreprisoden **den 08.-09. desember** viste målingene også forhøyet turbiditet, men ikke over 173 NTU.



Figur 6: Turbiditet ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga for perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

3.1.4 Ledningsevne

Ledningsevnen ved VO og VN har vært relativt stabil gjennom vinteren, og endringer i målt ledningsevne skjer som følge av fortykning ved nedbør (figur 7). Ved VO varierte ledningsevne mellom 18 – 42 mS/m, mens det ved VN varierte mellom 19 og 46 mS/m.

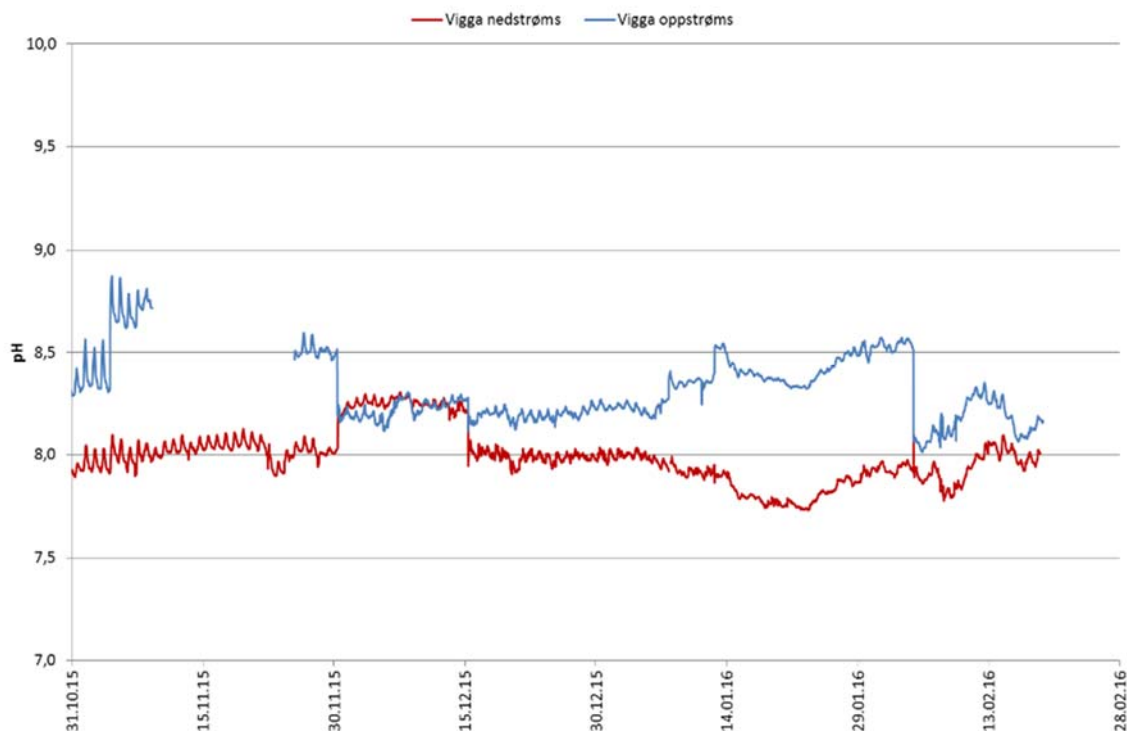


Figur 7: Ledningsevne ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga for perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

3.1.5 pH

Overvåkingen avdekket ingen hendelser med unormale pH-verdier i denne perioden. Ved VO varierte pH fra 8,0 til 8,8 og ved VN varierte pH mellom 7,7 og 8,3 (figur 8).

Overvåkingen viste at pH hadde noe variasjon gjennom døgnet som følge av biologiske prosesser og variasjoner i temperatur. Større endringer i pH den 30. november, 16. desember og 04. februar skyldes kalibrering av pH eller ordinært vedlikehold av sensor.



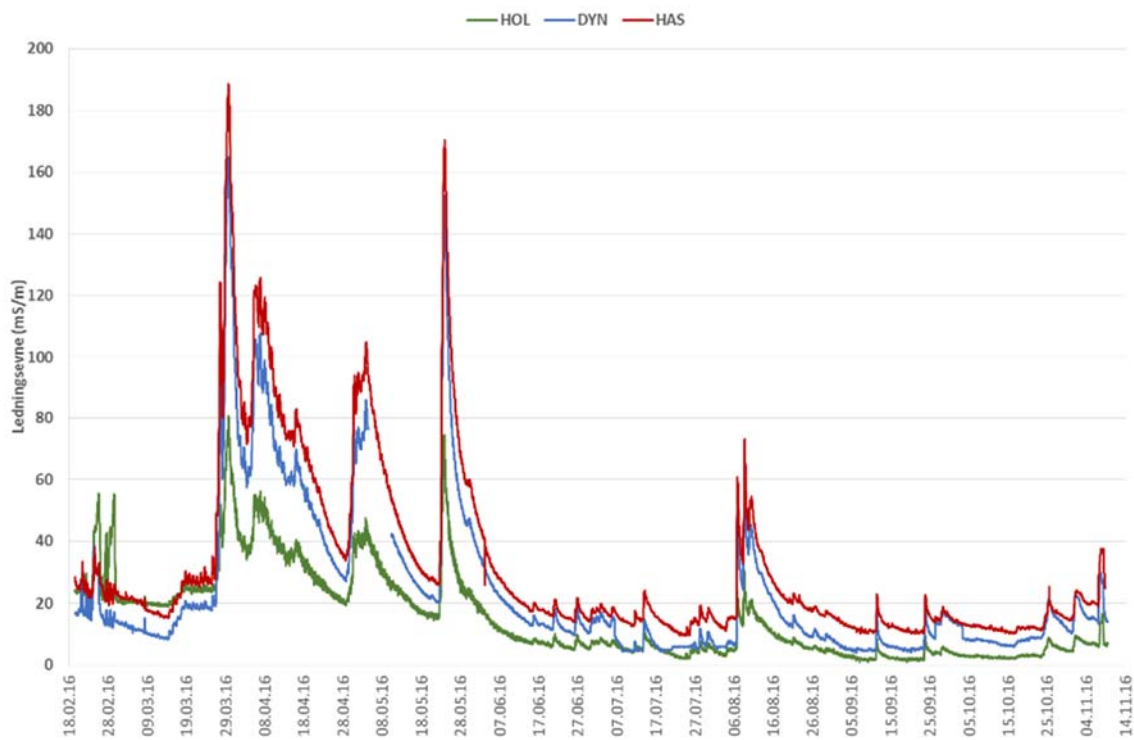
Figur 8: pH ved stasjonen oppstrøms (VO) og nedstrøms (VN) i Vigga for perioden 01. november 2015 – 19. februar 2016.

3.2 HOL, DYN og HAS (19.02.16 – 09.11.16)

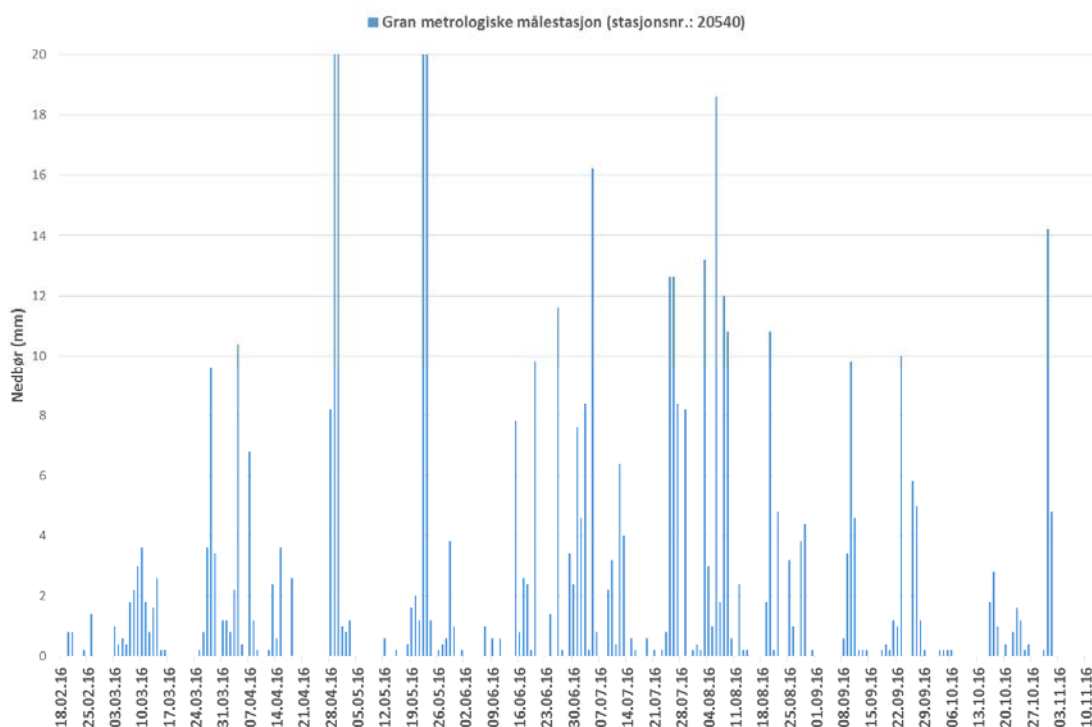
3.2.1 Nedbør og vannstandsendringer

Ved HAS og DYN er elveprofilene nokså like, og målingene av vannhøyde viste god samvariasjon mellom stasjonene (figur 9). Ved HOL er det større fall på elven og økt vannføring gir ikke like stor økning i vannhøyde som på stasjonene nedstrøms. Størst endring i vannhøyde ble målt ved DYN, den nederste stasjonen i Vigga.

Vannføringen (vannhøyden) i Vigga var høyest fra senvinteren til forsommeren, med flere store avrenningstopper som følge av nedbør og snøsmelting (figur 9 og 10). Høyest vannstand ble målt i episoden med begynnelse 23. mars, deretter følger episoder med begynnelse 04. og 29. april og 22. mai. Den 06. august måles det også en stor økt vannstanden, etter en periode med mye nedbør.



Figur 9: Vannhøyde ved stasjonene HOL, DYN og HAS i Vigga for perioden 19. februar – 09. november 16.

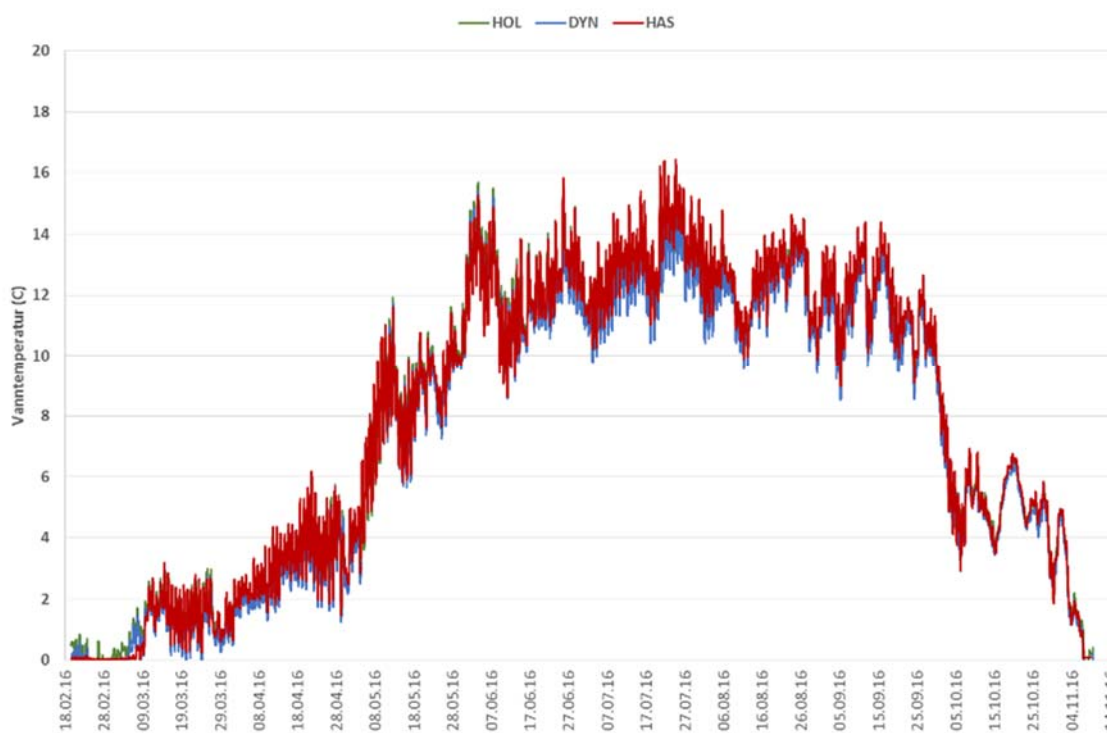


Figur 10: Nedbør ved den metrologiske stasjonen på Gran i perioden 19. februar og 09. november 2016

3.2.2 Vanntemperatur

I likhet med vanntemperaturer målt ved VN og VO vinteren 2015/16, var også temperaturmålingene ved HOL, DYN og HAS påvirket av frostsikringstiltaket fram til begynnelsen av april (figur 5 og 11). Målingene viste økende temperaturer fra begynnelsen av mars, avrenning av smeltevann kan derfor ha påvirket transport av partikler til vassdraget i de påfølgende ukene.

I løpet av sommersesongen er høyeste målte temperatur i Vigga 16,4°C. Temperatur er en styrende parameter med hensyn på dannelse ammoniakk (NH₃) som kan være toksisk også i små konsentrasjoner. Omdanningen av ammonium (NH₄) til NH₃ øker med økende temperaturer, lave temperaturer vil således være gunstig dersom det foreligger fare for avrenning fra sprengsteinsdeponier. Omdanning av NH₄ til NH₃ nærmere omtalt i avsnittet om pH (avsnitt 3.2.5).



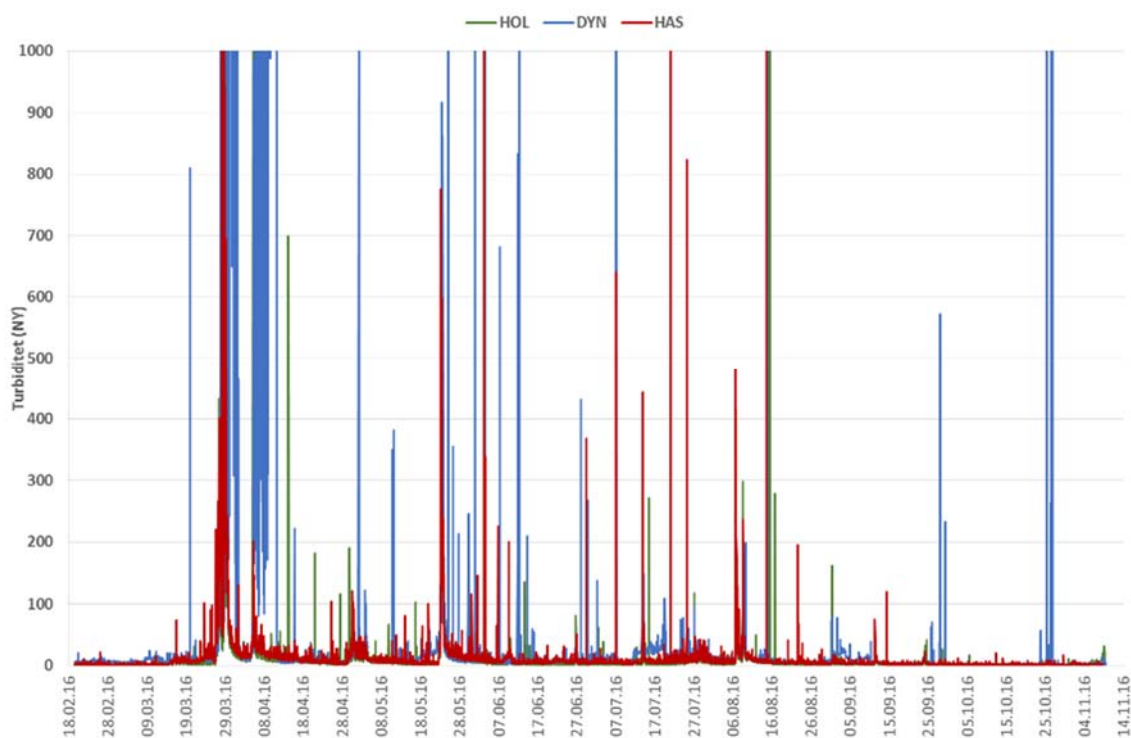
Figur 11: Vanntemperatur ved stasjonene HOL, DYN og HAS i Vigga for perioden 19. februar – 09. november 16.

3.2.3 Turbiditet

I perioden 19. februar til 09. november 2016 ble det generelt målt få episoder med langvarig økt turbiditet (figur 12). De fleste registrerte episoder med økt turbiditet kan sannsynligvis relateres til nedbør og snøsmelting. Utenom dette var episoder med høy turbiditet i all hovedsak kortvarig. Flere av disse episodene begrenset seg til enkeltmålinger, men kunne til gjengjeld være svært høye (opp til mer enn 1000 NTU).

I forbindelse med avrenningsepisoden med start den **26. mars** viste overvåkingen kraftig økning i turbiditet ved alle stasjoner (figur 12). Ved DYN og HAS viste flere målinger turbiditet over 1000 NTU, mens det ved den øverste stasjonen, HOL, ble målt maksimal turbiditet på 432 NTU. Ved DYN hadde avrenningsepisoden medført nedslamming av sensoren slik at målte verdier ikke var reelle. Det ble derfor utført et ekstra vedlikehold den **31. mars**. Tilsvarende nedslamming skjedde også etter en mindre avrenningsepisode den **05. april**. Elvekantene i dette området består av lett eroderbart

materiale (finpartikulært). Det antas at nedslammingen kan i stor grad skyldes utrasing fra ustabile elvekanter rett oppstrøms stasjonen i forbindelse med frostavgang.



Figur 12: Turbiditet ved stasjonene HOL, DYN og HAS i Vigga for perioden 19. februar – 09. november 16.

I løpet av overvåkingsperioden viste målingene også flere episoder der turbiditet øker i hele vassdraget som følge av nedbør. Flere av disse episodene genererte stor økning i turbiditet ved en eller flere stasjoner (maksverdier fra 250- >1000 NTU). Slike avrenningsepisoder ble blant annet registrert i **april-mai (30.04-04.05, og 23.05), juni (03.), juli (13.) og i august (06., 08., 14.)**. Generelt ble det målt høyere turbiditet ved DYN enn ved HAS. Erosjon i elveløpet oppstrøms DYN har sannsynligvis medvirket til dette. Ved HOL var målingene hovedsakelig vesentlig lavere.

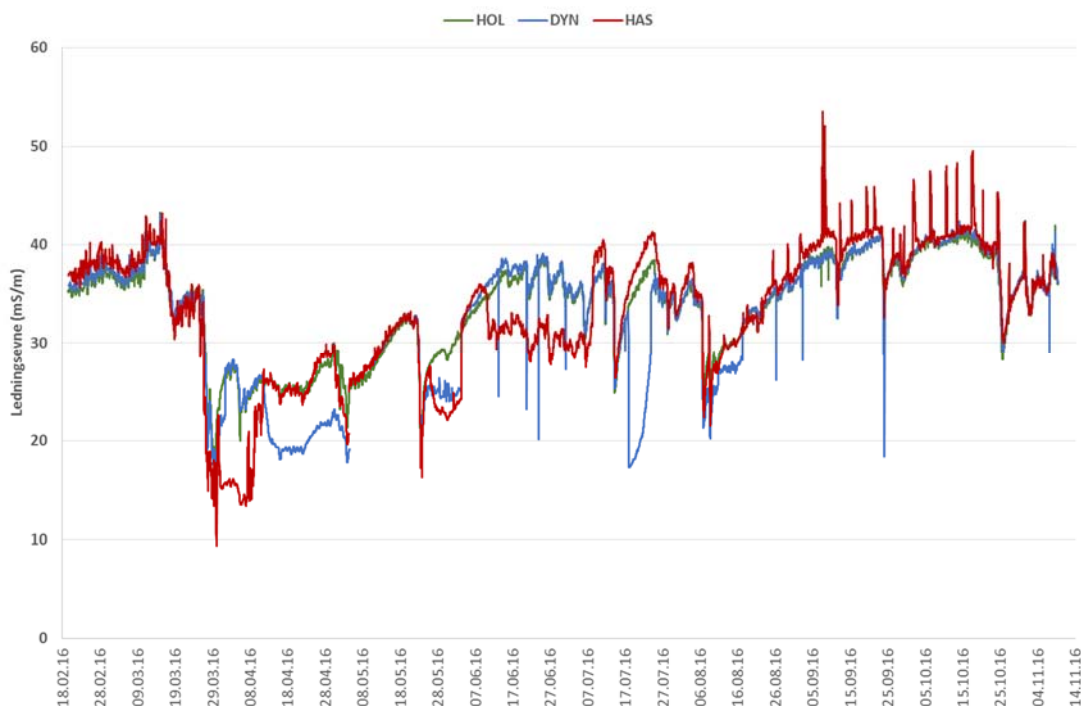
Ved DYN og HAS som ligger nedstrøms potensielle utslippspunkt for anleggsarbeider i Vigga ble det målt noen episoder hvor vannkvaliteten skiller seg fra øvrige stasjoner. Ved DYN viste overvåkingene kortvarige hendelser med økt turbiditet i **mai (02., 10., 11., 25., 26., 27., 30.), juni (01., 07. 11., 12., 28.) og november (28., 29.)**. Maksimal turbiditet målt under disse episodene varierte fra 200 - > 1000 NTU. Flere av episodene begrenset seg til enkeltmålinger og ingen av episodene hadde varighet lengre enn 4 timer. I tillegg til dette ble det den **25. oktober** målt svært høy turbiditet over en periode på 10 timer (13:00 - 23:00), der kun 2 av målingene i denne perioden var under 1000 NTU. Ved HAS viste overvåkingen kortvarige episoder (0,5 – 2 timer) med turbiditet i størrelsesorden 120 til > 1000 NTU i **juni (06., 09., 29.), juli (07., 21., 25.), august (22.) og i september (14.)**

Det kan ikke utelukkes at lokale regnskyll kan ha forårsaket noen av disse enkeltmålingene med økt turbiditet. Kameraovervåking av vannkvalitet i 2013 viste nedbørindusert turbiditetsøkning uten at målingene registrerte endringer i vannstand eller at det ble registrert nedbør på den metrologiske stasjonen på Gran (Leikanger og Roseth, 2013).

3.2.4 Ledningsevne

Overvåkingen avdekket regelmessige episoder med økt ledningsevne som tilsier påslipp av vann til Vigga i august (12., 18., 25., 29.), september (01., 06.–07., 12., 15., 19., 21., 26., 29.), oktober (02., 06., 10., 13., 17., 20., 24., 27., 31.) og i november (08.) (figur 13). Det ble ikke målt vesentlige endringer i vannhøyde i forbindelse med disse påslippene. Tilført vann må dermed hatt betydelig høyere ledningsevne. Maksimal økning målt i forbindelse med episodene var 12 mS/m. Normal varierte ledningsevne i Vigga (alle stasjoner) mellom 9 og 43 mS/m.

Utover dette avdekket ikke målinger av ledningsevne noen spesielle hendelser ved stasjonene. Målinger ved DYN, HOL og HAS viste i likhet med målinger ved VN og VO at ledningsevnen varierte som følge av fortykning med nedbør.



Figur 13: Ledningsevne ved stasjonene HOL, DYN og HAS i Vigga for perioden 19. februar – 09. november 16.

3.2.5 pH

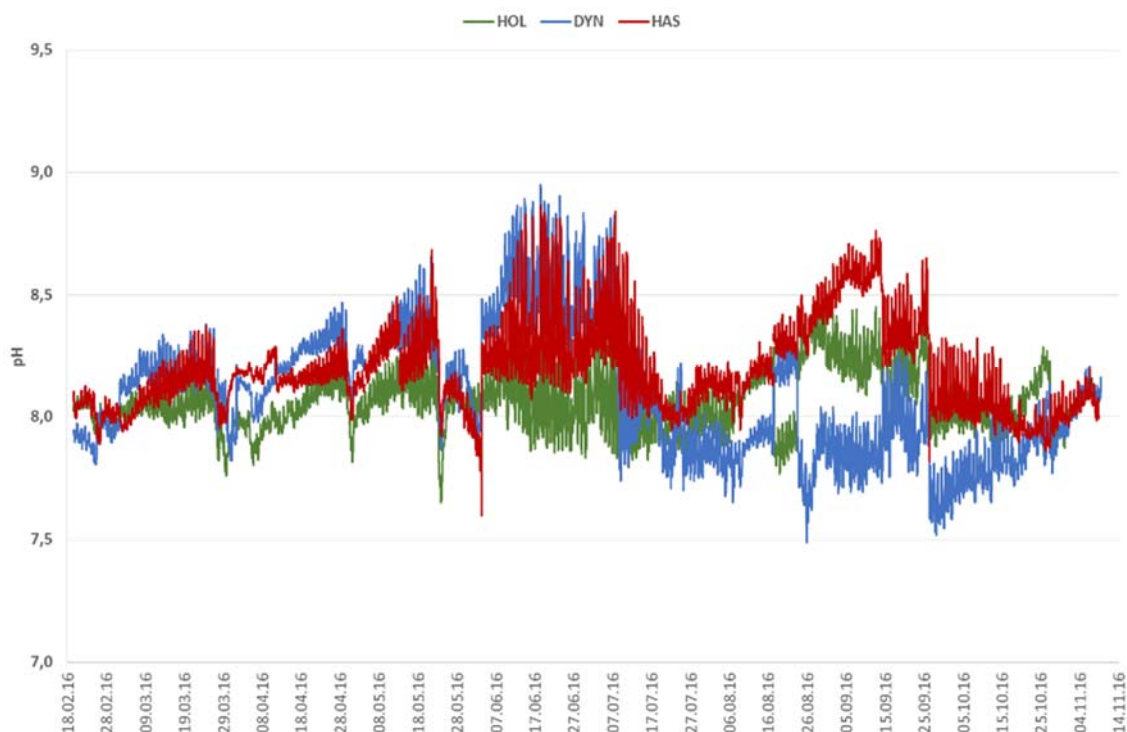
Målinger av pH ved HOL, DYN og HAS avdekket ingen utslipp med høy eller lav pH (figur 14). Samvariasjonen mellom målte verdier på stasjonen var god gjennom hele sommeren. Ved HOL varierte pH fra 7,6 – 8,5 gjennom sesongen, mens målt variasjon ved DYN og HAS var hhv. pH 7,5 – 8,9 og pH 7,6 – 8,9.

De høyeste målte pH verdier ble målt juni. Døgnvarierende pH indikerer at høye verdier skyldes alger og vannplanters respirasjon og produksjon. På dagtid tas CO₂ opp fra vannet som en del av fotosyntesen og bidrar til å heve pH, mens det på natten frigjøres CO₂ som gir lavere pH.

Høy pH kan i tillegg til å være problematisk i seg selv være uheldig i en situasjon ved utslipp/avrenning fra områder med sprengningsarbeider. Vann kan inneholde uomsatt sprengstoffrester/ammoniumnitrat og ved høy pH kan ammonium (NH₄) omdannes til toksisk ammoniakk (NH₃). Siden tunneldrivingen var ferdig i 2015 og det meste av dagsonen var ferdig i begynnelsen av 2016 forventes det ikke tilførsler av NH₄ fra anleggsaktivitet i overvåkingsperioden

denne rapporten omhandler. Konsentrasjonen av NH_4 avtar binder seg til partikler og avtar normalt innen kort tid, mens nitrat kan lekke ut over en lengre tid.

Siden omdanningen fra NH_4 til NH_3 styres av vanntemperatur i tillegg til pH er det mulig å beregne teoretisk fordeling mellom forbindelsene med data samlet inn fra målestasjonene. Ved økende pH og økende vanntemperatur vil likevekten (omdanning) forskyve seg mot NH_3 . For å ta utgangspunkt i en «worst case» situasjon i Vigga der vi antar at høyeste målte pH (8,9) og høyeste målte vanntemperatur (16,4C) inntreffer samtidig, får vi en teoretisk $\text{NH}_4:\text{NH}_3$ fordeling på om lag 4:1 (figur 11 og 14). Siden Vigga har vært sterkt påvirket av jordbruksavrenning er det sannsynlig at de vannlevende organismene har en viss tåleevne for NH_3 . Det antas likevel at konsentrasjoner av totalammonium (NH_4+NH_3) i størrelsesorden 1 mg/l ved beskrevet situasjon kan ha toksiske effekt på de mest sensitive ferskvannsorganismene. Slike konsentrasjoner er imidlertid svært uvanlig, også i landbrukspåvirkede bekker.



Figur 14: pH ved stasjonene HOL, DYN og HAS i Vigga for perioden 19. februar – 09. november 16.

Sammenfattende vurderinger

Overvåkingen i Vigga har mellom 01. november 2015 og 09. november 2016 ikke avdekket noen større anleggsrelaterte hendelser.

I Vigga, spesielt ved DYN, viste overvåkingen episoder med høy partikkelkonsentrasjon. Disse episodene var hovedsakelig relatert til nedbør og smeltevannsavrenning. I tillegg til dette viste overvåkingen noen kortvarige episoder med økt turbiditet ved HAS og DYN. Noen av episodene ga svært kraftige utslag i turbiditet (opp til og over 1000 NTU). Ofte begrenset episodene seg til enkeltmålinger, noe som tilsier en varighet på mindre enn 1 time. Om episodene skyldes avrenning av jordpartikler i forbindelse med den midlertidig bruforbindelsen ved Holmen har dette sannsynligvis hatt minimal betydning for Vigga på den aktuelle strekningen. Elvekantene består hovedsakelig av mindre partikler som lett eroderer ved økende vannhastighet og utgjør en betydelig partikkelkilde til Vigga. Partikkeltransporten var spesielt høy i forbindelse med frostavgang våren 2016.

Mellom august og november viste overvåkingen regelmessige økning i ledningsevne ved HAS som tilsier at påslipp av vann til Vigga. Det ble ikke målt samvariasjon med andre parametere i forbindelse med disse hendelsene.

Målinger av pH viste ingen unormale verdier.

Referanser

- Leikanger, E. og Roseth, R. 2013. Miljøovervåkning i Vigga i perioden 30.04.13 – 18.09.13. Bioforsk notat 25.09.13.
- Leikanger, E. og Roseth, R. 2014. Miljøovervåkning Rv4 Gran grense – Jaren i perioden 29. november 2013 til 17. januar 2014. Bioforsk notat 20.01.14.
- Leikanger, E. og Roseth, R. 2014. Utslipp av vann fra anleggsområder til Vigga i uke 36-38. Bioforsk notat 25.09.14.
- Leikanger, E., Roseth, R., Nytrø, T.E., Rise, Ø., Tveiti, G., Johansen, Ø. 2015. Ny Rv4 Gran grense – Jaren. Miljøovervåkning i Vigga, status 1. januar 2015. Bioforsk rapport 10 (32) 2015
- Roseth, R., Woldstad, L. og Bye, F. N. 2011. Rv7 Ramsrud – Kjeldsbergsvingene. Sluttrapport miljøovervåking anleggsfase. Bioforsk Rapport 6(137) 2011.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

STATENS VEGVESEN

OVERVÅKNING AV VIGGA, JANUAR – OKTOBER, 2014

ADRESSE COWI AS
Grensev. 88
Postboks 6412 Etterstad
0605 Oslo
TLF +47 02694
WWW cowi.no

INNHold

1	Innledning	2
1.1	Formål med undersøkelsen	2
2	Metode	3
2.1	Passiv prøvetakning i vann	4
2.2	Vannprøver	5
2.3	Prøvetakningsplan	6
3	Resultater	7
3.1	Vannføring og pH	7
3.2	DGT	8
3.3	Vannprøver	9
4	Diskusjon	11
4.1	DGT	11
4.2	Vannprøver	11
5	Referanser	12

OPPDRAGSNR. A040603
VERSJON 1.0
UTGIVELSESDATO 04.12.2014
UTARBEIDET Halvor Saunes
KONTROLLERT Mona Weideborg

1 Innledning

Statens vegvesen bygger ny Rv.4 og tunnel under Gran sentrum i Oppland fylke. Rv.4 går gjennom landbruksområder og utmark med grunn som består av ulike typer av svartskifere. Vegvesenet har fått tillatelse til å slippe ut rensert prosessvann fra tunneldriften til elva Vigga, oppstrøms Jarenvatnet. Prosessvannet kan ha et høyt innhold av suspendert stoff, høy andel nitrogenforbindelser, frigjorte metaller og olje, samt til tider høy pH. Deler av tunnelen består av masser som karakteriseres som alunskifer, og tunneldriften kan potensielt bidra til sur avrenning til Vigga og mobilisering av tungmetaller

Statens vegvesen har fått tillatelse til å deponere utsprengt alunskifer i et myrområde rett utenfor tunnelåpningen (Figur 1). Deponering av alunskifer i myr vil gi stabile forhold som sikrer at mineralene i alunskiferen ikke vil gjennomgå vesentlige fysiske eller kjemiske endringer. De anaerobe forholdene i myra hindrer oksidasjon og dannelse av syre, som videre kan forårsake utlekking av metaller fra alunskifer /1/.

Tiltaksområdet har avrenning til elva Vigga, som inngår i vannområde Hadeland. Vigga er karakterisert som en sterkt modifisert vannforekomst, som i hovedsak skyldes endringer i kantsoner, samt avrenning fra dyrket mark og avløp.

Overvåkingen er et ledd i den samlede miljøovervåkingen av Vigga, som påkrevd i tillatelsen fra Fylkesmannen /2/.



Figur 1. Deler av anleggsområdet, utenfor tunnelåpningen, langs ny Rv. ved Gran i Oppland fylke. Deponering av alunskifer vil foregå i myrområdet utenfor tunnelåpningen.

1.1 Formål med undersøkelsen

Formålet med undersøkelsen er å kartlegge tilstanden i Vigga gjennom anleggsperioden med hensyn på metaller i vannforekomsten. Utvalgte prøvepunkter skal skaffe oversikt over endringer i vannkvaliteten som følge av

anleggsdrift, tunnelutbygging og avrenning fra myr hvor det foregår masseutskifting med alunskifer.

Det er valgt å benytte både passive prøvetakere (DGT) og konvensjonell vannprøvetakning for å oppnå et mest mulig riktig bilde av den kjemiske tilstanden over et tidsrom på 10 måneder (januar – oktober 2014).

2 Metode

Det ble valgt ut 3 stasjoner i elva Vigga, samt en referansestasjon i en mindre bekk (Vøyenbekken) med utløp til Vigga. Prøvetakningsstasjoner er vist i Figur 2-4, mens koordinatene er vist i Tabell 1.

Tabell 1. Prøvestasjon og koordinater, for overvåkningsprogram i elva Vigga.

Stasjon	Koordinater (UTM 32)
SGO x-1	Ø586878.55, N6690614.69
SGO x-2	Ø587017.15, N6690900.03
SGO x-3	Ø586546.05, N6691322.10
SGO x-4	Ø586661.44, N6691676.31



Figur 2. Oversiktsbilde over plassering av prøvestasjonene 3 og 4 i forbindelse med vannovervåkning i elva Vigga, Gran kommune.



Figur 3. Oversiktsbilde over plassering av prøvestasjonene 1 og 2 i forbindelse med vannovervåkning i elva Vigga, Gran kommune.



Figur 4. a) Oversiktsbilde over stasjon 2, Vøyenbekken, benyttet som referansestasjon i overvåkingen. b) Stasjon 3, utslippspunkt for tunneldrivevann i Vigga.

2.1 Passiv prøvetakning i vann

Det ble valgt å benytte såkalte passive prøvetakere (DGT) for målinger av metaller i vannfasen (Figur 5). DGT (*diffusive gradient in thin-film*) brukes for kvantitative målinger av frie metallforbindelser og svakt bundet metallkomplekser i vann (biotilgjengelig fraksjon). En DGT-enhet består av en membran som akkumulerer metallene *in-situ* ved diffusjon gjennom membranen over tid. Med bruk av DGT oppnås et mer riktig bilde av forurensningstilførslene, da resultatene representerer en lengre tidsperiode og ikke et øyeblikksbilde, som ved tradisjonell vannprøvetakning (stikkprøver). Konsentrasjonen av løste og labile metaller anses å være langt mer relevant enn totalkonsentrasjoner i et risikovurderingsperspektiv,

da det i hovedsak er den løste delen av metallene som er tilgjengelig for organismer som lever i vannet. Miljøstandarder (EQS) og klassifiseringsgrenser for metaller gjelder for partikkelfrie prøver. Bruk av passive prøvetakere til kartlegging av vannkvaliteten er en godkjent metode i henhold til EUs vanndirektiv. Prøvetakerne var plassert i vannmassene over en periode på 25-32 dager (Tabell 2). Følgende metaller/metalloider har blitt undersøkt ved hjelp av DGT'er: **As, Al, V, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, U, Sr, Hg.**



Figur 5. DGT'er ble brukt for analyse av As og utvalgte metaller i elva Vigga, 2014.

2.2 Vannprøver

I tillegg til måling av metaller ved bruk av DGT har det blitt samlet inn vannprøver fra hver av stasjonene. Vannprøver representerer den totale metallkonsentrasjonen i vannfasen i et gitt øyeblikk (både fritt og bundet til partikler). Ved utslippspunktet for tunneldrivevann til Vigga (Stasjon 3) ble det tatt vannprøve for hver prøverunde, mens det for de øvrige stasjonene kun ble samlet inn prøver sporadisk frem til juli. Fra og med august måned ble det samlet inn vannprøve for hver prøvetakningsrunde fra både stasjon 1 (oppstrøms) og stasjon 4 (nedstrøms). Ved de to første rundene (januar og februar) ble vannprøvene analysert ufiltrert, men i de resterende rundene ble vannprøvene filtrert på lab.

Vannprøvene ble analysert for følgende forbindelser: **As, Al, V, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, U, Sr, Hg, Mo, Ammoniakk (NH₃) og Tot-N.**

For uran og strontium er det ikke skilt mellom ulike tilstandsformer for radionuklider og metaller. Ammoniakk og Tot-N er inkludert i overvåkingen fra og med april måned. Det er kjent at tunneldrivevann kan inneholde høye konsentrasjoner av ammoniakk som kan være meget giftig for fisk.

Konsentrasjonene er sett opp imot grenseverdiene i utslippstillatelse fra Fylkesmannen datert 19. november 2013 /2/ (Tabell 2), samt tilstandsklasser (TKL) gitt i veileder TA-3001/2012 /3/ (Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota). For metallene Al, Sr, V og U eksisterer det ingen fastsatte TKL.

Tabell 2. Oversikt over grenseverdier for metaller og organiske stoffer i utslippstillatelsen gitt av Fylkesmannen i Oppland september 2013 /2/.

Utslippsparameter	Utslippsgrense	Enhet
pH	>6 og <8,5	-
Olje	5	mg/L
Suspendert stoff	100	mg/L
Ammoniakk	0,05	mg/L
Totalt fosfor	5	mg/L
Arsen (As)	8,5	µg/L
Kadmium (Cd)	1,5	µg/L
Krom (Cr)	3,4	µg/L
Kobber (Cu)	7,8	µg/L
Kvikksølv (Hg)	0,07	µg/L
Nikkel (Ni)	34	µg/L
Bly (Pb)	14	µg/L
Sink (Zn)	11	µg/L

Målinger av pH og vannføring er utført av Statens vegvesen og er inkludert i resultatene under.

2.3 Prøvetakningsplan

Det har blitt gjennomført 10 prøvetakninger (perioder) i tidsrommet januar til september 2014. En oversikt over prøvetidspunkt, antall dager DGT har vært eksponert i vannmassene, og antall vannprøver er vist Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over prøverunde, prøvetidspunkt (vannprøver og utsetting DGT-er), antall dager DGT var utplassert og beskrivelse av vannprøvetakning.

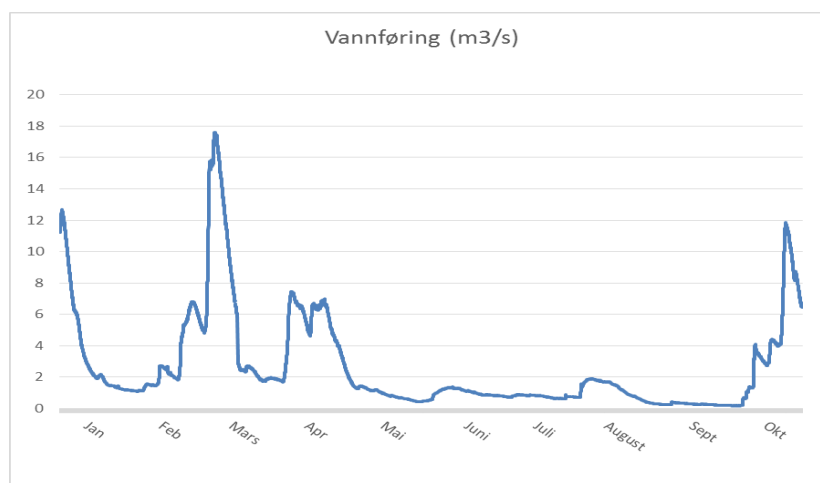
Runde	Prøvetidspunkt 2014	Antall dager eksponert (DGT)	Kommentar
1	7 jan.	28 dager	Vannprøver tatt litt ovenfor utslippspunkt Vigga 1-3
2	4. feb	30 dager	Vannprøver tatt ved utslippspunkt Vigga 2-3
3	04.mar.	27 dager	Vannprøver tatt ved utslippspunkt Vigga 3-3 og Vigga nedstrøms 3-4
4	31.mar.	26 dager	Vannprøver tatt ved utslippspunkt Vigga 4-3
5	25.apr	24 dager	Vannprøver tatt ved utslippspunkt Vigga 5-3
6	16.mai	31 dager	Vannprøver tatt i Vigga oppstrøms (6-1), Vøyenbekken (5-2) og utslippspunkt Vigga (5-3)
7	16.jun	25 dager	Vannprøve ved utslippspunkt (7-3)
8	11.jul	32 dager	Vannprøver tatt i Vigga oppstrøms (8-1), utslippspunkt Vigga (8-3) og Vigga nedstrøms (8-4)
9	12.aug	22 dager	Vannprøver tatt i Vigga oppstrøms (9-1), utslippspunkt Vigga (9-3) og Vigga nedstrøms (9-4)
10	04.sep	-	Vannprøver tatt i Vigga oppstrøms (10-1), utslippspunkt Vigga (10-3) og Vigga nedstrøms (10-4)

3 Resultater

3.1 Vannføring og pH

Målinger av vannføring og pH i Vigga ble gjennomført av Statens vegvesen ved hjelp av loggere plassert i elva, vist i Figur 6 og Figur 7. Målepunktet for resultatene som er vist nedenfor er nedstrøms utslippspunktet.

Måling av vannføringen i Vigga viste store variasjoner. Det ble registrert en intens flomperiode i slutten av februar, tilsvarende 18 m³/s. I tillegg var vannføringen høy i april i forbindelse med snøsmeltingen. Vannføringen økte også fra og med oktober på grunn av intensiv nedbør.



Figur 6. Registret vannføring (m³/sek) i Vigga under prøvetakningsperioden (januar- november 2014).

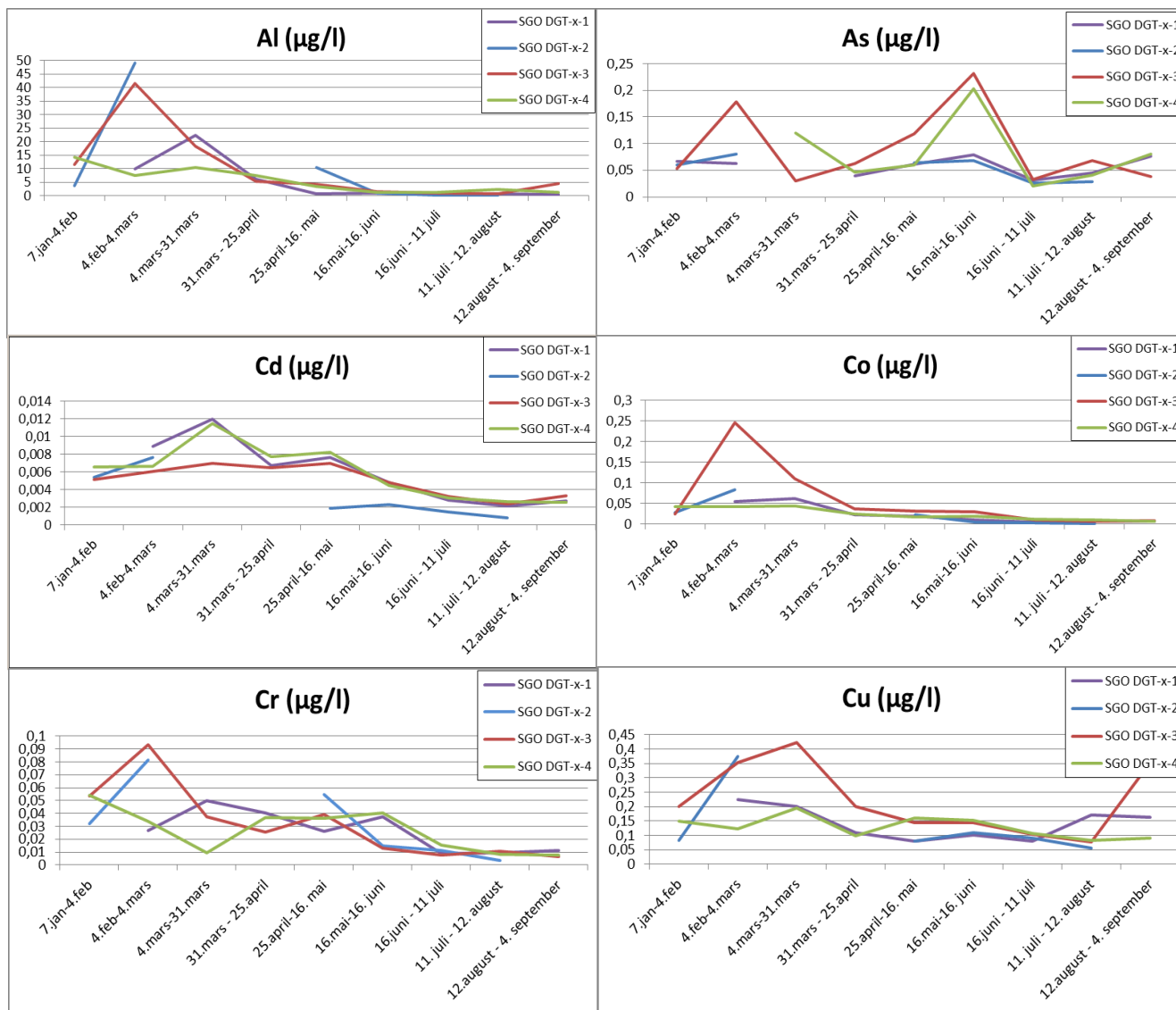
Målingene av pH nedstrøms utslippspunktet varierte mellom 9,46 og 7,54. Noen ekstreme hopp er på grunn av vedlikehold og andre forstyrrelser.



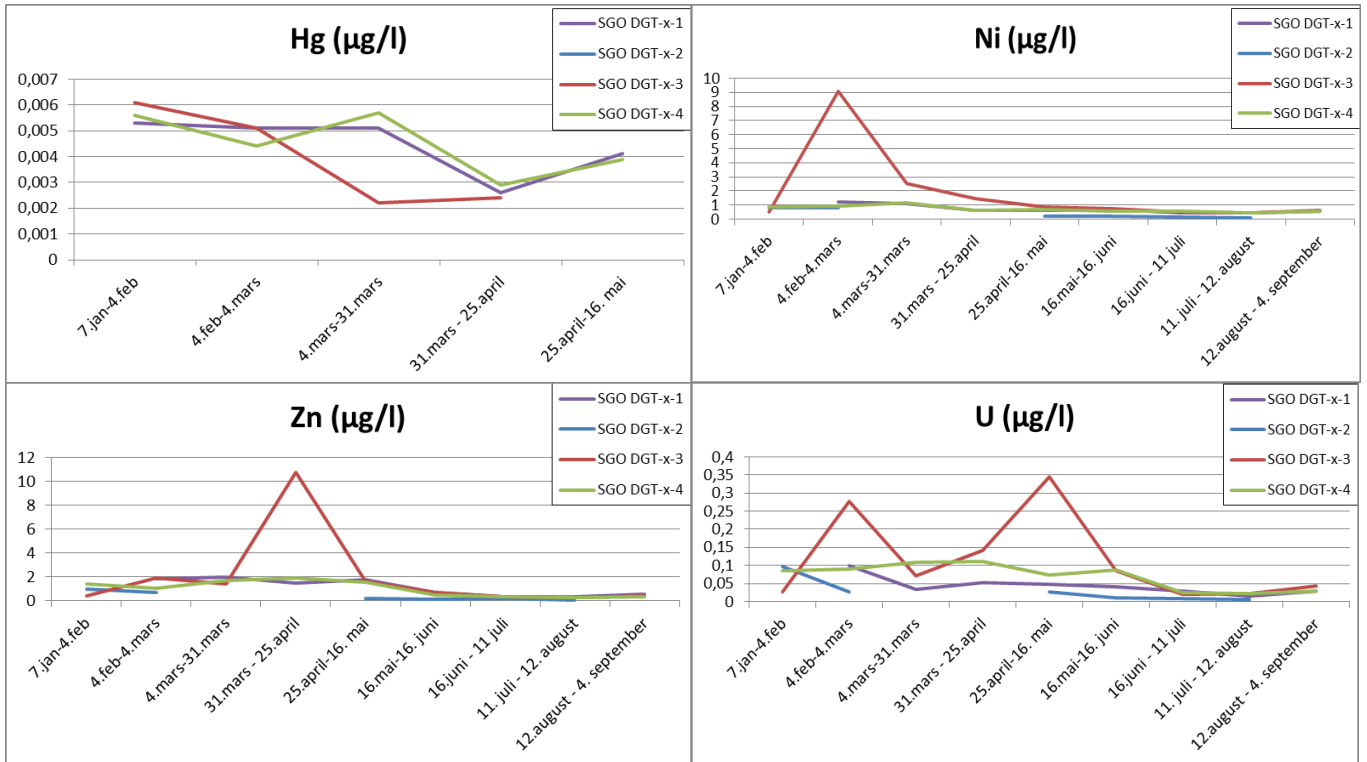
Figur 7. Registret pH i Vigga nedstrøms utslippspunktet under prøvetakningsperioden (januar- november 2014).

3.2 DGT

Tidsserier for konsentrasjonene av Al, As, Cd, Co, Cr og Cu i DGT'er fra de 4 prøvestasjonene, i tidsrommet januar – september 2014, er vist i Figur 8, mens resultatene for metallene Hg, Ni, Zn og U er vist i Figur 9. Analyseresultatene er i tillegg vist i tabellform i vedlegg A, hvor tallene er gitt fargekode iht. TKL i veileder TA-3001/2012 /3/.



Figur 8. Trendserie for målinger av metallene Al, As, Cd, Co, Cr og Cu (µg/l) i elva Vigga i perioden januar – september 2014. Trendlinjene i grafene viser resultatene for hver av prøvetakningsstasjonene i overvåkningen.

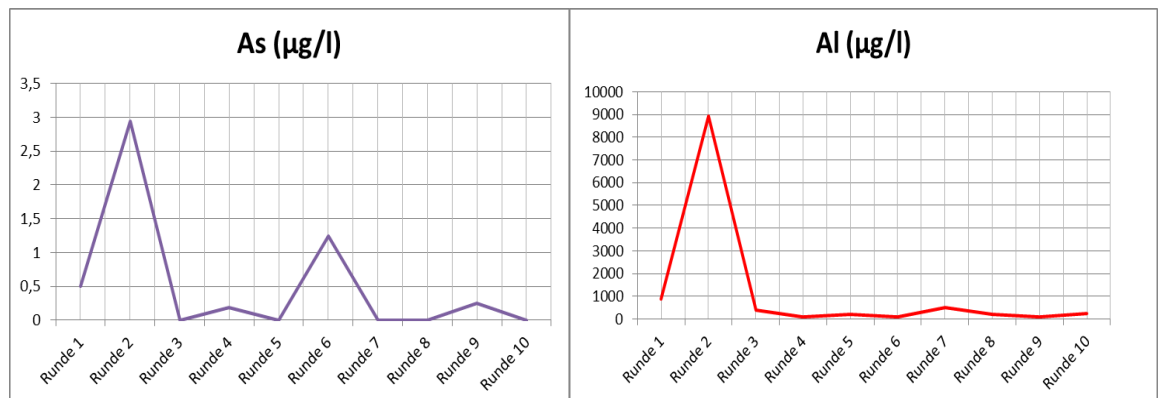


Figur 9. Trendserie for målinger av metallene Hg, Ni, Zn og U (µg/l) i elva Vigga i perioden januar – september 2014. Trendlinjene i grafene viser resultatene for hver av prøvetakningsstasjonene i overvåkingen.

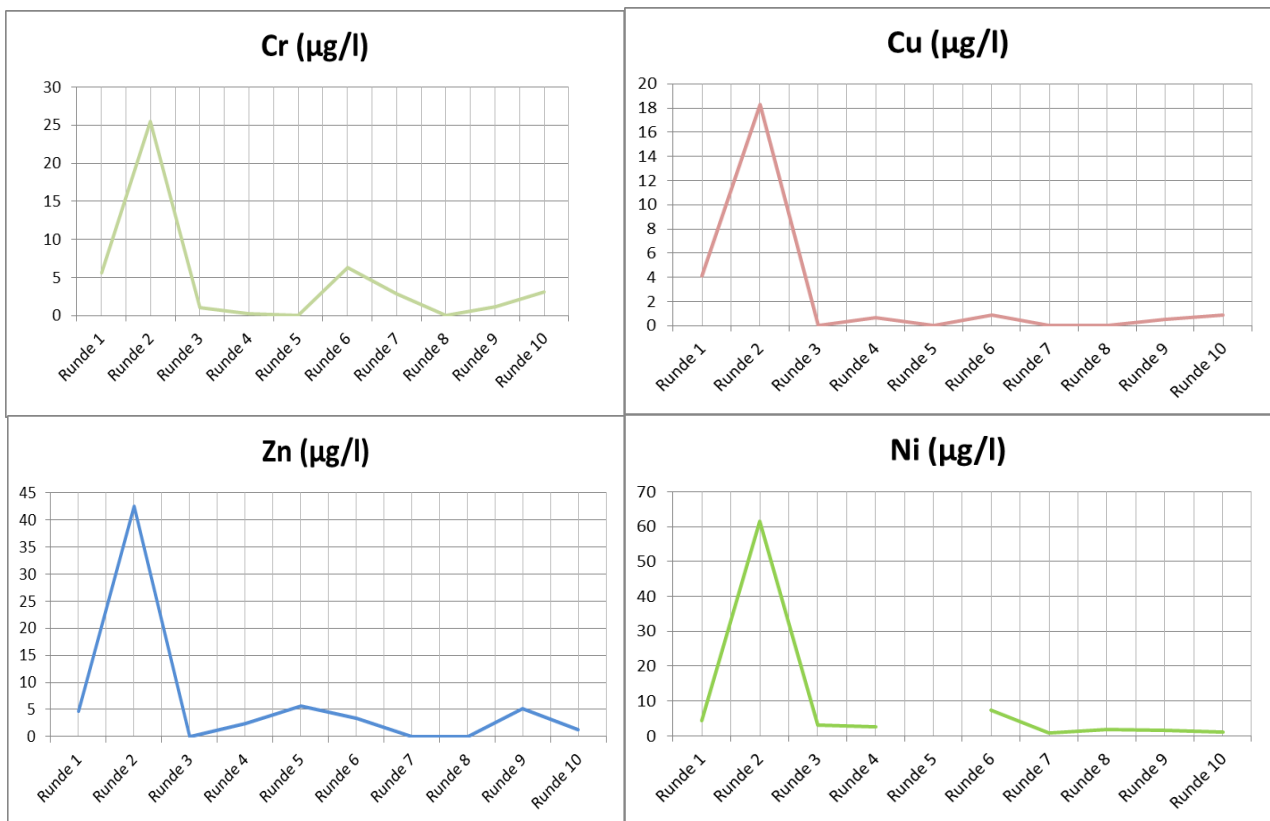
3.3 Vannprøver

3.3.1 Utslippspunkt Vigga

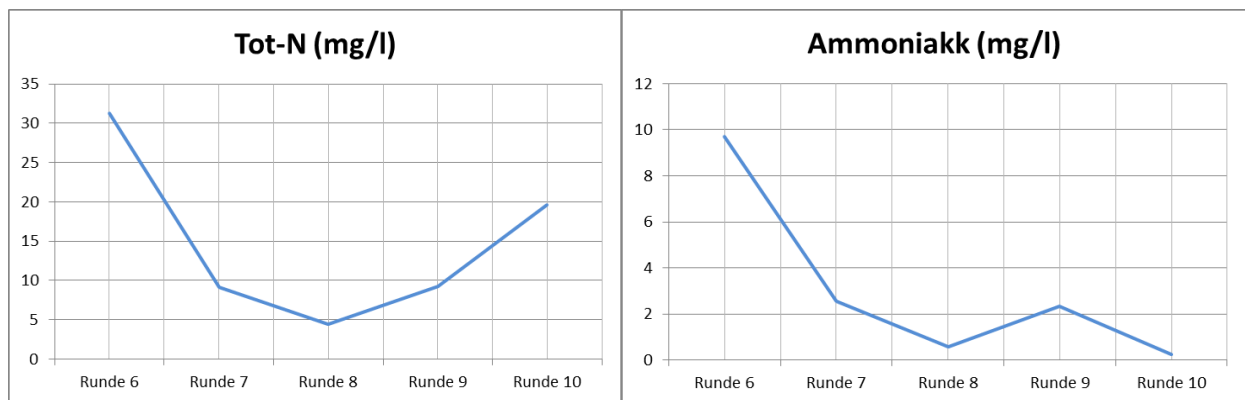
Resultatene for As, Al, Cr, Cu, Zn, Ni, ammoniakk og Tot-N i vannprøver fra utslippspunktet (stasjon 3) i Vigga er vist i Figur 10-12. Analyseresultatene er også vist i tabellform i vedlegg A, hvor tallene er gitt fargekode iht. TKL i veileder TA-3001/2012 /3/.



Figur 10. Trendserie (10 måneders overvåking) av metallene Al og As, (µg/l) i vannprøver fra utslippspunkt for tunneldrivevann (stasjon 3) i elva Vigga. Første og andre prøveserie er ufiltrerte prøver



Figur 11. Trendserie (10 måneders overvåkning) av metallene Cr, Cu, Zn og Ni, (µg/l) i vannprøver fra utslippspunkt for tunneldrivevann (stasjon 3) i elva Vigga. Første og andre prøveserie er ufiltrerte prøver



Figur 12. Trendserie (6 måneders overvåkning) av Tot-N og ammoniakk, (mg/l) i vannprøver fra utslippspunkt for tunneldrivevann (stasjon 3) i elva Vigga. Første og andre prøveserie er ufiltrerte prøver

4 Diskusjon

4.1 DGT

Resultatene fra måling av metaller/metalloider med DGT viser forholdsvis lave konsentrasjoner i overvåkningen av Vigga 2014. Alle konsentrasjonene i DGT'ene var under grenseverdiene i utslippstillatelsen fra Fylkesmannen /1/. Det ble påvist konsentrasjoner av As, Zn og Ni i TKL 2. Størstedelen av undersøkte metaller i TKL 2 ble påvist ved utslippspunktet (stasjon 3). Det ble også påvist Ni i TKL 3 ved utslippspunktet (stasjon 3) i februar.

I første del av overvåkningen var det høyere konsentrasjoner av metaller (bla. Al, Cr, Ni, Cu) ved utslippspunktet sammenlignet med de øvrige stasjonene. Dette skyldes i stor grad tilførsler fra tunneldriften. Statens vegvesen opplyst i ettertid om at rutinene ved rensaneanlegget ble justert som følge høye utslippstall i februar og mars.

Det er generelt målt lavere konsentrasjoner i DGT'ene enn i vannprøvene tatt som punktprøver i felt, noe som kan skyldes at mesteparten av metallene er kjemisk bundet til partikulært materiale, og eventuelt kompleksdannelse (særlig Hg). Det antas derfor at biotilgjengeligheten til metallene i vannforekomsten er lav.

4.2 Vannprøver

Tidligere undersøkelser som Statens vegvesen har gjennomført har vist at nivåene av metaller i vannet i Vigga normalt tilsvarende TKL 1 – 3. Resultatene i denne overvåkningen er lik tidligere målinger av referansetilstanden i elva /3/.

Det ble påvist to tilfeller av overskridelser av utslippstillatelsen med hensyn på metaller ved stasjon 3, i februar (Cr, Cu, Zn og Ni) og i juni (Cr). I juni var vannføringen i Vigga lav som følge av lite nedbør (Figur 6).

Samtlige av vannprøvene viser et topp for målte metaller i februar. Dette skyldes i betydelig grad valg av analysemetode, da vannprøvene ved de to første prøvetakingene ikke ble filtrert. En stor andel av metallene er bundet til partikulært materiale i vannprøvene, og blir dermed ikke filtrert bort før analyse. Dog, tyder resultatene fra DGT'ene i samme periode på at nivåene av løste metaller i Vigga var høyere i de to første prøvetakingene sammenlignet med de øvrige månedene. Blant annet ble det påvist høye konsentrasjoner av Al i februar, både i vannprøvene og DGT'er. I januar og februar var det intensiv flom i Vigga (Figur 8). Elva hadde i februar høyt innhold av suspendert materiale som følge av erosjon. Flom fører til økt løsrivelse av partikler og mobilisering av metaller i grunnen. Det er forventet høyere metallkonsentrasjon både som følge av økt partikkelinnhold og økt utlekking av løste metaller. Dette skyldes trolig de forholdsvis høye konsentrasjonene av metaller i vann i februar.

Det er tidligere rapportert om høye konsentrasjoner av U (90 µg/l), i sidebekker til Vigga som drenerer i områder med kjente forekomster av alunskifer.

Vøyenbekken (stasjon 2) ble i undersøkelsen valgt ut som referansestasjon. Resultatene fra vannprøvene viser at Vøyenbekken har høyere nivåer av Al sammenliknet de øvrige prøvetakningstasjonene, som følge av naturlige avrenning. Resultatene viser at Vøyenbekken bidrar til økte konsentrasjoner av Al i Vigga.

Nivåene av ammoniakk og Tot-N ved utslippspunktet (stasjon 3) er høyt i forhold til de øvrige stasjonene. Dette skyldes i hovedsak utslipp av tunneldrivevann. Alle vannprøvene fra stasjon 3 overskrider utslippstillatelsen og tilsvarer TKL 2 og 3. Målinger fra stasjon 4 (nedstrøms) viser at konsentrasjonene er sterkt fortynnet og tilsvarer TKL 1.

5 Referanser

/1/ Statens vegvesen, 2013. Overvåkningsprogram RV. 3 Gran.

/2/ Fylkesmannen i Oppland, 2013. Vedtak om tillatelse til utslipp av drive- og vaskevann fra anlegg og driftsfasen av Grantunellen, 19. september 2013.

/3/ Miljødirektoratet, 2012. Utkast til utarbeidelse Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sedimenter og biota. rapportutkast TA 3001/2012

**Vedlegg A. Analyseresultater sammenlignet med tilstandsklasser iht.
Veileder TA-3001/2012**

Program: VANN (Passive prøvetakere) DGT- Rv. 4 GRAN															
Prøvepunkt	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Vigga oppstrøms (1)															
DGT SGO 1-1	0,0664	0,0569	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0053
DGT SGO 2-1	0,0622	0,0585	9,93	0,00885	0,0539	0,0268	0,223	19	12,5	1,83	1,24	0,015	0,1	1,38	0,0051
DGT SGO 3-1			22,4	0,012	0,0608	0,0498	0,201	38,2	9,4	1,97	1,1	0,0629	0,0328	1,08	0,0051
DGT SGO 4-1	0,0394	0,0431	6,17	0,00672	0,0231	0,0407	0,109	10,8	4,63	1,53	0,642	0,00657	0,0518	1,01	0,0026
DGT SGO 5-1	0,062	0,0532	0,75	0,00763	0,0185	0,026	0,0799	3,58	6,78	1,79	0,618	0,00132	0,0468	1,11	0,0041
DGT SGO 6-1	0,0795	0,0577	0,941	0,00483	0,0106	0,0377	0,0998	2,55	4,6	0,697	0,658	0,00189	0,0405	0,918	-
DGT SGO 7-1	0,0312	0,0337	0,53	0,0028	0,00504	0,00893	0,0808	1,36	2,39	0,379	0,47	0,00114	0,0295	0,916	-
DGT SGO 8-1	0,0445	0,0431	0,55	0,00211	0,00555	0,0094	0,171	1,31	1,86	0,333	0,447	0,00112	0,0158	0,559	-
DGT SGO 9-1	0,0757	0,0768	0,457	0,00271	0,00653	0,0111	0,162	1,76	3,44	0,549	0,557	0,00124	0,0287	1,1	-
Vøyenbekken (2)															
DGT SGO 1-2	0,06	0,0572	3,64	0,00538	0,0284	0,0323	0,0813	7,57	7,55	1,03	0,777	0,00265	0,0979	1,52	0,0049
DGT SGO 2-2	0,0806	0,122	49,2	0,00761	0,0831	0,0814	0,375	76,5	12,4	0,73	0,829	0,0701	0,0258	1,19	-
DGT SGO 3-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DGT SGO 4-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DGT SGO 5-2	0,0643	0,0695	10,4	0,00191	0,0222	0,0549	0,0793	11,7	2,15	0,205	0,223	0,00675	0,0266	0,684	0,0041
DGT SGO 6-2	0,0676	0,161	0,922	0,00228	0,00429	0,0146	0,108	1,87	0,786	0,154	0,226	0,00177	0,0115	0,9	-
DGT SGO 7-2	0,0263	0,0349	0,17	0,0015	0,00205	0,011	0,0911	0,463	0,227	0,236	0,148	0,00117	0,00854	0,596	-
DGT SGO 8-2	0,0281	0,0412	0,0985	0,00077	0,00094	0,00349	0,0547	0,274	0,166	0,0754	0,0909	0,00044	0,00534	0,317	-
Tilstandsklasser (TA-3001/2012)															
Klasse 1 (Bakgrunnsda)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	0,001
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	0,05
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	0,07
Klasse 4 (Akutt tox)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	0,7
Klasse 5 (Omfattende a)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	>0,7

Program: VANN (Passive prøvetakere) DGT- Rv. 4 GRAN																
	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)	
Prøvepunkt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Utslippspunkt Vigga (3)																
DGT SGO 1-3	0,0531	0,0631	11,4	0,00511	0,0235	0,0538	0,201	16,2	5,52	0,424	0,499	0,0108	0,0273	1,16	0,0061	
DGT SGO 2-3	0,178	1,1	41,6	0,00601	0,246	0,0934	0,354	74	18,4	1,94	9,08	0,0663	0,277	4,24	0,0051	
DGT SGO 3-3	0,0302	0,0896	18,3	0,007	0,11	0,0374	0,422	47	10,8	1,43	2,53	0,0914	0,0711	2,47	0,0022	
DGT SGO 4-3	0,063	0,153	5,27	0,00648	0,036	0,0253	0,201	6,66	5,29	10,8	1,46	0,00624	0,141	1,43	0,0024	
DGT SGO 5-3	0,119	0,32	4,14	0,00694	0,0306	0,0393	0,145	4,39	5,15	1,64	0,86	0,00196	0,344	1,22	-	
DGT SGO 6-3	0,232	0,322	1,47	0,00481	0,0297	0,0128	0,144	2,96	8,16	0,691	0,753	0,00359	0,0855	0,909	-	
DGT SGO 7-3	0,0331	0,0537	0,981	0,00322	0,00898	0,00768	0,104	1,45	3,97	0,367	0,493	0,00285	0,0191	0,76	-	
DGT SGO 8-3	0,0684	0,111	0,738	0,00239	0,00617	0,0106	0,0772	0,951	2,64	0,26	0,424	0,00084	0,0219	0,659	-	
DGT SGO 9-3	0,0377	0,0652	4,57	0,0033	0,0087	0,00622	0,354	1,79	4,11	0,44	0,606	0,00306	0,0425	1,53	-	
Vigga nedtrøms (4)																
DGT SGO 1-4	0,0826	0,0638	14,2	0,00652	0,0418	0,0543	0,148	24,4	9,97	1,43	0,878	0,0135	0,0851	1,6	0,0056	
DGT SGO 2-4	-	-	7,52	0,00665	0,0419	0,0337	0,122	14	8,88	1,05	0,945	0,0185	0,0888	1,3	0,0044	
DGT SGO 3-4	0,12	0,149	10,4	0,0115	0,0442	0,00942	0,194	12,6	8,4	1,74	1,17	0,0293	0,108	2,35	0,0057	
DGT SGO 4-4	0,0469	0,0801	7,5	0,00769	0,0244	0,0371	0,0974	10,9	4,91	1,94	0,632	0,00667	0,112	1,14	0,0029	
DGT SGO 5-4	0,0606	0,059	3,4	0,00821	0,0178	0,0364	0,159	6,37	5,28	1,57	0,704	0,00332	0,0734	0,949	0,0039	
DGT SGO 6-4	0,203	0,423	1,18	0,00447	0,0183	0,0405	0,152	2,11	5,01	0,526	0,568	0,00349	0,0885	0,951	-	
DGT SGO 7-4	0,021	0,0544	1,16	0,00307	0,012	0,0155	0,107	2,45	5,04	0,387	0,54	0,00192	0,0246	1,03	-	
DGT SGO 8-4	0,0411	0,0526	2,19	0,00264	0,0105	0,00843	0,0812	4,04	3,52	0,302	0,428	0,00412	0,0212	0,596	-	
DGT SGO 9-4	0,08	0,0835	1,29	0,00258	0,00677	0,00778	0,091	1,92	4,29	0,325	0,554	0,001	0,0284	1,01	-	
Tilstandsklasser (TA-3001/2012)																
Klasse 1 (Bakgrunnsda)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	0,001	
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	0,05	
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	0,07	
Klasse 4 (Akutt tox)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	0,7	
Klasse 5 (Omfattende a)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	>0,7	

Prøvepunkt	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)	Mo (Molybden)	Ammoniak	N-totalt	
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	
Vannprøver utslippspunkt																			
SGO 1-3 (Utslippspunkt)	0,5	2,4	880	0,024	0,56	5,6	4,1	0,081	32	4,7	4,5	8,5	0,0007	220	<0,005	1,3			
SGO 2-3 (Utslippspunkt)	2,95	24,1	8920	0,113	4,5	25,5	18,3	13,3	186	42,6	61,6	6,76	13,4	1550		59,3			
SGO 3-3 (Utslippspunkt)	<0,5	0,849	397	<0,05	0,27	1,05	<1	0,481	25,1	<4	3,09	<0,5	1,05	310	<0,02	1,96			
SGO 4-3 (Utslippspunkt)	0,181	0,319	83,9	0,0193	0,11	0,279	0,688	0,0863	12	2,43	2,6	0,103	1,02	282	<0,002	2,59			
SGO 5-3 (Utslippspunkt)	<0,5	0,613	200	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,275	17,3	5,67		<0,5	0,853	201	<0,02	2,97			
SGO 6-3 (Utslippspunkt)	1,24	10,7	90,6	0,184	0,101	6,34	0,85	0,00404	4,77	3,41	7,45	0,0774	5,8	860	<0,002	164	9,7	31,3	
SGO 7-3 (Utslippspunkt)	<1	3,29	521	0,0686	0,0993	2,84	<1	0,0063	6,01	<2	0,893	<0,2			<0,02	58,8	2,55	9,15	
SGO 8-3 (Utslippspunkt)	<0,5	1,37	200	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,133	9,27	<4	1,75	<0,5	1,48	310	<0,02	10,2	0,57	4,46	
SGO 9-3 (Utslippspunkt)	0,25	0,699	82,2	0,0438	0,0601	1,15	0,498	0,012	8,56	5,07	1,58	0,0169	1,58	507	<0,002	44,7	2,32	9,27	
SGO 10-3 (Utslippspunkt)	<0,6	1,1	259	0,105	0,0685	3,09	0,916	0,00164	28,3	1,33	1,15	0,0305	1,25	1200	<0,002	93,4	0,26	19,6	
Tilstandsklasser (TA-3001/2012)																			
Klasse 1 (Bakgrunnsdata)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	0,001	-	1	-	
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	0,05	-	5	-	
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	0,07	-	10	-	
Klasse 4 (Akutt tox)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	0,7	-	15	-	
Klasse 5 (Omfattende akutt tox)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	>0,7	-	25	-	
Grenseverdier drikkevannsforskiten	10		200	5		50	1	200	50		20	0,7	15		0,5				
Utslippstillatelse FM Oppland																			
Utslippstillatelse FM	8,5			1,5		3,4	7,8			11	34	14			0,07				

Prøvepunkt	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)	Mo (Molybden)	Ammoniak (NH3)	N-totalt	
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	
Vannprøver utslippspunkt																			
SGO 3-4 (Vigga nedstrøms)	<0,5	0,71	307	<0,05	0,255	1,22	2,62	0,447	24,8	4,11	3,4	<0,5	1,09	313	<0,02	1,79	-	-	
SGO 8-4 (Vigga nedstrøms)	<0,5	0,257	52	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,0729	11,2	<4	1,57	<0,5	1,36	310	<0,02	4,1	0,2	2,93	
SGO 9-4 (Vigga nedstrøms)	0,269	0,135	19,4	0,0152	0,0608	0,06	0,461	0,0133	7,56	6	1,66	0,0807	1,43	329	<0,002	5,29	0,051	0,269	
SGO 10-4 (Vigga nedstrøms)	<0,3	0,132	53	0,00802	0,0374	0,0843	0,442	0,025	7,18	2,07	1,57	0,0102	1,19	341	<0,002	4,61	<0,004	2,43	
SGO 6-1 (Vigga oppstrøms)	0,19	0,0737	18,1	0,00798	0,0384	0,084	0,41	0,0164	1,13	4,61	1,41	0,0112	0,717	207	<0,002	1,9	0,118	2,15	
SGO 7-1 (Vigga oppstrøms)	<1	0,224	24,2	<0,05	0,1	<0,5	<1	0,0203	3,63	2,67	1,21	<0,2	-	-	<0,02	3,9	0,041	2,4	
SGO 8-1 (Vigga oppstrøms)	<0,5	<0,2	44,8	<0,05	<0,2	<0,9	<1	0,0775	9,03	<4	1,6	<0,5	1,21	297	<0,02	2,88	0,58	2,45	
SGO 9-1 (Vigga oppstrøms)	0,252	0,146	19,2	0,00608	0,061	0,0577	0,527	0,0176	5,63	6,93	1,71	0,0258	1,23	313	0,00217	3,11	0,021	2,36	
SGO 10-1 (Vigga oppstrøms)	0,285	0,0782	12,3	0,00557	0,0363	0,0457	0,455	0,0265	4,09	5,13	1,33	<0,01	1,2	324	<0,002	2,86	<0,004	2,04	
SGO 7-2 (Vøyebekken)	<1	0,222	12,1	<0,05	0,0777	<0,5	<1	<0,004	1,3	<2	0,511	<0,2	-	-	<0,02	1,75	0,013	3,32	
SGO 6-2 (Vøyebekken)	0,158	0,142	16,2	0,0021	0,0337	0,0703	0,484	0,00498	0,107	4,65	0,631	<0,01	0,594	173	<0,002	1,7	<0,003	2,63	
Tilstandsklasser (TA-3001/2012)																			
Klasse 1 (Bakgrunnsdata)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	0,001	-	1	-	
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	0,05	-	5	-	
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	0,07	-	10	-	
Klasse 4 (Akutt tox)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	0,7	-	15	-	
Klasse 5 (Omfattende akutt tox)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	>0,7	-	25	-	
Grenseverdier drikkevannsforskiten	10		200	5		50	1	200	50		20	0,7	15		0,5				

STATENS VEGVESEN

OVERVÅKNING AV VIGGA, OKTOBER 2014 – OKTOBER, 2015

ADRESSE COWI AS
Hasleveien 10
0571 Oslo
TLF +47 02694
WWW cowi.no

INNHold

1	Innledning	2
1.1	Formål med undersøkelsen	3
2	Metode	3
2.1	Passiv prøvetakning i vann	5
2.2	Prøvetakningsplan	7
3	Resultater	8
3.1	Vannføring og pH	8
3.2	DGT	10
4	Diskusjon	13
5	Konklusjon	14
6	Referanser	14

OPPDRAGSNR. A040603
VERSJON 1.0
UTGIVELSESDATO 16.12.15
UTARBEIDET Mikal Bredal
KONTROLLERT Halvor Saunes
GODKJENT Svein Ole Astebøl

1 Innledning

Statens vegvesen bygger ny Rv.4 og tunnel under Gran sentrum i Oppland fylke. Rv.4 går gjennom landbruksområder og utmark med berggrunn som består av ulike typer av svartskifere. Vegvesenet har fått tillatelse til å slippe ut rensesvann fra tunneldriften til elva Vigga, oppstrøms Jarenvatnet. Prosesstvannet kan ha et høyt innhold av suspendert stoff, høy andel nitrogenforbindelser, frigjorte metaller og olje, samt til tider høy pH. Deler av tunnelen består av masser som karakteriseres som alunskifer, og tunneldriften kan potensielt bidra til sur avrenning og mobilisering av tungmetaller. Videre kan overvann og annen avrenning fra anlegget forurense Vigga.

Statens vegvesen har fått tillatelse til å deponere utsprengt alunskifer i et myrområde rett utenfor tunnelåpningen (Figur 1). Deponering av alunskifer i myr vil gi stabile forhold som sikrer at mineralene i alunskiferen ikke vil gjennomgå vesentlige fysiske eller kjemiske endringer. De anaerobe forholdene i myra hindrer oksidasjon og dannelse av syre, som videre kan forårsake utlekking av metaller fra alunskifer /1/.

Tiltaksområdet har avrenning til elva Vigga, som inngår i vannområde Hadeland. Vigga er karakterisert som en sterkt modifisert vannforekomst, som i hovedsak skyldes endringer i kantsoner, samt avrenning fra dyrket mark og avløp.

Overvåkingen er et ledd i den samlede miljøovervåkingen av Vigga, som er påkrevd i tillatelsen fra Fylkesmannen /2/

Overvåkingen har pågått siden begynnelsen av januar 2014. Resultatene fra fjoråret viste at konsentrasjonene var under grenseverdiene i utslippstillatelsen fra Fylkesmannen /4/. Det ble målt noen konsentrasjoner i tilstandsklasse (TKL) 2 og 3. De høyeste konsentrasjonene har blitt påvist ved utslippspunktet. Siden analyserte konsentrasjoner fra DGTet generelt sett var lavere enn konsentrasjoner fra tilsvarende vannprøver, ble det konkludert med at det meste av metallene er kjemisk bundet, og dermed er utilgjengelig for biologiske organismer.



-Figur 1. Deler av anleggsområdet, utenfor tunnelåpningen, langs ny Rv. ved Gran i Oppland fylke. Deponering av alunskifer vil foregå i myrområdet utenfor tunnelåpningen.

1.1 Formål med undersøkelsen

Formålet med undersøkelsen er å kartlegge tilstanden i Vigga gjennom anleggsperioden med hensyn på metaller i vannforekomsten. Utvalgte prøvepunkter skal skaffe oversikt over endringer i vannkvaliteten som følger av anleggsdrift, tunnelutbygging og avrenning fra myr hvor det foregår masseutskiftning med alunskifer.

Det har blitt utplassert prøvetakere (DGT) over et tidsrom på 12 måneder (november 2014 – oktober 2015).

2 Metode

Prøvetakingen i 2015 ble i stor grad gjennomført på samme måte som i 2014. Unntaket er at det ikke ble plassert prøvetakere i Vøienbekken (SGT 2) i år. De tre resterende prøvepunktene (SGT 1, 3 og 4) ble brukt også i år. Resultatene for 2015 er dermed direkte sammenlignbare med fjorårets resultater. I år har SGT 1 (Vigga oppstrøms) fungert som referansepunkt.

Prøvetakningsstasjoner er vist i Figur 2-4, mens koordinatene er vist i Tabell 1.

Tabell 1. Prøvestasjon og koordinater, for overvåkningsprogram i elva Vigga.

Stasjon	Koordinater (UTM 32)
SGO x-1	Ø586878.55, N6690614.69
SGO x-2*	Ø587017.15, N6690900.03
SGO x-3	Ø586546.05, N6691322.10
SGO x-4	Ø586661.44, N6691676.31

*Ble ikke brukt i 2015.



Figur 2. Oversiktsbilde over plassering av prøvestasjonene 3 og 4 i forbindelse med vannovervåkning i elva Vigga, Gran kommune.



Figur 3. Oversiktsbilde over plassering av prøvestasjonene 1 og 2 i forbindelse med vannovervåkning i elva Vigga, Gran kommune.



Figur 4. Stasjon 3, utslippspunkt for tunneldrivevann i Vigga.

2.1 Passiv prøvetakning i vann

Det ble valgt å benytte såkalte passive prøvetakere (DGT) for målinger av metaller i vannfasen (Figur 5). DGT (*diffusive gradient in thin-film*) brukes for kvantitative målinger av frie metallforbindelser og svakt bundet metallkomplekser i vann (biotilgjengelig fraksjon). En DGT-enhet består av en membran som akkumulerer metallene *in-situ* ved diffusjon gjennom membranen over tid. Med bruk av DGT oppnås et mer riktig bilde av forurensningstilførslene, da resultatene representerer en lengre tidsperiode og ikke et øyeblikksbilde, som ved tradisjonell

vannprøvetakning (stikkprøver). Konsentrasjonen av løste og labile metaller ansees å være langt mer relevant enn totalkonsentrasjoner i et risikovurderingsperspektiv, da det i hovedsak er den løste delen av metallene som er tilgjengelig for organismer som lever i vannet. Miljøstandarder (EQS) og klassifiseringsgrenser for metaller gjelder for partikkelfrie prøver. Bruk av passive prøvetakere til kartlegging av vannkvaliteten er en godkjent metode i henhold til EUs vanddirektiv.

Prøvetakerne var plassert i vannmassene over en periode på 25-32 dager (Tabell 2). Følgende metaller/metalloider har blitt undersøkt ved hjelp av DGT'er: **As, Al, V, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, U, Sr**. Måling av kvikksølv ble avsluttet sommeren 2014.

DGTene ble analyserte hos ALS Laboratory group. Analyseusikkerheten er ca +/- 30% for både kationer og anioner.



Figur 5. DGT'er ble brukt for analyse av arsen og utvalgte metaller i elva Vigga, 2014.

Konsentrasjonene er sett opp imot grenseverdiene i utslippstillatelsen fra Fylkesmannen datert 19. november 2013 /2/ (Tabell 2), samt tilstandsklasser (TKL) gitt i veileder TA-3001/2012 /3/ (Utkast til Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota). For metallene Al, Sr, V og U eksisterer det ingen fastsatte TKL.

Tabell 2: Oversikt over grenseverdier for metaller og organiske stoffer i utslippstillatelsen gitt av Fylkesmannen i Oppland september 2013 /2/.

Utslippsparemeter	Utslippsgrense	Enhet
pH	>6 og <8,5	-
Olje	5	mg/L
Suspendert stoff	100	mg/L
Ammoniakk	0,05	mg/L
Totalt fosfor	5	mg/L
Arsen (As)	8,5	µg/L
Kadmium (Cd)	1,5	µg/L
Krom (Cr)	3,4	µg/L
Kobber (Cu)	7,8	µg/L
Kvikksølv (Hg)	0,07	µg/L
Nikkel (Ni)	34	µg/L
Bly (Pb)	14	µg/L
Sink (Zn)	11	µg/L

Målinger av pH og vannføring er utført av Statens vegvesen og er inkludert i resultatene under.

2.2 Prøvetakningsplan

Det har blitt gjennomført 13 prøvetakninger (perioder) i tidsrommet oktober 2014-oktober 2015. En oversikt over prøvetidspunkt, antall dager DGT har vært eksponert i vannmassene, og antall vannprøver er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over prøverunde, prøvetidspunkt (vannprøver og utsetting DGT-er), antall dager DGT var utplassert og beskrivelse av vannprøvetakning.

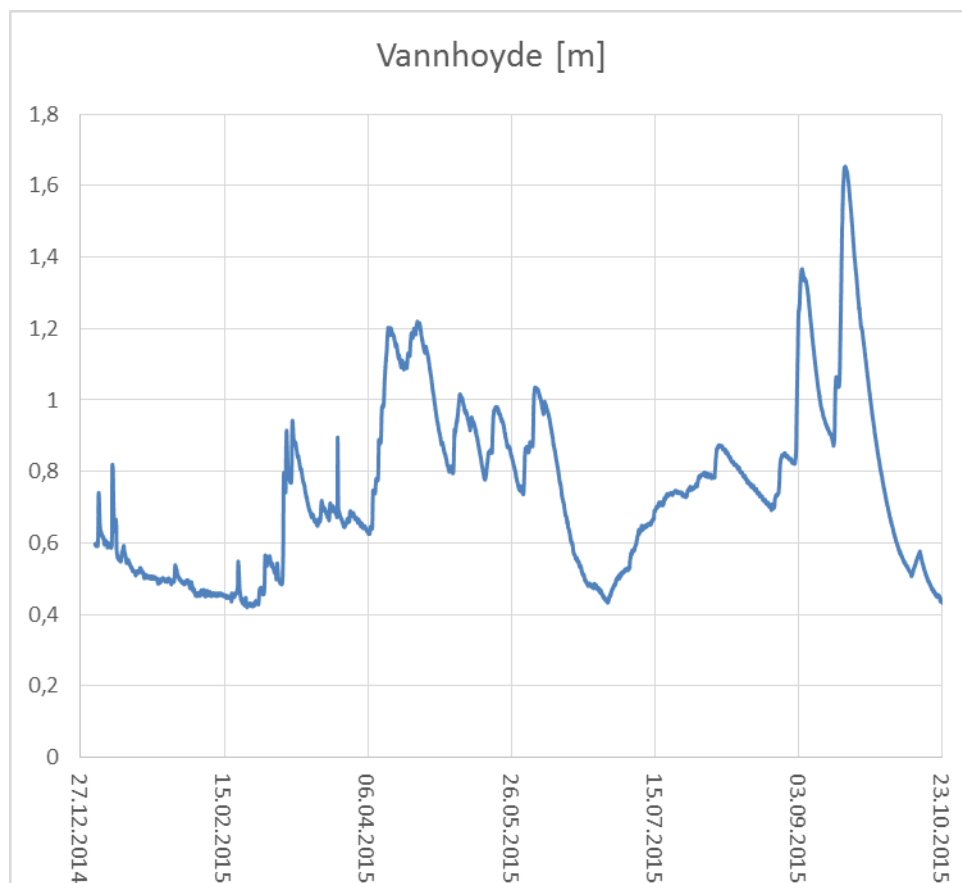
Runde	Prøvetidspunkt	Antall dager eksponert (DGT)
10	17.okt - 14- nov	28
11	14. nov - 9. des	25
12	9. des - 9- jan	31
13	9.jan- 4.feb	26
14	4.feb - 8.mars	32
15	8.mars- 10.april	33
16	10.april - 5.mai	25
17	5.mai - 4.juni	30
18	4. juni - 28-juni	24
19	28.juni - 28-juli	30
20	28. juli - 28. aug	31
21	28.aug - 30.sept	33
22	30.sep - 28. okt	28

3 Resultater

3.1 Vannføring og pH

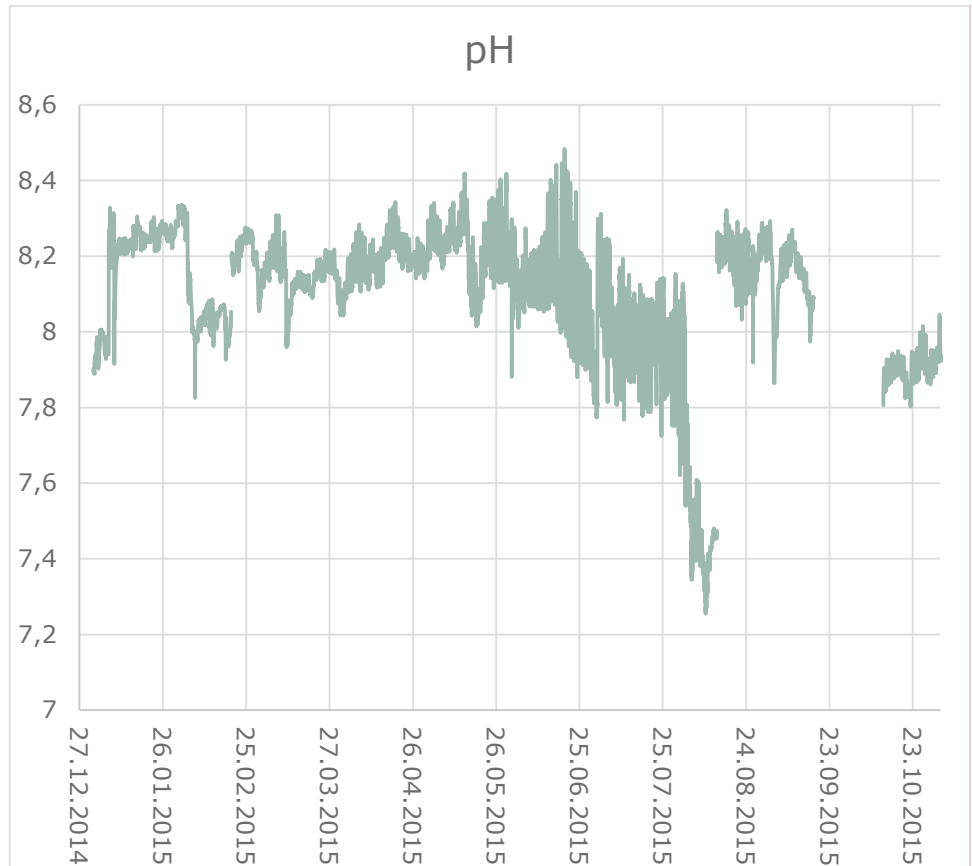
Målinger av vannhøyde og pH i Vigga ble gjennomført av Statens vegvesen ved hjelp av loggere plassert i elva, vist i Figur 6 og Figur 7. Målepunktet for resultatene som er vist nedenfor er nedstrøms utslippspunktet.

Det foreligger ikke forholdstall for å konvertere vannhøyden til vannføring i år. Til tross for at eksakte vannføringsverdier ikke foreligger, sier vannhøyden likevel mye om hvordan vannføringen varierer over året og når det kan forventes fortynnede vannkvaliteter. Målingene viste store variasjoner. Høyeste vannføring ble registrert i oktober. I tillegg var vannføringen relativt høy i april i forbindelse med snøsmeltingen.



Figur 6. Registret vannhøyde (m) i Vigga under prøvetakningsperioden (desember 2014-november 2015).

Målingene av pH nedstrøms utslippspunktet varierte mellom 8,48 og 7,26. Noen ekstreme hopp kan ha forekommet på grunn av vedlikehold og andre forstyrrelser. Målingene gjort oppstrøms gav generelt litt høyere verdier.



Figur 7. Registrert pH i Vigga nedstrøms utslippunktet under prøvetakningsperioden (oktober 2014 - oktober 2015).

3.2 DGT

Gjennomsnittlige målte metallkonsentrasjoner i perioden 2014 og 2015 er vist i tabell 4.

Tabell 4. Gjennomsnittlige målte konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) for 2014-2015.

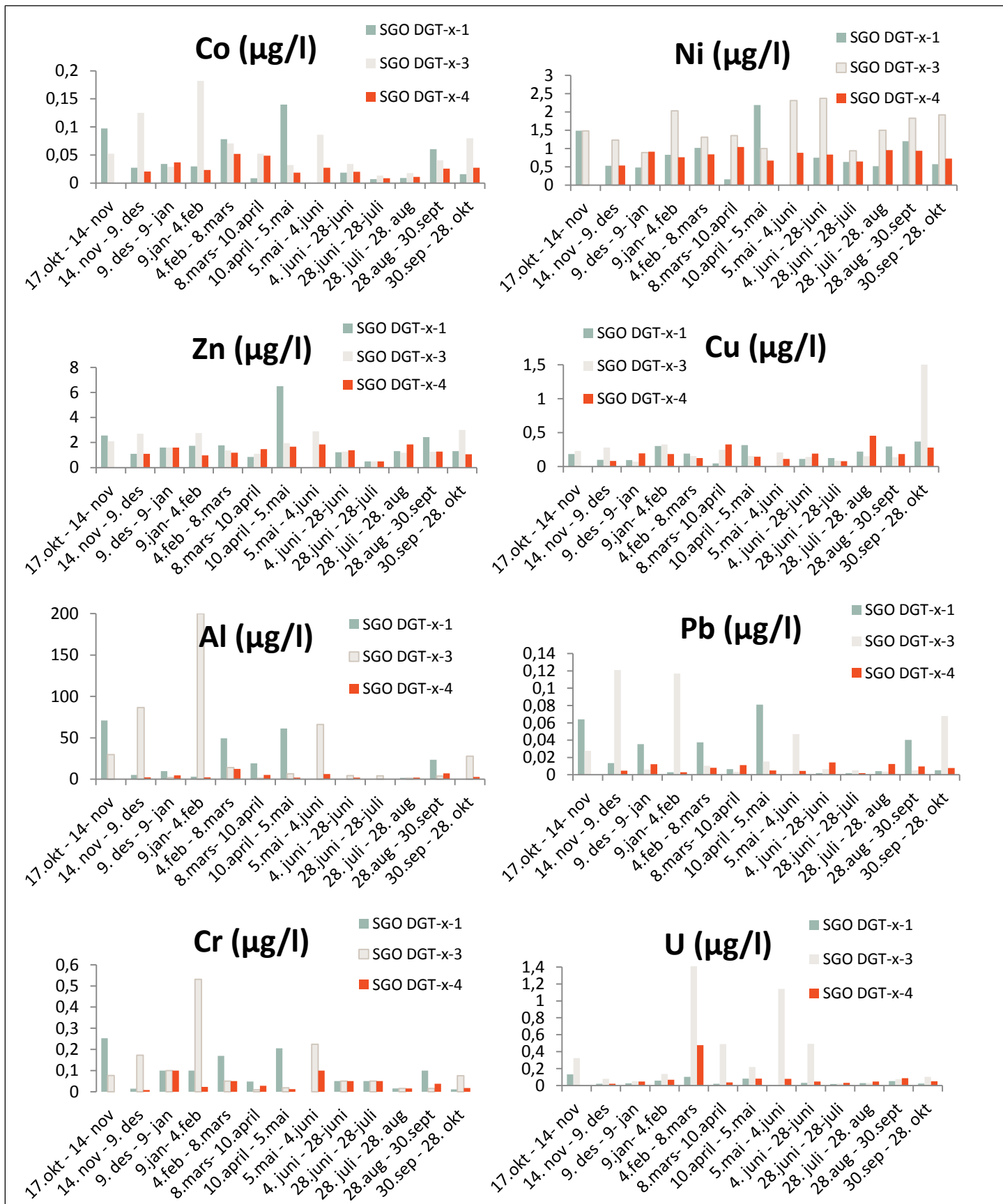
	Oppstrøms			Utslippspunkt			Nedstrøms		
	Jan- okt 2014	Okt.1 4- okt.1 5	Endring (%)	Jan- okt 201 4	Okt. 14- okt.1 5	Endring (%)	Jan- okt 201 4	Okt. 14- okt.1 5	Endring (%)
As	0,06	0,06	7,9	0,12	0,16	26,7	0,08	0,06	-35,1
V	0,05	0,07	21,6	0,33	0,59	44,0	0,12	0,09	-41,4
Al	5,22	20,46	74,5	11,8 6	34,4 1	65,5	5,43	4,07	-33,4
Cd	0,01	0,01	32,3	0,01	0,01	49,7	0,01	0,01	48,2
Co	0,02	0,04	47,4	0,06	0,06	6,3	0,02	0,03	9,3
Cr	0,03	0,09	71,7	0,03	0,11	67,8	0,03	0,04	34,1
Cu	0,14	0,20	28,9	0,23	0,31	26,7	0,13	0,20	35,1
Fe	9,82	151,2	93,5	20,1	55,6	63,9	8,75	8,46	-3,4
Mn	5,70	8,42	32,3	7,64	9,48	19,5	6,14	7,63	19,5
Zn	1,13	1,91	40,5	2,19	1,82	-20,0	1,03	1,33	22,4
Ni	0,72	0,86	17,0	1,97	1,55	-26,7	0,71	0,81	12,1
Pb	0,01	0,02	53,5	0,02	0,03	32,5	0,01	0,01	-15,1
U	0,04	0,05	13,3	0,15	0,36	58,6	0,07	0,09	22,0
Sr	1,01	1,03	1,7	1,69	1,38	-22,0	1,21	0,95	-28,1
Gjen noms nitt			38,3			28,0			3,3

Gjennomsnittlige verdier målt fra oktober 2014 til oktober 2015 er vist i tabell 5.

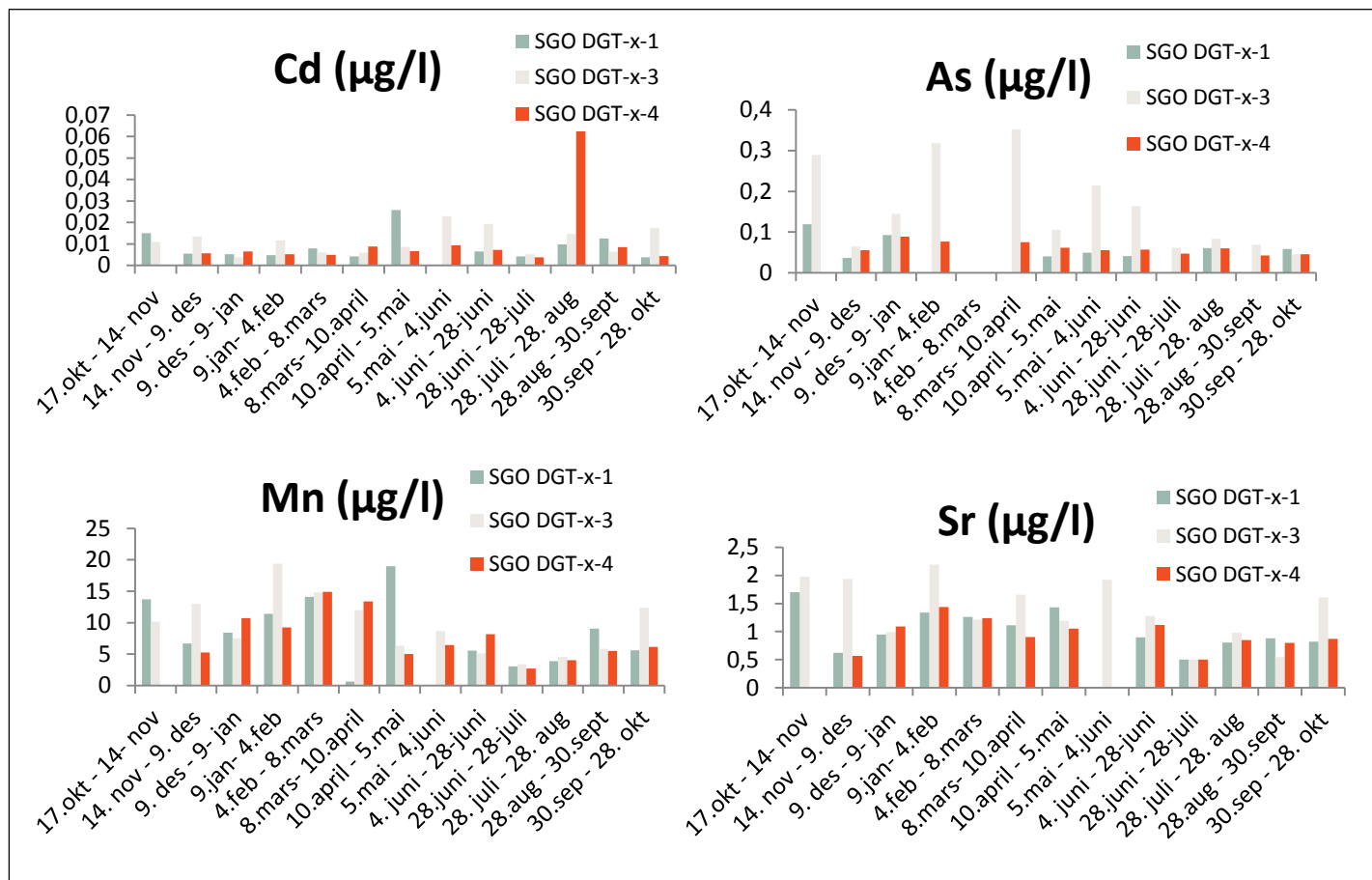
Tabell 5. Målte verdier fra oktober 2014 til oktober 2015.

	Oppstrøms (µg/l)	Utslippspunkt (µg/l)	Nedstrøms (µg/l)	Endring fra oppstrøms til nedstrøms (%)
As	0,06	0,16	0,06	-0,03
V	0,07	0,59	0,09	0,21
Al	20,46	34,41	4,07	-4,03
Cd	0,01	0,01	0,01	0,23
Co	0,04	0,06	0,03	-0,64
Cr	0,09	0,11	0,04	-1,27
Cu	0,20	0,31	0,20	0,00
Fe	151,21	55,62	8,46	-16,87
Mn	8,42	9,48	7,63	-0,10
Zn	1,91	1,82	1,33	-0,44
Ni	0,86	1,55	0,81	-0,06
Pb	0,02	0,03	0,01	-2,10
U	0,05	0,36	0,09	0,44
Sr	1,03	1,38	0,95	-0,08

Tidsserier for konsentrasjonene av Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn og U i DGT'er fra de tre prøvestasjonene, i tidsrommet oktober 2014 – oktober 2015, er vist under (Figur 9-10) (Ref. Vedlegg A).



Figur 8. Metallkonsentrasjoner i elva Vigga i perioden oktober 2014 – oktober 2015



Figur 9: Metallkonsentrasjoner i elva Vigga i perioden oktober 2014 – oktober 2015.

4 Diskusjon

Resultatene fra måling av metaller/metalloider med DGT viser forholdsvis lave konsentrasjoner i overvåkningen av Vigga 2014-15. Likevel er målte verdier for 2015 noe høyere enn i 2014 (Tabell 4). Dette gjelder særlig for Vigga oppstrøms (SGO 1), hvor målte metallkonsentrasjoner i år har vært 38% høyere enn i fjor, men denne prøvestasjonen skal ikke være påvirket av utpumpingen fra alunskiferdeponiet og tunnelvaskevann. Den kan likevel ha blitt påvirket av eksempelvis overvann eller erosjon fra anleggsarbeidet.

De fleste månedsvariasjonene er mindre enn analyseusikkerheten som er +/-30%. Dermed sier ikke resultatene veldig mye om hvordan tungmetallinnholdet i Vigga varierer over året, utover at det i stor grad er innenfor 30%.

Alle konsentrasjonene i DGT'ene var under grenseverdiene i utslippstillatelsen fra Fylkesmannen /1/. Det ble påvist konsentrasjoner av noen metaller i TKL 2 (Vedlegg A). De fleste sink og nikkel målinger overskred grenseverdien til TKL 2.

Det ble også påvist nikkel konsentrasjoner i TKL 3, men det skjedde kun oppstrøms og ved utslippspunktet.

Aluminium overskred grenseverdien fra drikkevannsforskriften for en av prøvetakingsomgangene. Urankonsentrasjonen ved utslippspunktet ble målt

ekstremt høy ved et tilfelle (TKL 5). I tillegg ble det registrert relativt høye konsentrasjoner av enkelte metaller ved noen prøveomganger. Vannprøver tatt på omtrent samme tidspunkt gjenspeiler ikke den samme tendensen. Det kan tyde på at disse to DGTene kan ha blitt forurenset etter innhenting eller noe har gått galt ved analyseringen av disse.

Generelt sett er metallkonsentrasjonene litt høyere ved utslippspunktet sammenlignet med de andre prøvepunktene. Dette skyldes sannsynligvis utpumping av forurenset vann og avrenning fra deponiet, og at dette vannet ved prøvepunktet ikke har fått blandet seg med resten av elva. Likevel er gjennomsnittskonsentrasjonene av alle metallene med unntak av vanadium, kadmium og uran lavere nedstrøms (SGO 4) sammenlignet med oppstrøms (SGO 1) (Tabell 5). Altså er vannet renere nedstrøms enn oppstrøms. Det gir en sterk indikasjon på at utlippene fra deponiet har tilnærmet ingen innvirkning på vannkvaliteten i Vigga.

Konsentrasjonen av flere metaller i vannet som ble pumpet ut av myra var ofte hundre ganger høyere sammenlignet med konsentrasjonene i Vigga. Grunnen til at utpumpingen har minimal innvirkning på vannkvaliteten er trolig at vannmengden fra deponiet er ekstremt liten i forhold til Viggas totale vannføring.

Alle konsentrasjoner av metaller i DGT'ene er naturlig lavere enn i vannprøvene tatt som punktprøver av Statens vegvesen i felt, noe som kan skyldes at mesteparten av metallene er kjemisk bundet til partikulært materiale, og eventuelt kompleksdannelse. Det antas derfor at biotilgjengeligheten til metallene i vannforekomsten er lav. Av samme grunn er resultatene heller ikke direkte sammenlignbare med grenseverdiene fra fylkesmannen.

5 Konklusjon

Alle målte konsentrasjoner er under grenseverdiene i utslippstillatelsen fra fylkesmannen. Konsentrasjonene er generelt høyere oppstrøms enn nedstrøms. Dette gir en indikasjon på at anleggsarbeidet i tunnelen og deponering av alunskifer i stor grad ikke har negativ innvirkning på vannkvaliteten i Vigga. Det er ingen tydelige økninger av metaller i Vigga selv i perioder hvor vi vet at det har vært utpumping av vann med høyt metallinnhold. Vannmengden som pumpes ut er trolig for liten til å gi signifikante utslag på vannkvaliteten i Vigga.

6 Referanser

/1/ Statens vegvesen, 2013. Overvåkningsprogram RV. 3 Gran.

/2/ Fylkesmannen i Oppland, 2013. Vedtak om tillatelse til utslipp av drive- og vaskevann fra anlegg og driftsfasen av Grantunellen, 19. september 2013.

/3/ Miljødirektoratet, 2012. Utkast til utarbeidelse Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sedimenter og biota. rapportutkast TA 3001/2012

/4/ COWI AS, 2014. Overvåkning av Vigga, januar – oktober 2014

**Vedlegg A. Analyseresultater sammenlignet med tilstandsklasser iht.
Veileder TA-3001/2012**

Program: VANN (Passive prøvetakere) DGT- Rv. 4 GRAN		As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikke)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)
Prøvepunkt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Vigga oppstrøms [1]																
DGT SGO 1-1	0,0664	0,0569														0,0053
DGT SGO 2-1	0,0622	0,0585	9,33	0,00885	0,0539	0,0268	0,223	19	12,5	1,83	1,24	0,015	0,1	1,38	0,0051	
DGT SGO 3-1			22,4	0,012	0,0608	0,0498	0,201	38,2	9,4	1,97	1,1	0,0629	0,0328	1,08	0,0051	
DGT SGO 4-1	0,0394	0,0431	6,17	0,00672	0,0231	0,0407	0,109	10,8	4,63	1,53	0,642	0,00657	0,0518	1,01	0,0026	
DGT SGO 5-1	0,062	0,0532	0,75	0,00763	0,0185	0,026	0,0799	3,58	6,78	1,79	0,618	0,00132	0,0468	1,11	0,0041	
DGT SGO 6-1	0,0795	0,0577	0,941	0,00483	0,0106	0,0377	0,0998	2,55	4,6	0,697	0,658	0,00189	0,0405	0,918		
DGT SGO 7-1	0,0312	0,0337	0,53	0,0028	0,00504	0,00893	0,0808	1,36	2,39	0,379	0,47	0,00114	0,0295	0,916		
DGT SGO 8-1	0,0445	0,0431	0,55	0,00211	0,00555	0,0094	0,171	1,31	1,86	0,333	0,447	0,00112	0,0158	0,559		
DGT SGO 9-1	0,0757	0,0768	0,457	0,00271	0,00653	0,0111	0,162	1,76	3,44	0,549	0,557	0,00124	0,0287	1,1		
DGT SGO 10-1	0,119	0,104	71	0,015	0,0971	0,253	0,187	108	13,7	2,56	1,49	0,064	0,131	1,7		
DGT SGO 11-1	0,037	0,0413	5,23	0,0055	0,0273	0,0146	0,101	11,2	6,67	1,09	0,529	0,0134	0,0205	0,624		
DGT SGO 12-1	0,093	0,0822	9,84	0,0052	0,0339	0,1	0,0963	19	8,39	1,6	0,478	0,0353	0,0268	0,946		
DGT SGO 13-1			3,04	0,00483	0,0295	0,1	0,305	6,73	11,4	1,74	0,825	0,003	0,0591	1,34		
DGT SGO 14-1			49,5	0,00793	0,078	0,169	0,193	75	14,1	1,77	1,02	0,0375	0,104	1,26		
DGT SGO 15-1			19,2	0,00422	0,00855	0,0477	0,0472	1440	0,66	0,853	0,159	0,00658	0,0206	1,11		
DGT SGO 16-1	0,0407	0,0566	61,3	0,0258	0,14	0,205	0,317	108	19	6,49	2,19	0,081	0,0807	1,43		
DGT SGO 17-1	0,0495	0,0554														
DGT SGO 18-1	0,0415	0,0571	0,05	0,00656	0,0186	0,05	0,113	2,4	5,56	1,22	0,748	0,002	0,0307	0,899		
DGT SGO 19-1			0,5	0,00424	0,00715	0,05	0,127	1,32	3,06	0,5	0,63	0,002	0,0197	0,5		
DGT SGO 20-1	0,0612	0,0832	1,62	0,00992	0,00888	0,015	0,222	3,96	3,88	1,32	0,518	0,00422	0,0287	0,804		
DGT SGO 21-3			23,6	0,0126	0,0604	0,1	0,298	36,5	9,04	2,43	1,2	0,0402	0,0538	0,883		
DGT SGO 22-3	0,0585	0,0594	0,612	0,00384	0,0157	0,0114	0,371	2,41	5,59	1,32	0,569	0,00514	0,0231	0,82		
*Verdier under deteksjonsgrensen er satt som halve verdi																
Utslippstillatelse FM Oppland																
Utslippstillatelse FM	8,5			1,5		3,4	7,8			11	34	14				0,07
Tilstandsklasser (TA-3001/2012) - Disse TKL benyttes i fargekodingen																
Klasse 1 (Bakgrunnsdata)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	-	0,001
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	-	0,05
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	-	0,07
Klasse 4 (Akutt toks)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	-	0,7
Klasse 5 (Omfattende akutt toks)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	-	>0,7
Tilstandsklasser (TA-2229/2007) - Til sammenlikning																
Klasse 1 (Bakgrunn)	<2	-	-	<0,03	-	<0,2	<0,3	-	-	<1,5	<0,5	<0,05	-	-	-	<0,001
Klasse 2 (God)	2	-	-	0,24	-	3,4	0,64	-	-	2,9	2,2	2,2	-	-	-	0,048
Klasse 3 (Morderat)	4,8	-	-	1,5	-	36	0,8	-	-	6	12	2,9	-	-	-	0,071
Klasse 4 (Dårlig)	8,5	-	-	15	-	360	7,7	-	-	60	120	28	-	-	-	0,014
Klasse 5 (Svært dårlig)	>85	-	-	>15	-	>360	>7,7	-	-	>60	>120	>28	-	-	-	>0,14
PNEC - ferskvann	4			0,02		4,7	0,05			0,036	38	0,41				0,013
Grenseverdier drikkevannsforskit	10		200	5		50	1	200	50		20	0,7	15			0,5

Program: VANN (Passive prøvetakere) DGT- Rv. 4 GRAN																
Prøvepunkt	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikke)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)	
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Utslippspunkt Vigga (3)																
DGT SGO 1-3	0,0531	0,0631	11,4	0,00511	0,0235	0,0538	0,201	16,2	5,52	0,424	0,499	0,0108	0,0273		1,16	0,0061
DGT SGO 2-3	0,178	1,1	41,6	0,00601	0,246	0,0934	0,354	74	18,4	1,94	3,08	0,0663	0,277	4,24	0,0051	
DGT SGO 3-3	0,0302	0,0896	18,3	0,007	0,11	0,0374	0,422	47	10,8	1,43	2,53	0,0914	0,0711	2,47	0,0022	
DGT SGO 4-3	0,063	0,153	5,27	0,00648	0,036	0,0253	0,201	6,66	5,29	10,8	1,46	0,00624	0,141	1,43	0,0024	
DGT SGO 5-3	0,119	0,32	4,14	0,00694	0,0306	0,0393	0,145	4,39	5,15	1,64	0,86	0,00196	0,344	1,22		
DGT SGO 6-3	0,232	0,322	1,47	0,00481	0,0297	0,0128	0,144	2,96	8,16	0,691	0,753	0,00359	0,0855	0,909		
DGT SGO 7-3	0,0331	0,0537	0,981	0,00322	0,00898	0,00768	0,104	1,45	3,97	0,367	0,493	0,00285	0,0191	0,76		
DGT SGO 8-3	0,0684	0,111	0,738	0,00239	0,00617	0,0106	0,0772	0,951	2,64	0,26	0,424	0,00084	0,0219	0,659		
DGT SGO 9-3	0,0377	0,0652	4,57	0,0033	0,0087	0,00622	0,354	1,79	4,11	0,44	0,606	0,00306	0,0425	1,53		
DGT SGO 10-3	0,289	0,775	29,7	0,011	0,0523	0,0767	0,23	41,6	10,2	2,1	1,48	0,0276	0,324	1,98		
DGT SGO 11-3	0,065	0,23	86,7	0,0135	0,125	0,173	0,28	165	13	2,7	1,23	0,121	0,0799	1,94		
DGT SGO 12-3	0,144	0,478	2	0,00376	0,0287	0,1	0,0725	1,61	7,52	1,6	0,891	0,006	0,0503	0,992		
DGT SGO 13-3	0,318	1,54	200	0,0117	0,182	0,531	0,328	297	19,4	2,75	2,03	0,117	0,138	2,19		
DGT SGO 14-3			14,1	0,00615	0,0708	0,05	0,156	20,5	14,8	1,36	1,31	0,0103	1,46	1,21		
DGT SGO 15-3	0,352	1,01	1,01	0,00597	0,0525	0,00864	0,247	4,44	12	1,09	1,35	0,00346	0,49	1,66		
DGT SGO 16-3	0,106	0,775	6,54	0,00869	0,0321	0,0188	0,155	14,3	6,35	1,96	0,999	0,0152	0,219	1,19		
DGT SGO 17-3	0,214	1,2	66,2	0,0229	0,0862	0,224	0,209	95,4	8,64	2,9	2,31	0,0469	1,14	1,92		
DGT SGO 18-3	0,163	0,683	4,27	0,0193	0,0341	0,05	0,144	6,37	5,12	1,28	2,37	0,00659	0,492	1,28		
DGT SGO 19-3	0,0616	0,112	4,09	0,00524	0,0133	0,05	0,0865	6,38	3,38	0,5	0,94	0,00524	0,023	0,5		
DGT SGO 20-3	0,0837	0,163	1,23	0,0148	0,0176	0,015	0,153	2,91	4,59	1,18	1,5	0,00366	0,0287	0,978		
DGT SGO 21-3	0,0695	0,0973	3,72	0,00646	0,0403	0,015	0,139	6,7	5,84	1,25	1,83	0,00514	0,075	0,546		
DGT SGO 22-3	0,0455	0,0499	27,8	0,0174	0,0798	0,076	1,8	60,9	12,4	3,01	1,92	0,068	0,104	1,61		
*Verdier under deteksjonsgrensen er satt som halve verdi																
Utslippstillatelse FM Oppland																
Utslippstillatelse FM	8,5			1,5		3,4	7,8			11	34	14				0,07
Tilstandsklasser (TA-3001/2012) - Disse TKL benyttes i fargekodingen																
Klasse 1 (Bakgrunnsdata)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	-	0,001
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	-	0,05
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	-	0,07
Klasse 4 (Akutt toks)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	-	0,7
Klasse 5 (Omfattende akutt toks)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	-	>0,7
Tilstandsklasser (TA-2229/2007) - Til sammenlikning																
Klasse 1 (Bakgrunn)	<2	-	-	<0,03	-	<0,2	<0,3	-	-	<1,5	<0,5	<0,05	-	-	-	<0,001
Klasse 2 (God)	2	-	-	0,24	-	3,4	0,64	-	-	2,9	2,2	2,2	-	-	-	0,048
Klasse 3 (Morderat)	4,8	-	-	1,5	-	36	0,8	-	-	6	12	2,9	-	-	-	0,071
Klasse 4 (Dårlig)	8,5	-	-	15	-	360	7,7	-	-	60	120	28	-	-	-	0,014
Klasse 5 (Svært dårlig)	>85	-	-	>15	-	>360	>7,7	-	-	>60	>120	>28	-	-	-	>0,14
PNEC - ferskvann	4			0,02		4,7	0,05			0,036	38	0,41				0,013
Grenseverdier drikkevannsforskif	10		200	5		50	1	200	50		20	0,7	15			0,5

Program: VANN (Passive prøvetakere) DGT- Rv. 4 GRAN																
Prøvepunkt	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikke)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)	Hg (Kvikksølv)	
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Vigga nedtrøms (4)																
DGT SGO 1-4	0,0826	0,0638	14,2	0,00652	0,0418	0,0543	0,148	24,4	9,97	1,43	0,878	0,0135	0,0851	1,6	0,0056	
DGT SGO 2-4			7,52	0,00665	0,0419	0,0337	0,122	14	8,88	1,05	0,945	0,0185	0,0888	1,3	0,0044	
DGT SGO 3-4	0,12	0,149	10,4	0,0115	0,0442	0,00942	0,194	12,6	8,4	1,74	1,17	0,0293	0,108	2,35	0,0057	
DGT SGO 4-4	0,0469	0,0801	7,5	0,00769	0,0244	0,0371	0,0974	10,9	4,91	1,94	0,632	0,00667	0,112	1,14	0,0029	
DGT SGO 5-4	0,0606	0,059	3,4	0,00821	0,0178	0,0364	0,159	6,37	5,28	1,57	0,704	0,00332	0,0734	0,949	0,0039	
DGT SGO 6-4	0,203	0,423	1,18	0,00447	0,0183	0,0405	0,152	2,11	5,01	0,526	0,568	0,00349	0,0885	0,951		
DGT SGO 7-4	0,021	0,0544	1,16	0,00307	0,012	0,0155	0,107	2,45	5,04	0,387	0,54	0,00192	0,0246	1,03		
DGT SGO 8-4	0,0411	0,0526	2,19	0,00264	0,0105	0,00843	0,0812	4,04	3,52	0,302	0,428	0,00412	0,0212	0,596		
DGT SGO 9-4	0,08	0,0835	1,29	0,00258	0,00677	0,00778	0,091	1,92	4,29	0,325	0,554	0,001	0,0284	1,01		
DGT SGO 10-4																
DGT SGO 11-4	0,0553	0,0464	2,19	0,00567	0,0205	0,00818	0,0832	4,95	5,26	1,1	0,533	0,00461	0,0215	0,566		
DGT SGO 12-4	0,089	0,0704	4,53	0,00658	0,0369	0,1	0,194	11	10,7	1,6	0,915	0,0122	0,0465	1,09		
DGT SGO 13-4	0,0767	0,114	2,19	0,00521	0,0233	0,0229	0,184	5,11	9,25	0,98	0,758	0,003	0,0688	1,44		
DGT SGO 14-3			12,5	0,00495	0,0519	0,05	0,125	20,5	14,9	1,18	0,84	0,0081	0,478	1,24		
DGT SGO 15-4	0,0754	0,123	5,21	0,00887	0,0487	0,0286	0,327	14,7	13,4	1,47	1,04	0,0112	0,0374	0,902		
DGT SGO 16-4	0,0616	0,118	1,86	0,00671	0,0185	0,0127	0,146	4,7	5,01	1,67	0,671	0,00487	0,0818	1,05		
DGT SGO 17-4	0,0557	0,0968	6,32	0,00943	0,0274	0,1	0,114	10,6	6,46	1,85	0,885	0,00447	0,0798			
DGT SGO 18-4	0,0572	0,111	1,9	0,00723	0,0201	0,05	0,192	4,17	8,18	1,39	0,836	0,0142	0,047	1,12		
DGT SGO 19-4	0,0476	0,0651	0,5	0,00374	0,00873	0,05	0,0818	1,45	2,7	0,5	0,643	0,002	0,0311	0,5		
DGT SGO 20-4	0,0602	0,0901	1,93	0,0659	0,0111	0,015	0,454	5,26	4,04	1,85	0,955	0,0126	0,0479	0,85		
DGT SGO 21-4	0,0424	0,0576	6,96	0,00857	0,0257	0,0374	0,185	10,9	5,52	1,28	0,935	0,00973	0,0864	0,796		
DGT SGO 22-4	0,0455	0,0463	2,72	0,00438	0,0271	0,0175	0,281	8,22	6,13	1,06	0,727	0,00784	0,0501	0,873		
*Verdier under deteksjonsgrensen er satt som halve verdi																
Utslippstillatelse FM Oppland																
Utslippstillatelse FM	8,5			1,5		3,4	7,8			11	34	14			0,07	
Tilstandsklasser (TA-3001/2012) - Disse TKL benyttes i fargekodingen																
Klasse 1 (Bakgrunnsdata)	0,15	-	-	0,03	-	0,2	0,3	-	-	1,5	0,5	0,05	-	-	0,001	
Klasse 2 (AA-EQS)	4,8	-	-	0,08	-	3,4	7,8	-	-	11	1,7	1,3	-	-	0,05	
Klasse 3 (MAC-EQS)	8,5	-	-	0,45	-	3,4	7,8	-	-	11	34	14	-	-	0,07	
Klasse 4 (Akutt tox)	85	-	-	4,5	-	360	78	-	-	60	67	57	-	-	0,7	
Klasse 5 (Omfattende akutt tox)	>85	-	-	>4,5	-	>360	>78	-	-	>60	>67	>57	-	-	>0,7	
Tilstandsklasser (TA-2229/2007) - Til sammenlikning																
Klasse 1 (Bakgrunn)	<2	-	-	<0,03	-	<0,2	<0,3	-	-	<1,5	<0,5	<0,05	-	-	<0,001	
Klasse 2 (God)	2	-	-	0,24	-	3,4	0,64	-	-	2,9	2,2	2,2	-	-	0,048	
Klasse 3 (Morderat)	4,8	-	-	1,5	-	36	0,8	-	-	6	12	2,9	-	-	0,071	
Klasse 4 (Dårlig)	8,5	-	-	15	-	360	7,7	-	-	60	120	28	-	-	0,014	
Klasse 5 (Svært dårlig)	>85	-	-	>15	-	>360	>7,7	-	-	>60	>120	>28	-	-	>0,14	
PNEC - ferskvann																
PNEC - ferskvann	4			0,02		4,7	0,05			0,036	38	0,41			0,013	
Grenseverdier drikkevannsforski																
Grenseverdier drikkevannsforski	10		200	5		50	1	200	50		20	0,7	15		0,5	


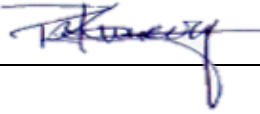
STATENS VEGVESEN REGION ØST




SLUTTRAPPORT OVERVÅKNING AV VIGGA VED BRUK AV DGT

VANNKJEMISKE UNDERSØKELSER



Dokumentinformasjon

Tittel:	Sluttrapport overvåkning av Vigga ved bruk av DGT		
COWI-kontor:	COWI, Karvesvingen 2, 0579, Oslo		
Oppdrag nr:	A040603	Rapportnummer	2.0
Utgivelsesdato:	04.10.2016	Antall sider:	20 + vedlegg
Tilgjengelighet:	Åpen	Antall vedlegg:	1
Utarbeidet:	Halvor Saunes	Sign.	
Kontrollert:	Roger M.Konieczny	Sign.	
Godkjent:		Sign.	
Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Region Øst	Oppdragsgivers kontaktperson:	Halldis Fjermestad
Stikkord:	Miljøovervåkning, DGT, metaller, deponering av alunskifer		
Foto på forside:	T.h: DGT i rennende vann utplassert i Vigga, juli 2014. T.v: Vigga juni 2014. Foto:Halvor Saunes		

Rapport versjon:	Dato:	Signatur:
1.0	19.09.2016	
2.0	04.10.2016	
3.0	17.10.2016	

INNHOOLD

Sammendrag	4
1 Innledning	5
1.1 Formål med undersøkelsen	6
2 Metode	6
2.1 Passiv prøvetakning i vann	7
2.2 Prøvetakningsplan	9
3 Resultater og diskusjon	10
3.1 Resultater DGT	10
3.2 Samlet vurdering av resultater i perioden 2014-2016	11
3.3 Vannføring og pH	17
4 Konklusjon	20
5 Referanser	20

Sammendrag

Det er gjennomført en overvåkning av fritt løste og labile metaller i elva Vigga ved hjelp av DGT'er (Diffusive Gradients in Thin Films) i perioden januar 2014 – juni 2016 i forbindelse med utbygging av ny Rv. 4 og tunnel i Gran kommune i Oppland fylke. Vegvesenet har iht. tillatelse sluppet ut rensset prosessvann fra tunneldriften til elva Vigga, oppstrøms Jarevatnet. Deler av tunnelen består av masser som karakteriseres som alunskifer og det er etablert et eget deponi for disse massene i en utgravd myr utenfor tunnelåpningen.

Hensikten med måleprogrammet har vært å undersøke og dokumentere eventuelle endringer i vannkvaliteten, som følge av anleggsdrift, tunnelutbygging og avrenning fra myr, hvor det foregår masseutskiftning med alunskifer.

Resultatene fra måling av metaller/metalloider med DGT i forbindelse med overvåkingen av Vigga 2014-2016, viser forholdsvis lave konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse 1 (*bakgrunn*) og tilstandsklasse 2 (*god*), iht. veileder M241/2014. Enkelte nivåer av krom og nikkel ble tidvis påvist i tilstandsklasse 3 (*moderat*).

Selv om nivåene er lave viser resultatene at den årlige gjennomsnittskonsentrasjonen av metallene aluminium, nikkel og uran nedstrøms anleggsområdet har økt under måleperioden. Etter avslutningen av utslippet av rensset tunneldrivevann og utpumping av myrvann (overvann) fra alunskiferdeponiet sommeren 2015 synes det å ha vært en reduksjon av enkelte metaller (U og As) ved stasjon 3.

Videre var det store variasjoner i biotilgjengelige metaller i Vigga og variasjonen synes å være sterkt knyttet til årstid, vannføring, pH og type aktiviteter på anleggsområdet.

Målingene viser at konsentrasjonen for de fleste metallene var noe høyere ved utslippspunktet for tunneldrivevann (stasjon 3) sammenlignet med målepunktene oppstrøms (stasjon 1) og nedstrøms (stasjon 4) anleggsområdet. Det var med andre ord ingen markante forskjeller i metallkonsentrasjon mellom stasjonene oppstrøms og nedstrøms anleggsområdet. Dette tyder på at Vigga i liten grad er påvirket av avrenning av grunnvann fra alunskiferdeponiet.

1 Innledning

Statens vegvesen (SVV) bygger ny Rv. 4 og tunnel under Gran sentrum i Oppland fylke. Rv. 4 går gjennom landbruksområder og utmark med grunn som består av ulike typer av svarte skifer, deriblandt alunskifer. Arbeidene avsluttes i årsskiftet 2016/2017.

SVV har iht. tillatelse sluppet ut rensert prosessvann fra tunneldriften til elva Vigga, oppstrøms Jarevatnet. Prosessvannet kan inneholde suspendert stoff, høy andel nitrogenforbindelser, frigjorte metaller og olje, samt til tider høy pH. Deler av tunnelen består av masser som karakteriseres som alunskifer, og tunneldriften kan potensielt bidra til sur avrenning til Vigga og derav mobilisering av tungmetaller. Utslipp av tunneldrivevann fra anlegget ble avsluttet mai 2015.

SVV har i iht. tillatelse fra Fylkesmannen i Oppland deponert utsprengt alunskifer i et myrområde rett utenfor den søndre tunnelåpningen (Figur 1). Deponering av alunskifer i myr vil gi stabile forhold som sikrer at mineralene i alunskiferen ikke vil gjennomgå vesentlige fysiske eller kjemiske endringer. De anaerobe forholdene i myra hindrer oksidasjon og dannelse av syre, som videre kan forårsake utlekking av metaller fra alunskifer /1/. Vinteren og våren 2015 ble myrvann fra alunskiferdeponiet pumpet ut i vigga via renseanlegget. Arbeidene med alunskiferdeponiet er nå avsluttet.

Tiltaksområdet har avrenning til elva Vigga, som inngår i vannområde Hadeland. Vigga er karakterisert som en sterkt modifisert vannforekomst, som i hovedsak skyldes endringer i kantsoner, samt avrenning fra dyrket mark og avløp /2/.

Overvåkingen er et ledd i den samlede miljøovervåkingen av Vigga, som påkrevd i tillatelsen fra Fylkesmannen i Oppland /3/.

Overvåkingen har pågått siden begynnelsen av januar 2014. Resultatene fra 2014 og 2015 viste forholdsvis lave konsentrasjoner av løste og labile metaller i Vigga /4//5/. Det ble målt enkelte konsentrasjoner av metaller i tilstandsklasse (TKL) 2 og 3. De høyeste konsentrasjonene ble påvist ved utslippunktet for rensert tunneldrivevann. Resultate er inkludert i denne sluttrapporten.



Figur 1. Deler av anleggsområdet og alunskiferdeponiet ved Rv.4, oktober 2014, i Gran kommune, Oppland fylke.

1.1 Formål med undersøkelsen

Formålet med undersøkelsen er å kartlegge tilstanden i Vigga gjennom anleggsperioden med hensyn på metaller i vannforekomsten. Utvalgte prøvepunkter skulle belyse endringer i vannkvaliteten som følge av anleggsdrift, tunnelutbygging og avrenning fra myr, hvor det har foregått masseutskiftning med alunskifer. Det ble valgt å benytte passive prøvetakere (DGT) og rapporten tar for seg analyseresultater fra hele overvåkningen i tidsrommet fra januar 2014 og frem til juni 2016.

Overvåkningen var også ment som en erfaringsoppbygning omkring passiv prøvetakning i samferdselsutbygginger og et eget notat som tar for seg erfaringer fra den aktuelle overvåkningen vil bli utarbeidet av COWI i september 2016.

2 Metode

Det har blitt benyttet tre faste prøvestasjoner i Vigga i overvåkingsperioden. De tre prøvestasjonene (SGT DGT 1, 3 og 4) er vist i Figur 2 og koordinater for plassering er vist i Tabell 1. I 2014 ble det også benyttet en referansestasjon i Vøyenbekken, som renner ut i Vigga, men denne ble avsluttet i samråd med SVV. Resultatene fra sistnevnte er vist i overvåkingsrapporten fra 2014 /4/.

Prøvestasjon 3 var frem til desember 2015 plassert ved utløpet for rensset tunnellvaskevann, men i desember 2015 ble dette utslippet flyttet til utløpet til Vøyenbekken lengre opp i Vigga. Siden avstanden mellom de to prøvepunktene som begge er kalt stasjon 3 er liten, samt at punktene har vært plassert ved utløpet for rensset tunnelldrivevann, er punktene beskrevet som én prøvestasjon videre i teksten.

I enkelte prøverunder ble membranen inne i DGT'en skadet/tapt for analyse, som følge av mekanisk påvirkning ved plassering i for sterk strøm.

Tabell 1. Prøvestasjon og koordinater, for overvåkingsprogram i elva Vigga.

Stasjon	Koordinater (UTM 32)
SGO DGT x-1	Ø586878.55, N6690614.69
SGO DGT x-3	Ø586546.05, N6691322.10
SGO DGT x-3*	Ø586716.10, N6690975.19
SGO DGT x-4	Ø586661.44, N6691676.31

*)Stasjon flyttet lengre sør i Vigga desember 2015.



Figur 2. Lokaliseringen av tre prøvestasjoner for utplassering av DGT for måling av fritt løste og labile metaller i Vigga i forbindelse med utbygging av ny Rv. 4 og etablering av alunskiferdeponi.

2.1 Passiv prøvetakning i vann

Det ble valgt å benytte passive prøvetakere (DGT) for målinger av metaller i vannfasen (Figur 3). DGT (*Diffusive Gradients in Thin Films*) brukes for kvantitative målinger av frie metallforbindelser og svakt bundet metallkomplekser i vann (biotilgjengelig fraksjon). En DGT-enhet består av en membran som akkumulerer metallene *in-situ* ved diffusjon gjennom membranen over tid

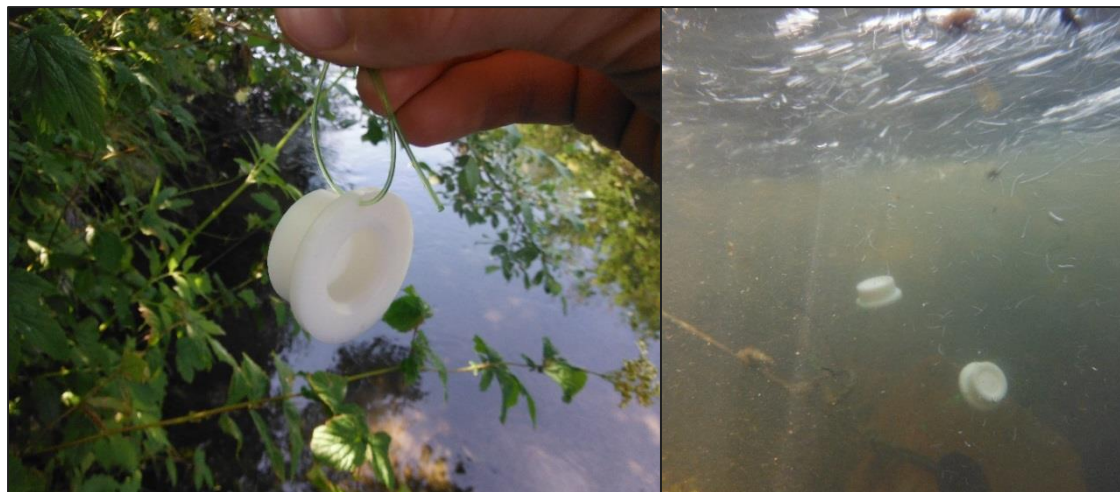
Med bruk av DGT oppnås et mer riktig bilde av forurensningstilførslene, da resultatene representerer en lengre tidsperiode og ikke et øyeblikksbilde, som ved tradisjonell vannprøvetakning (stikkprøver). Konsentrasjonen av løste og labile metaller ansees å være langt mer relevant enn totalkonsentrasjoner i et risikovurderingsperspektiv, da det i hovedsak er den løste delen av metallene som er tilgjengelig for organismer som lever i vannet.

Konsentrasjonene i DGTene er sett opp imot grenseverdiene i utslippstillatelse fra Fylkesmannen datert 19. november 2013 /3/ (Tabell 2), samt EQS-verdier gitt i veileder M241/2014 /6/, som for metaller gjelder for partikkelfrie prøver og dermed kan overføres til DGT-målinger i vann. Bruk av passive prøvetakere til kartlegging av vannkvaliteten er en godkjent metode i henhold til EUs vanddirektiv.

Prøvetakerne var plassert i vannmassene over en periode på 25-32 dager (Tabell 2). Følgende metaller/metalloider har blitt undersøkt ved hjelp av DGT'er: arsen (**As**), aluminum (**Al**), vanadium (**V**), kadmium (**Cd**), kobolt (**Co**), krom (**Cr**), kobber (**Cu**), jern (**Fe**), mangan (**Mn**), sink (**Zn**), nikkel (**Ni**), bly (**Pb**), uran (**U**), strontium (**Sr**). Valg av metaller har blitt bestemt ut ifra forventet forurensningstilførsel og geologi. Måling av kvikksølv (Hg) ble avsluttet sommeren 2014 i samråd med SVV. For metallene Al, Sr, V og U eksisterer det ingen fastsatte tilstandsklasser (TKL).

DGTene ble analyserte hos ALS Laboratory group. Analyseusikkerheten er ca. +/-30% for både kationer og anioner.

Målinger av pH og vannføring/vanhøyde er utført av SVV/NIBIO og er inkludert i resultatdelen som støtteparamere i overvåkning av metaller i Vigga.



Figur 3. DGT'er ble brukt for analyse av arsen og utvalgte metaller i elva Vigga, 2014-2016.

Tabell 2. Oversikt over grenseverdier for metaller og organiske stoffer i utslippstillatelsen gitt av Fylkesmannen i Oppland september 2013 /3/.

Utslippsparameter	Utslippsgrense	Enhet
pH	>6 og <8,5	-
Olje	5	mg/L
Suspendert stoff	100	mg/L
Ammoniakk	0,05	mg/L
Totalt fosfor	5	mg/L
Arsen (As)	8,5	µg/L
Kadmium (Cd)	1,5	µg/L
Krom (Cr)	3,4	µg/L
Kobber (Cu)	7,8	µg/L
Kvikksølv (Hg)	0,07	µg/L
Nikkel (Ni)	34	µg/L
Bly (Pb)	14	µg/L
Sink (Zn)	11	µg/L

2.2 Prøvetakningsplan

Til sammen er det utført 32 prøvetakningsrunder i hele prosjektperioden, fra januar 2014 – juli 2016. Det har vært utplassert DGT'er i vannmassene på de ulike stasjonene i hele perioden, med unntak av deler av høsten 2014 (4. september – 17. oktober).

En oversikt over prøvetidspunkt og antall dager DGT'er har vært eksponert i vannmassene er vist i Tabell 3.

Tabell 3. Oversikt over prøverunde, prøvetidspunkt (vannprøver og utsetting DGT'er), antall dager DGT'er var utplassert og beskrivelse av vannprøvetakning i Vigga i Gran kommune, januar 2014 – juni 2016.

Runde	Prøvetidspunkt	Ant. dager eksponert (DGT)	Runde	Prøvetidspunkt	Ant. dager eksponert (DGT)			
2014	1	7.jan -4 feb	28	2015	17	5.mai - 4.juni	30	
	2	4. feb-4.mars	30		18	4. juni - 28-juni	24	
	3	4.mars- 31.mars	27		19	28.juni - 28-juli	30	
	4	31.mars- 25.apr	26		20	28. juli - 28. aug	31	
	5	25.apr-16.mai	24		21	28.aug - 30.sept	33	
	6	16.mai-16.jun	31		22	30.sep - 28. okt	28	
	7	16.jun-11.juli	25		23	28.okt-24.nov	27	
	8	11.juli-12.aug	32		24	24. nov - 22 des	28	
	9	12.aug-4.sept	22		2016	25	22.des-15.jan	24
	10	17.okt - 14- nov	28			26	15.jan-15. feb	31
	11	14. nov - 9. des	25			27	15.feb-10.mars	23
2015	12	9. des - 9- jan	31	28		10.mars - 7.apr	28	
	13	9.jan- 4.feb	26	29		07.april - 5.mai	28	
	14	4.feb - 8.mars	32	30		5.mai - 2.juni	28	
	15	8.mars- 10.april	33	31	2.juni- 30-juni	27		
	16	10.april - 5.mai	25					

3 Resultater og diskusjon

3.1 Resultater DGT

En oversikt over alle målte konsentrasjoner er vist i vedlegg A. Gjennomsnittlige målte metallkonsentrasjoner i perioden 2014, 2015 og 2016 er vist i Tabell 4. Tabellen viser også den prosentvise endringen for de undersøkte metallene fra 2014 og til 2016.

Som tabellen viser har det vært en reell økning av Al, Ni og U i hele måleperioden ved stasjon 1 (oppstrøms) og stasjon 4 (nedstrøms). En rekke metaller viser også nedgang i løpet av måleperioden, spesielt ved utslippspunktet, stasjon 3. Flere av målingene er under deteksjonsgrensen for analysemetoden. I disse tilfellene er konsentrasjonen oppgitt som halve deteksjonsgrensen.

Tabell 4. Gjennomsnittlige målte konsentrasjoner av metallene As, V, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, U og Sr (alle i µg/l) i Vigga, perioden januar 2014 – juli 2016.

Stoff	Oppstrøms (Stasjon 1)				Utslippspunkt (stasjon 3)				Nedstrøms (stasjon 4)			
	2014	2015	2016	% endring 2014-16	2014	2015	2016	% endring 2014-16	2014	2015	2016	% endring 2014-16
As	0,06	0,06	0,06	0,00	0,12	0,16	0,07	-68,8	0,08	0,06	0,06	-29,10
V	0,05	0,07	0,05	0,00	0,33	0,59	0,11	-199,4	0,12	0,09	0,07	-82,79
Al	5,22	20,46	9,65	45,91	11,86	34,41	13,76	13,8	5,43	4,07	9,37	42,07
Cd	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	-61,9	0,01	0,01	0,01	-82,70
Co	0,02	0,04	0,03	33,33	0,06	0,06	0,03	-81,6	0,02	0,03	0,03	35,34
Cr	0,03	0,09	0,09	66,67	0,03	0,11	0,09	64,9	0,03	0,04	0,10	70,39
Cu	0,14	0,20	0,17	17,65	0,23	0,31	0,15	-57,9	0,13	0,20	0,12	-4,14
Fe	9,82	151,2	15,8	37,85	20,1	55,6	21,09	4,7	8,75	8,46	14,64	40,23
Mn	5,70	8,42	8,37	31,90	7,64	9,48	6,21	-23,0	6,14	7,63	6,40	3,99
Zn	1,13	1,91	1,67	32,34	2,19	1,82	1,50	-46,3	1,03	1,33	1,17	11,71
Ni	0,72	0,86	0,85	15,29	1,97	1,55	1,12	-75,5	0,71	0,81	0,93	23,81
Pb	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,03	0,02	-13,1	0,01	0,01	0,01	9,10
U	0,04	0,05	0,07	42,86	0,15	0,36	0,18	14,9	0,07	0,09	0,13	47,23
Sr	1,01	1,03	0,86	-17,44	1,69	1,38	1,29	-31,1	1,21	0,95	1,13	-6,66

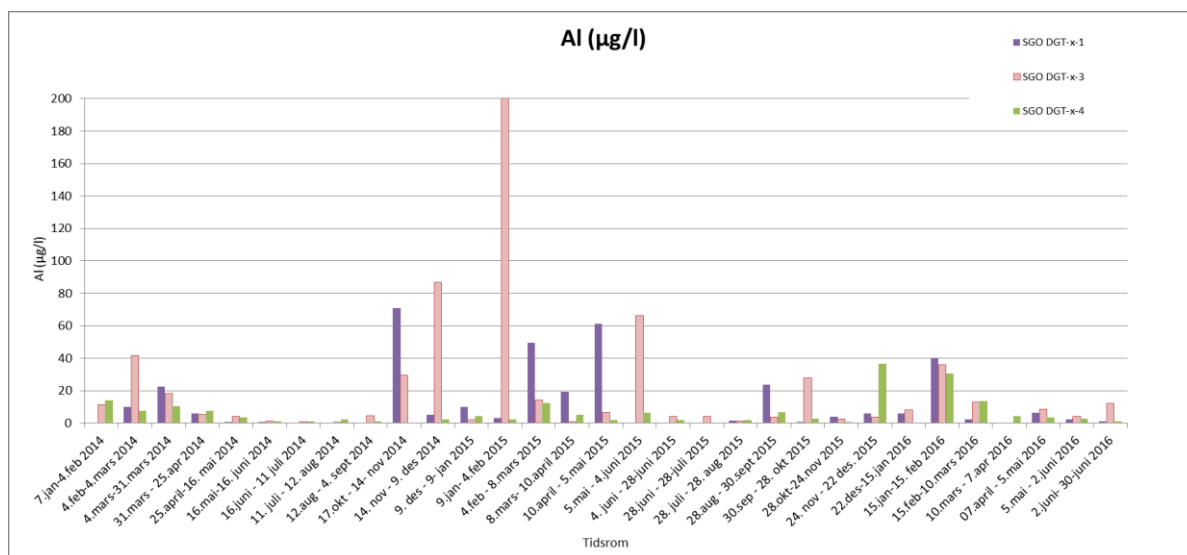
I planleggingen av prosjektet ble det tatt utgangspunkt i å undersøke metaller i Vigga for å måle eventuelle endringer som følge av påvirkning av utslippsvann fra tunneldrivevann og arbeider med alunskiferdeponiet. Som følge av mye anleggsarbeider med Rv. 4 også oppstrøms stasjon 1, er det sannsynlig at referansestasjonen oppstrøms har blitt påvirket av avrenning fra erosjonsutsatte områder i anleggsområdet i elva ovenfor.

Tidligere undersøkelser har vist at flere av tilførselsbekkene til Vigga (bla. Horgenbekken) har høye konsentrasjoner av jern, arsen, kobolt, sink og nikkel, noe som sannsynligvis skyldes avrenning fra eksponerte alunskiferflater /7/.

I perioden 10.februar – 23.juni 2015 ble det pumpet ut myrvann som lå over det nyetablerte alunskiferdeponiet via renseanlegget og ut i Vigga. Driving av tunnel ble avsluttet i mai 2015 og renseanlegget for på anleggsområdet ble avvirket i oktober 2015.

3.2 Samlet vurdering av resultater i perioden 2014-2016

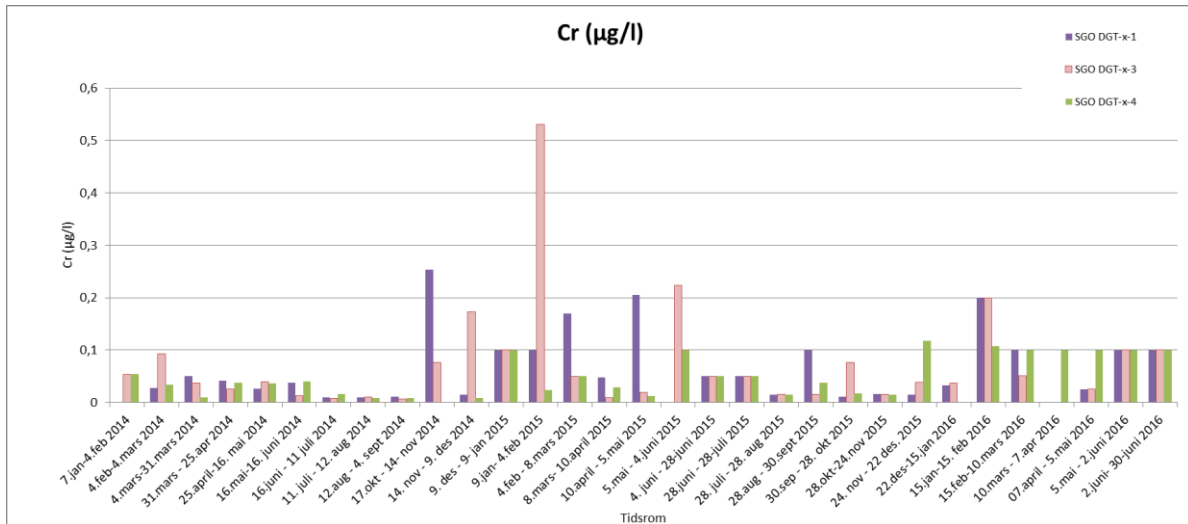
Alle konsentrasjonene i DGT'ene var under grenseverdiene i utslippstillatelsen fra Fylkesmannen /3/. Det gjøres oppmerksom at disse grenseverdiene er utarbeidet med tanke på sammenlikning mot tradisjonelle vannprøver, og ikke ved bruk av DGT'er. COWI har likevel benyttet grenseverdiene siden disse skal sammenliknes mot filtrerte vannprøver uten oppslutning av partikler og dermed representere den biotilgjengelige fraksjonen. Grafer for Mn, Fe, Sr og V er ikke vist i teksten nedenfor, siden disse er mindre interessante med tanke på utslipp fra anlegg og alunskiferdeponiet.



Figur 4. Konsentrasjoner av aluminium ($\mu\text{g/l}$) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga, fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

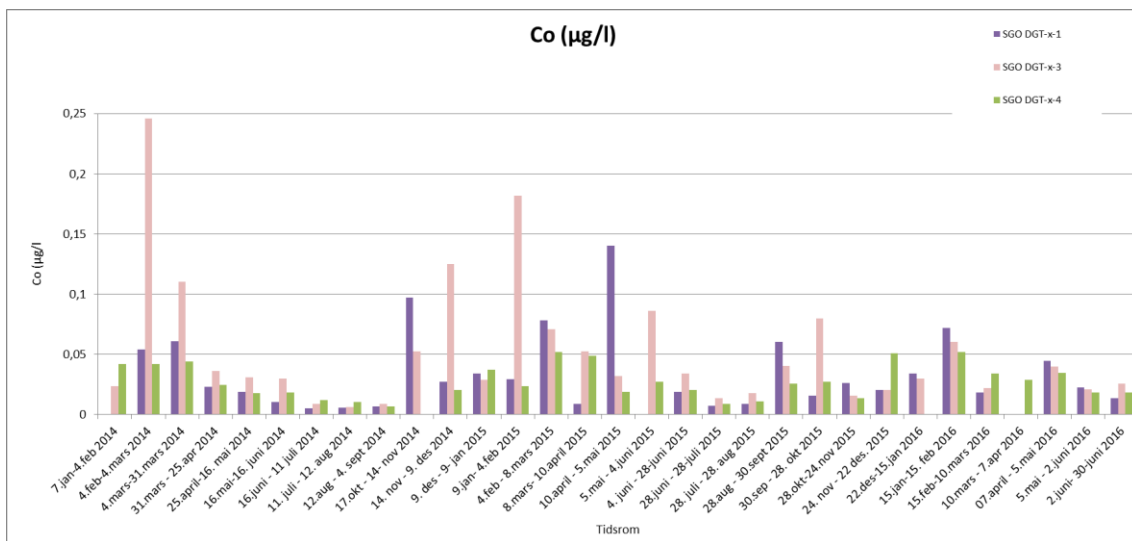
Det har i hele måleperioden vært betydelige variasjoner av Al i vassdraget. Dette gjelder også mellom de ulike stasjonene i samme prøverunde (Figur 4). Resultatene viser en variasjonen på 0,05 $\mu\text{g/l}$ til 200 $\mu\text{g/l}$ i løpet av hele overvåkingsperioden. Nivået på 200 $\mu\text{g/l}$ i perioden 9. januar – 4. februar 2015 og 86 $\mu\text{g/l}$ i tidsrommet 14. november – 9. desember 2014 regnes som høyt. Det ble registrert flere tilfeller av høy turbiditet i Vigga i samme perioder. Målingene tyder på at høye konsentrasjoner av Al skyldes bidrag fra anleggsvirksomheten da disse målingene ble gjort ved utslippspunktet i Vigga (stasjon 3).

Giftigheten av aluminium styres i hovedsak av pH-verdien i vannet. Generelt regner man pH-verdier under 5 og over 9 er skadelig for fisk og Al opptrer da i labil form. Dette har ikke vært tilfelle i Vigga, og det antas ikke at dette har medført biologiske effekter i vassdraget.



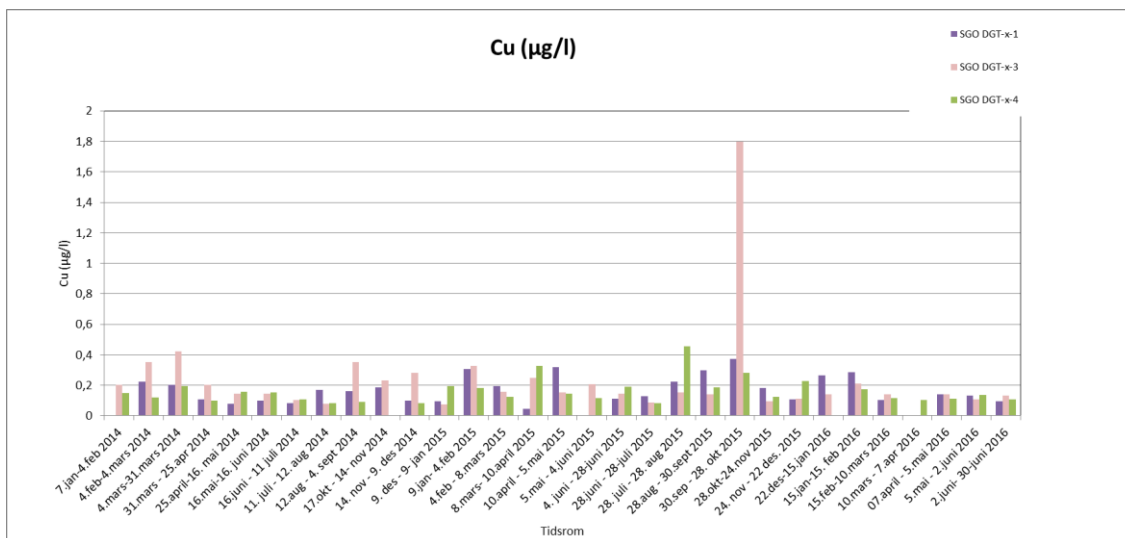
Figur 5. Konsentrasjoner av krom ($\mu\text{g/l}$) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga, fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

Konsentrasjonen av Cr har i hele måleperioden vært relativt lav og stabil (Figur 5), tilsvarende TKL 1-TKL 3. Konsentrasjonsnivåene har variert mellom 0,1 og 0,53 $\mu\text{g/l}$. Den høyeste konsentrasjonen ble målt i perioden 9. januar – 4. februar 2015 ved utslippspunktet i Vigga. Resultatene viser at utslipp av Cr fra anleggsarbeidene har vært akseptabelt og utgjør derfor ingen forurensningsrisiko.



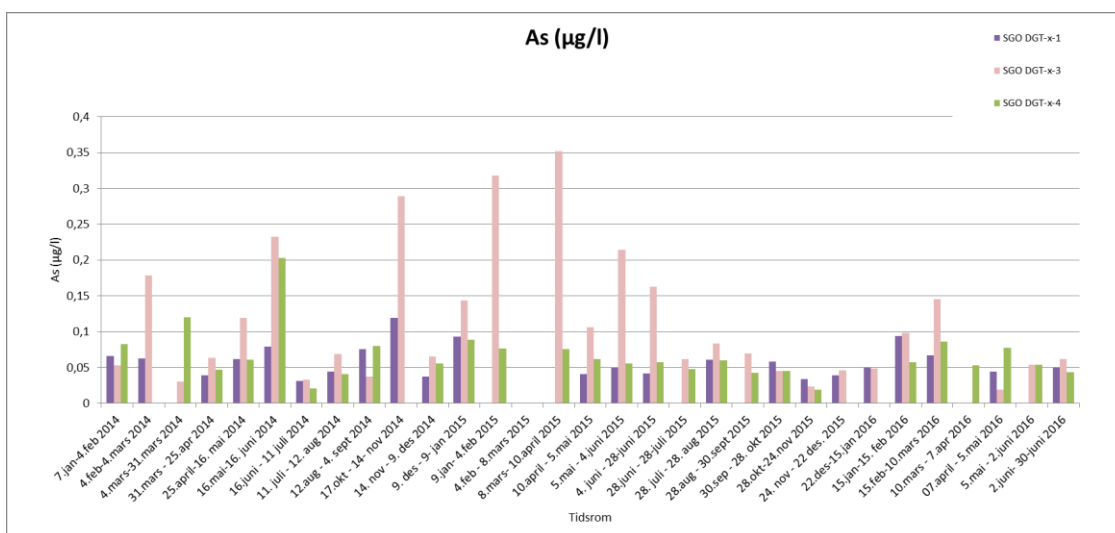
Figur 6. Konsentrasjoner av kobolt ($\mu\text{g/l}$) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

Det eksiterer ikke tilstnadsklasser for Co i vann. Målingene antas å vise lave konsentrasjoner av Co i Vigga, med en variasjon på 0,005 – 0,24 $\mu\text{g/l}$ i løpet av hele undersøkelsesperioden (Figur 6). Det forekom høyere nivåer ved utslippspunktet (stasjon 3) ved enkelte prøverunder sammenlignet med stasjon 1 og stasjon 4. Dette tyder på en økt, men akseptabel tilførsel av Co via tunneldrivevannet.



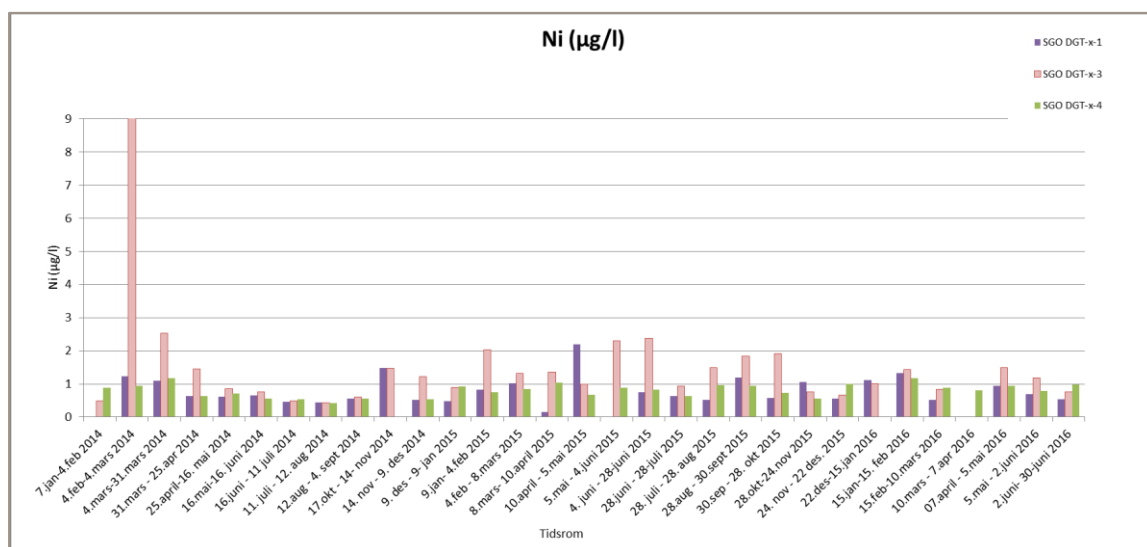
Figur 7. Konsentrasjoner av kobber (µg/l) målt ved bruk av DGT ved 3 prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

Det har vært lave og stabile konsentrasjoner av Cu ved alle målepunkter med unntak av én prøverunde (30. sept - 28. okt. 2015), hvor det ble påvist en betydelig økning av Cu ved utslippspunktet, stasjon 3 (Figur 7). Dette kan være et resultat av høyt utslipp av Cu via tunneldrivevann i måleperioden og det ble også påvist flere tilfeller med høy turbiditet i Vigga i samme periode. Konsentrasjonen av Cu i Vigga har ligget mellom 0,1 – 1,8 µg/l som tilsvarer TKL 1-TKL 2. Det er ingen vesentlig endring i målingene i forbindelse med avslutning av tunneldrivingen.



Figur 8. Konsentrasjoner av arsen (µg/l) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

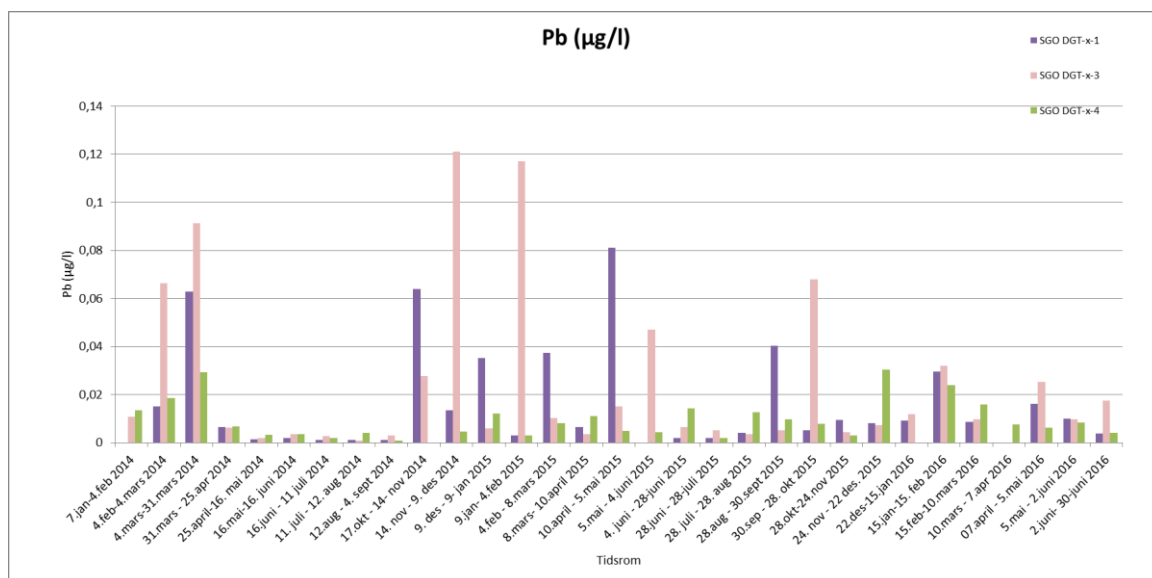
Konsentrasjonene av As i Vigga har vært lave, tilsvarende TKL 1-TKL 2. Målingene har variert mellom 0,018 - 0,35 µg/l i DGT'ene (Figur 8). De høyeste nivåene er påvist ved stasjon 3 og tyder på et visst bidrag fra utslippsvannet, noe som medfører en svak økning av As ved stasjon 4 (nedstrøms) sammenlignet med stasjon 1 (oppstrøms). Målingene tyder på reduksjon av As ved stasjon 3 etter at tunneldriving ble avsluttet og renseanlegget ble avviklet (juni 2015).



Figur 9. Konsentrasjoner av nikkel (µg/l) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

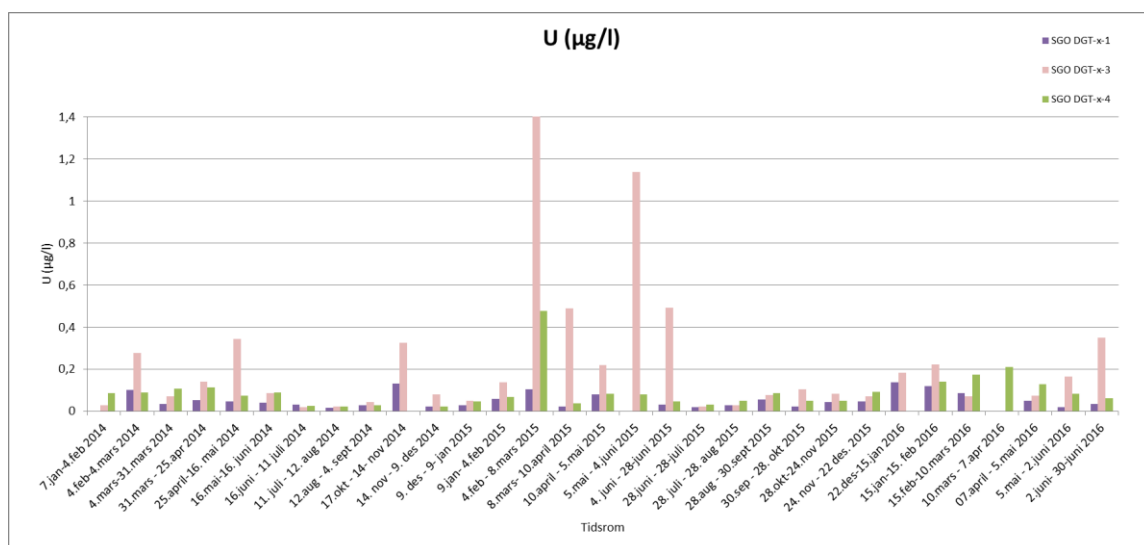
Variasjonen av Ni har vært mellom 0,15 – 90,8 µg/l, tilsvarende TKL 1-TKL 3 (Figur 9). I starten av overvåkningen (4. feb-4. mars 2014) ble det påvist en høy konsentrasjon av Ni ved stasjon 3, samtidig som konsentrasjonen av Co også var høy (Figur 6). Tilsvarende høye konsentrasjoner av Ni ble påvist i vanlige vannprøver samlet inn av Statens vegvesen i samme periode /4/. Øvrige målinger av Ni i Vigga viser lave og stabile konsentrasjoner i hele måleperioden, men med generelt noe høyere konsentrasjon ved stasjon 3 sammenlignet med stasjon 1 og stasjon 4. Resultatene tyder også på en svak økning ved stasjon 3 vinteren/våren 2015, trolig som følge av utslipp av myrvann fra alunskiferdeponiet.

Statens vegvesen sine egne vannprøver viste høye konsentrasjoner av Ni i utløpet fra anleggsområdet til Vøyenbekken (150 µg/l) etter at utslippspunktet ble flyttet høsten 2015 /8/. DGT-målingene viser ingen betydelig endring av Ni i etter at stasjonen 3 ble plassert i utløpet fra Vøyenbekken.



Figur 10. Konsentrasjoner av bly ($\mu\text{g/l}$) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

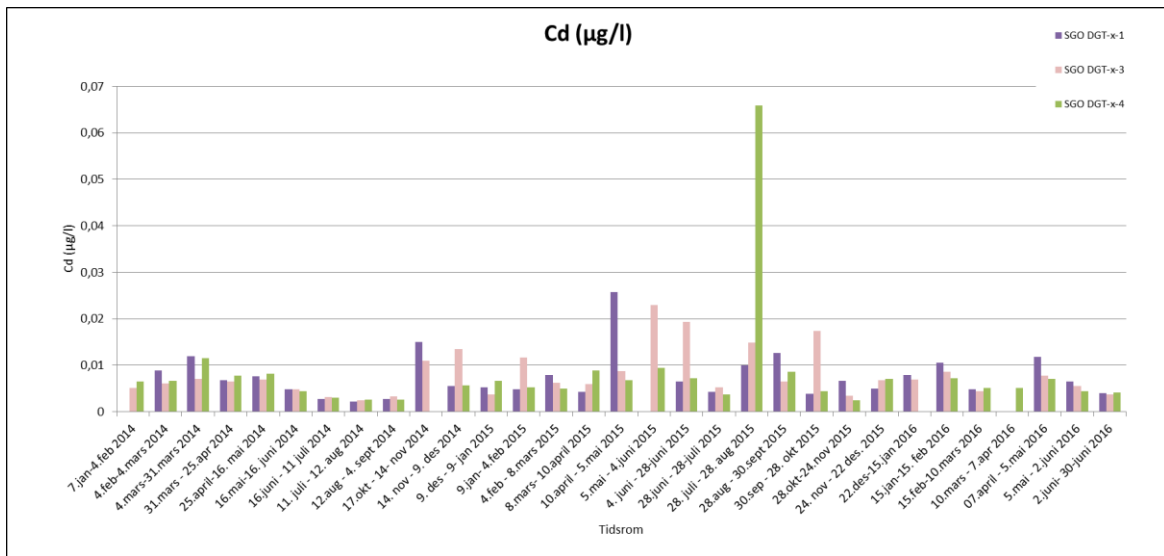
Overvåkingen viser store variasjoner i konsentrasjon av Pb i Vigga, både med hensyn på prøvetasjon og prøverunde (Figur 10). Likevel anses konsentrasjonene i intervallet 0,00084 – 0,12 $\mu\text{g/l}$ som forholdsvis lave og tilsvarer TKL 1- TKL 2. De høyeste målingene er gjort ved stasjon 3, som følge av utslipp av tunneldrivevann.



Figur 11. Konsentrasjoner av uran ($\mu\text{g/l}$) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

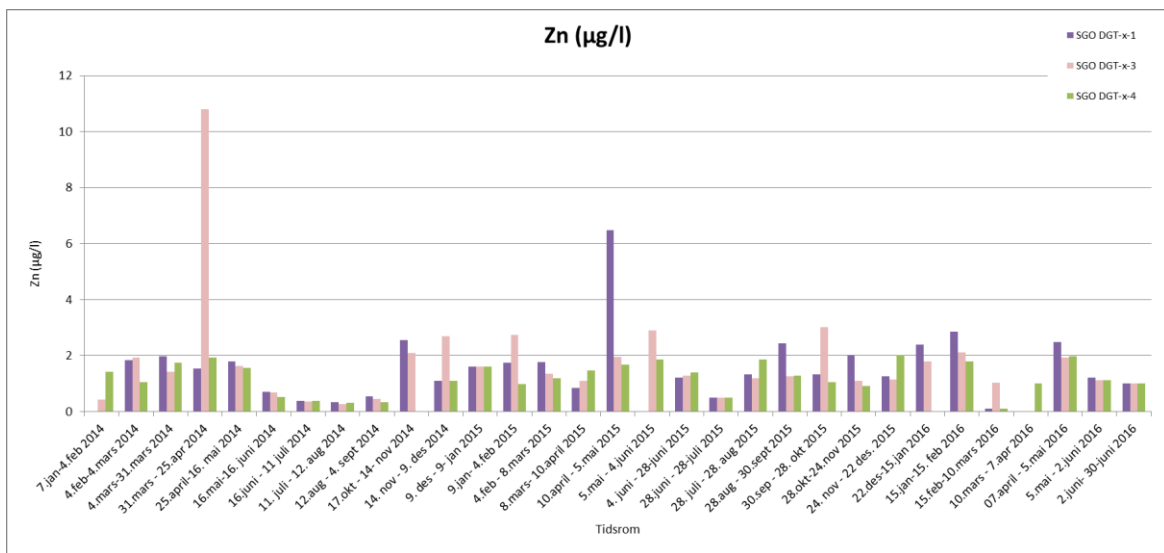
Det eksisterer ingen grenseverdi i vanddirektivet med hensyn på U. Grenseverdien for uran i drikkevann er av WHO satt til 15 $\mu\text{g/L}$ /9/. I undersøkelsen av anleggsarbeidene før oppstart, ble det påvist konsentrasjoner av uran i intervallet 1-6 $\mu\text{g/l}$, i vanlige vannprøver i Vigga og Vøyenbekken. Ved alle lokalitetene forelå uran som lavmolekylært uran (LMM, <10 kDa) eller anioner /7/. Målingene med DGT viser konsentrasjoner mellom 0,158 – 1,46 $\mu\text{g/l}$ (Figur 11) . De 4 høyeste konsentrasjonene av U i undersøkelsen ble påvist ved stasjon 3 i perioden 4.februar – 28.juni 2015. I dette tidrommet foregikk det utpumping av myrvann (10.februar – 23.juni) fra alunskiferdeponiet og

økningen skyldes med stor sannsynlighet denne anleggsprosessen. Fra og med 28. juni er konsentrasjone av U ved utslippspunktet vesentlig redusert.



Figur 12. Konsentrasjoner av kadmium (µg/l) målt ved bruk av DGT ved tre prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

Konsentrasjonene av Cd i Vigga har vært lave i hele undersøkelsen og variert mellom 0,0021 – 0,065 µg/l (Figur 12). Alle konsentrasjonsnivåer tilsvarer TKL 1, med unntak av en måling tilsvarende TKL 2 ved stasjon 4 i perioden 28. juli – 28. august 2015.



Figur 13. Konsentrasjoner av sink (µg/l) målt ved bruk av DGT ved 3 prøvestasjoner i elva Vigga. Målingene er fordelt på 31 prøveomganger i perioden januar 2014 – juni 2016.

Målingene av Zn viser lave konsentrasjoner tilsvarende TKL 1 – TKL 2 i hele Vigga. Resultatene viser en variasjon på 0,1 – 10,8 µg/l i hele undersøkelsesperioden. To høye konsentrasjoner sammenlignet med de øvrige målingene ble påvist ved stasjon 3 i perioden 31. mars – 25. april 2014 og stasjon 1 i perioden 10.april – 5.mai 2015.

Nivåene i DGT'er var som forventet lavere enn i tradisjonelle vannprøver. De høyeste konsentrasjonene er ikke uventet ved utslippspunktet stasjon 3 og er påvist i perioden 4. februar – 28. juni 2015. Etter denne perioden er konsentrasjonen av enkelte metaller (As, U) vesentlig lavere ved stasjon 3. Dette skyldes trolig at utslippet av rensed tunneldrivevann og myrvann (overvann) fra alunskiferdeponiet ble avsluttet våren 2015. Flere episoder med høy turbiditet i Vigga fra anleggsarbeidene i juni kan ha forårsaket noe av økningen. Målinger fra stasjon 4 (nedstrøms) viser at konsentrasjonene er sterkt fortennet og ikke utgjør noen miljørisiko i Vigga.

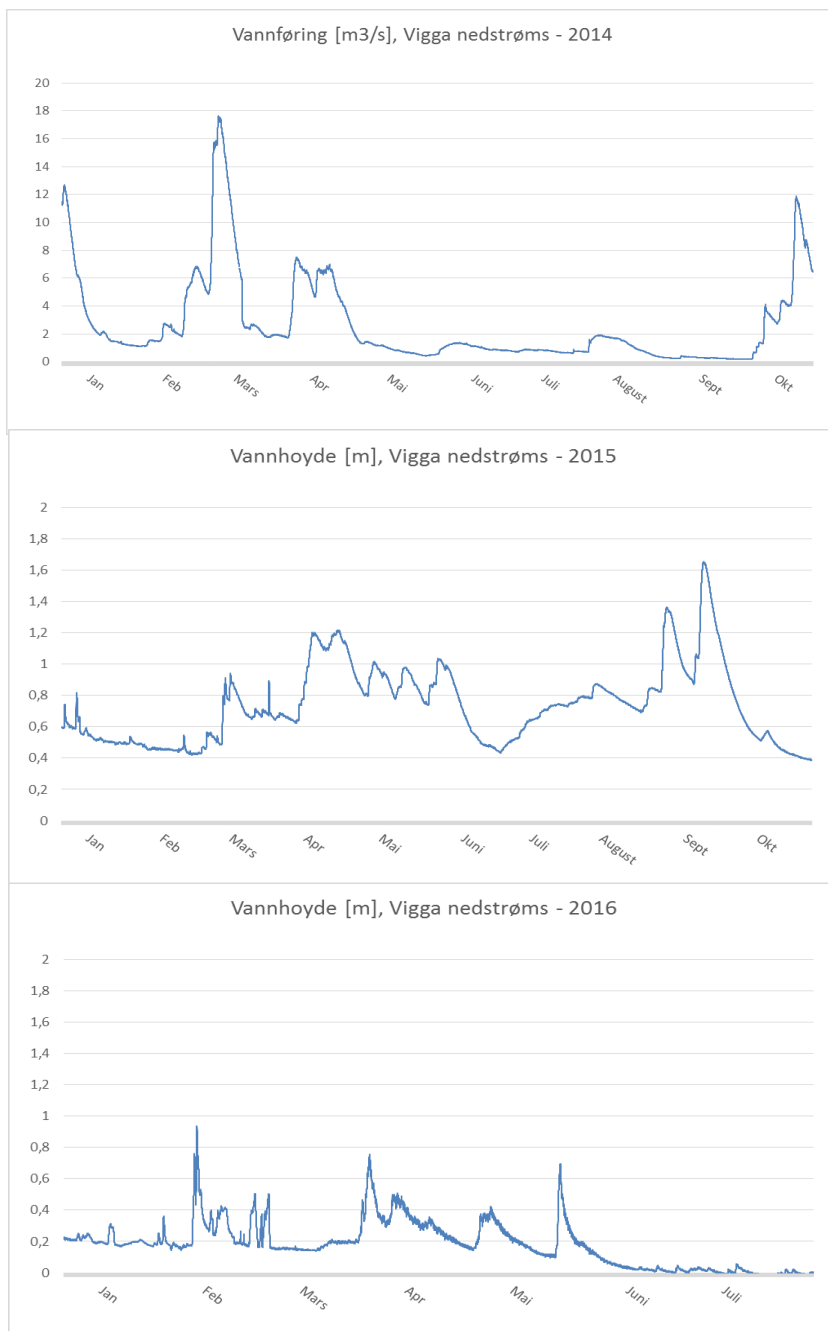
3.3 Vannføring og pH

Målinger av vannføring/vannhøyde (Figur 14) og pH (Figur 15) i Vigga, ble gjennomført av SVV/NIBIO ved hjelp av loggere plassert oppstrøms og nedstrøms anleggsområdet /10//11/. Målepunktet for resultatene som er vist nedenfor er nedstrøms utslippspunktet for tunneldrivevann. Hensikten med å etablere en vannføringskurve var å ha et mål på resipientens sårbarhet. Ved vannføring under 0,5 m³/s ble Vigga karakterisert som ekstra sårbar for utslipp /10/.

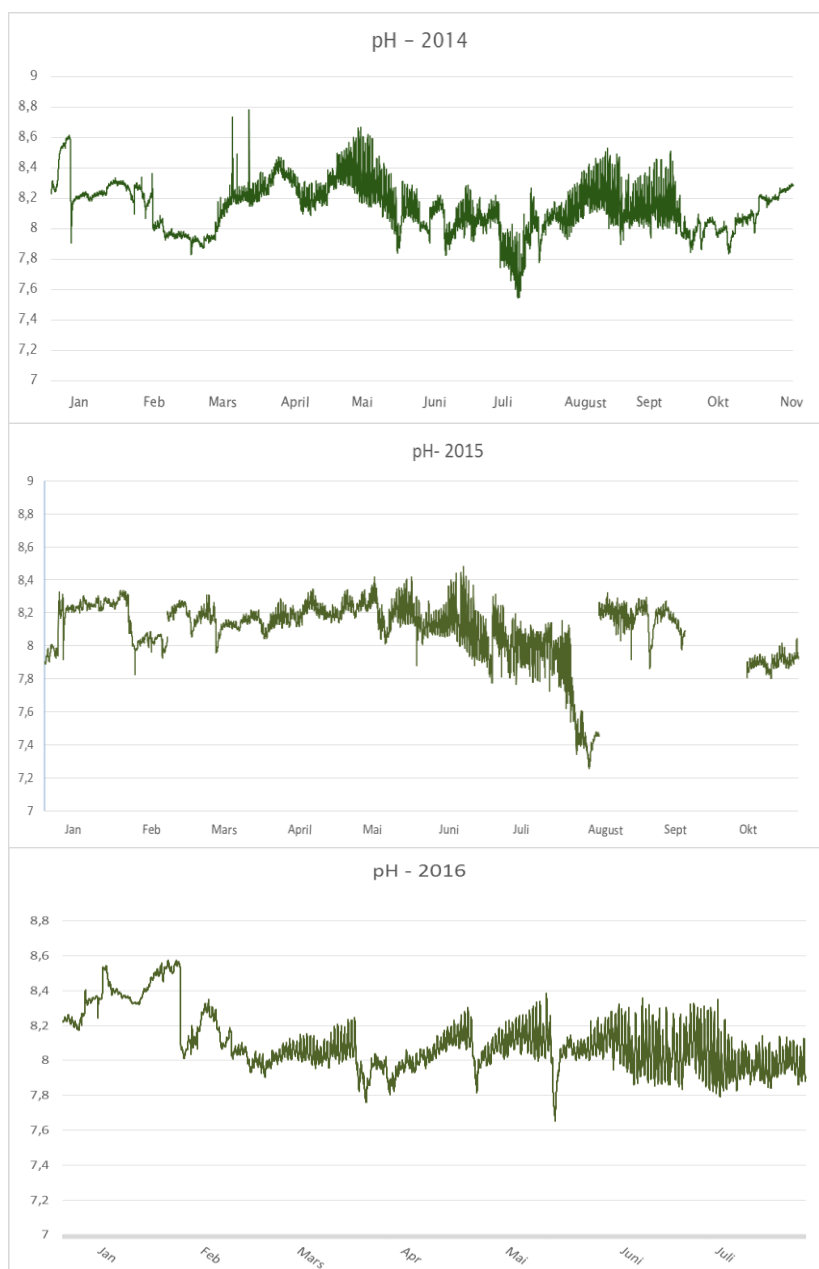
I 2014 ble det målt vannføring som m³/sek, mens det i 2015 og 2016 ble målt vannhøyde (m). Det foreligger ikke forholdstall for å konvertere vannhøyden til vannføring. Til tross for at eksakte vannføringsverdier ikke foreligger for 2015 og 2016, sier vannhøyden likevel mye om hvordan vannføringen varierer over året og når det kan forventes fortennede vannkvaliteter. Målingene viste store variasjoner, men med spesielt lav vannføring vinterstid og i sommermånedene.

I følge NIBIO sin overvåkningsrapport for 2015 /10/ "*har det i løpet av overvåkningsperioden vært avdekket flere episoder med høy turbiditet, både i forbindelse med naturlig avrenning og det som sannsynligvis var anleggsrelatert avrenning*". NIBIO mener at episodene med utslipp av partikler kan ha påvirket vannmiljøet i Vigga, men at hendelsene stort sett vært kortvarige. "*Effektene vil være kortvarige da akkumulert slam vil spyles videre ved neste storflom. Områdene vil raskt rekoloniseres med normal fauna når forholdene normaliseres etter avsluttet anlegg*". Ved naturlig avrenning har det forekommet episoder der jordbruksavrenning gav turbiditet på mer enn 1000 NTU /11/.

Det ble i rapporten også fastslått at måling av pH og ledningsevne gjennom overvåkningsperioden ikke gav indikasjoner på endret vannkvalitet som følge av utslipp fra anleggsområdet.



Figur 14. Registrering av vannføring/vannhøyde (m³/s, m) i Vigga i forbindelse med overvåkning av Vigga 2014 – 2016.



Figur 15. Registrert pH i Vigga nedstrøms anleggsumrådet i undersøkelsesperioden 2014-2016.

Surhetsgraden kan ha stor betydning for tilstandsformen (specieringen) til de ulike metallene. Ved lave pH-verdier er det ofte høyere konsentrasjon av frie metaller enn om vannet har høy pH. Det betyr at pH har stor betydning for opptak av metaller i DGT-enheten.

Målingene av pH nedstrøms utslippspunktet varierte mellom 7,26 og 8,8. Noen plutselige forandringer kan ha forekommet på grunn av vedlikehold og andre forstyrrelser. I følge målingene tyder det på at pH synker i løpet av 2016. I følge NIBIO ble *det ikke målt episoder med rask økning i pH som kan tyde på utslipp av f.eks. sementbaserte tetningsmidler, sprøytebetong, betong, syre eller andre kjemikalier* /10//11/. Den målt variasjonen i pH i Vigga vil ikke kunne ha påvirket opptaket i DGTene i nevneverdig grad.

4 Konklusjon

Resultatene fra måling av metaller/metalloider med DGT i forbindelse med overvåkningen av Vigga 2014-2016, viser forholdsvis lave konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse 1 (*bakgrunn*) og tilstandsklasse 2 (*god*), iht. veileder M241/2014/6/. Enkelte nivåer av krom og nikkel ble tidvis påvist i tilstandsklasse 3 (*moderat*). Undersøkelsen har vist en svak økning av enkelte metaller (Ni, Al, U) i vassdraget i løpet av anleggsperioden ved stasjon 4 (nedstrøms). Likevel er det ingen betydelige forskjeller i metallnivåene mellom stasjon 1 (oppstrøms) og stasjon 4 (nedstrøms) over flere måleperioder av gangen. Det betyr at den økologiske risikoen for negative effekter på vannlevende organismer har vært lav.

Generelt sett er konsentrasjonene av de fleste metallene noe høyere ved utslippspunktet (stasjon 3) sammenlignet med prøvestasjonene oppstrøms og nedstrøms. Dette skyldes i stor grad at DGT'en var plassert i blandsonen for utslippet av tunneldrivevann. Utslipp av det utpumpede vannet ved dette prøvepunktet har da ikke fått blande seg tilstrekkelig med resten av elva. I forbindelse stopp av utslipp av rensed tunneldrivevann og utpumping av myrvann (overvann) fra alunskiferdeponiet synes det å ha vært en reduksjon av enkelte metaller (U og As) ved stasjon 3 i perioden våren 2015. Det ble ikke påvist noen vesentlig forskjell av undersøkte metaller ved stasjon 3 i forbindelse med at denne stasjonen ble flyttet lengre oppstrøms til utløpet av Vøyenbekken.

Undersøkelsen tyder på at Vigga i liten grad har vært påvirket av avrenning av metaller via grunnvann fra alunskiferdeponiet og/eller tilførsel av tunneldrivevann og resultatene supplerer tidligere utførte undersøkelser av vassdraget under anleggsperioden /7/.

Selv om målingene er lave er det betydelige variasjoner i de biotilgjengelige metallkonsentrasjonene og variasjonen er først og fremst sterkt knyttet til årstid og vannføring i vannmassene. De høyeste nivåene av metaller i Vigga har generelt vært når vannføringen er lav.

Det er etter det COWI kjenner til første gang hvor det er gjennomført langtidsovervåkning av et vassdrag under en anleggsperiode med bruk av passive prøvetakere (DGT) i Norge. Erfaringer fra overvåkningen er at bruk av passiv prøvetaking er en god og egnet måte å måle endringer i biotilgjengelig metaller under en anleggsperiode med potensial for å påvirke et vassdrag.

5 Referanser

/1/ Statens vegvesen, 2013. Overvåkningsprogram RV. 3 Gran.

/2/ Vann-nett.no: <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=012-1661-R>. Lastet ned 04.09.2016.

/3/ Fylkesmannen i Oppland, 2013. Vedtak om tillatelse til utslipp av drive- og vaskevann fra anlegg og driftsfasen av Grantunnelen, 19. september 2013.

/4/COWI AS, 2014. Overvåkning av Vigga, januar – oktober 2014. Statens vegvesen region øst

/5/ COWI AS, 2015. Overvåkning av Vigga, oktober 2014 – oktober 2015. Statens vegvesen region øst.

/6/ Miljødirektoratet (2014): Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder. MDir rapport M-241/2014.

/7/ Norges miljø- og biovitenskapelige universitet/NIVA, 2016. Fagrapport: Effekter og miljørisiko knyttet til inngrep i områder med sulfidrike mineraler. Statens vegvesen Vegdirektoratet rapp. nr. 651.

/8/ Pers.med. Halldis Fjermestad, ytre-miljø koordinator, Statens vegvesen.

/9/ WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition: World Health Organization.

/10/ Bioforsk (NIBIO), 2015. Ny Rv4 Gran grense – Jaren. Miljøovervåkning i Vigga, status 1.januar 2015.

/11/ NIBIO, 2015. Ny Rv4 Gran grense – Jaren. Miljøovervåkning i Vigga, status 1.november 2015.

Vedlegg A: Analyseresultater sammenlignet med tilstandsklasser iht. veileder M241/2014

	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)
Prøvepunkt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Vigga oppstrøms (1)														
DGT SGO 1-1	0,0664	0,0569												
DGT SGO 2-1	0,0622	0,0585	9,93	0,00885	0,0539	0,0268	0,223	19	12,5	1,83	1,24	0,015	0,1	1,38
DGT SGO 3-1			22,4	0,012	0,0608	0,0498	0,201	38,2	9,4	1,97	1,1	0,0629	0,0328	1,08
DGT SGO 4-1	0,0394	0,0431	6,17	0,00672	0,0231	0,0407	0,109	10,8	4,63	1,53	0,642	0,00657	0,0518	1,01
DGT SGO 5-1	0,062	0,0532	0,75	0,00763	0,0185	0,026	0,0799	3,58	6,78	1,79	0,618	0,00132	0,0468	1,11
DGT SGO 6-1	0,0795	0,0577	0,941	0,00483	0,0106	0,0377	0,0998	2,55	4,6	0,697	0,658	0,00189	0,0405	0,918
DGT SGO 7-1	0,0312	0,0337	0,53	0,0028	0,00504	0,00893	0,0808	1,36	2,39	0,379	0,47	0,00114	0,0295	0,916
DGT SGO 8-1	0,0445	0,0431	0,55	0,00211	0,00555	0,0094	0,171	1,31	1,86	0,333	0,447	0,00112	0,0158	0,559
DGT SGO 9-1	0,0757	0,0768	0,457	0,00271	0,00653	0,0111	0,162	1,76	3,44	0,549	0,557	0,00124	0,0287	1,1
DGT SGO 10-1	0,119	0,104	71	0,015	0,0971	0,253	0,187	108	13,7	2,56	1,49	0,064	0,131	1,7
DGT SGO 11-1	0,037	0,0413	5,23	0,0055	0,0273	0,0146	0,101	11,2	6,67	1,09	0,529	0,0134	0,0205	0,624
DGT SGO 12-1	0,093	0,0822	9,84	0,0052	0,0339	0,1	0,0963	19	8,39	1,6	0,478	0,0353	0,0268	0,946
DGT SGO 13-1			3,04	0,00483	0,0295	0,1	0,305	6,73	11,4	1,74	0,825	0,003	0,0591	1,34
DGT SGO 14-1			49,5	0,00793	0,078	0,169	0,193	75	14,1	1,77	1,02	0,0375	0,104	1,26
DGT SGO 15-1			19,2	0,00422	0,00855	0,0477	0,0472	1440	0,66	0,853	0,159	0,00658	0,0206	1,11
DGT SGO 16-1	0,0407	0,0566	61,3	0,0258	0,14	0,205	0,317	108	19	6,49	2,19	0,081	0,0807	1,43
DGT SGO 17-1	0,0495	0,0554												
DGT SGO 18-1	0,0415	0,0571	0,05	0,00656	0,0186	0,05	0,113	2,4	5,56	1,22	0,748	0,002	0,0307	0,899
DGT SGO 19-1			0,5	0,00424	0,00715	0,05	0,127	1,32	3,06	0,5	0,63	0,002	0,0197	0,5
DGT SGO 20-1	0,0612	0,0832	1,62	0,00992	0,00888	0,015	0,222	3,96	3,88	1,32	0,518	0,00422	0,0287	0,804
DGT SGO 21-1			23,6	0,0126	0,0604	0,1	0,298	36,5	9,04	2,43	1,2	0,0402	0,0538	0,883
DGT SGO 22-1	0,0585	0,0594	0,612	0,00384	0,0157	0,0114	0,371	2,41	5,59	1,32	0,569	0,00514	0,0231	0,82
DGT SGO 23-1	0,0335	0,0361	3,91	0,00665	0,0259	0,0157	0,184	13,2	7,47	2,03	1,06	0,00946	0,0435	1,05
DGT SGO 24-1	0,0389	0,0293	5,84	0,00502	0,0203	0,015	0,106	12,2	5,29	1,25	0,557	0,0082	0,0476	0,875
DGT SGO 25-1	0,0502	0,0413	5,94	0,00783	0,0338	0,0329	0,267	10,9	11,6	2,39	1,11	0,00933	0,138	1,8
DGT SGO 26-1	0,094	0,0788	40	0,0105	0,0717	0,2	0,284	60,8	14,5	2,86	1,32	0,0295	0,12	0,5
DGT SGO 27-1	0,0667	0,0368	2,17	0,00484	0,018	0,1	0,103	3,29	4,97	0,1	0,519	0,00878	0,0848	0,5
DGT SGO 28-1														
DGT SGO 29-1	0,0443	0,0402	6,29	0,0118	0,0443	0,025	0,14	12,9	9,4	2,49	0,953	0,0162	0,0501	0,5
DGT SGO 30-1			2,53	0,00656	0,0222	0,1	0,133	5,9	4,49	1,22	0,695	0,00992	0,0199	
DGT SGO 31-1	0,0504	0,0617	1	0,00393	0,0137	0,1	0,0951	1,27	5,26	1	0,533	0,00396	0,0339	1

	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)
Prøvepunkt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Utslippspunkt Vigga (stasjon 3)														
DGT SGO 1-3	0,0531	0,0631	11,4	0,00511	0,0235	0,0538	0,201	16,2	5,52	0,424	0,499	0,0108	0,0273	1,16
DGT SGO 2-3	0,178	1,1	41,6	0,00601	0,246	0,0934	0,354	74	18,4	1,94	9,08	0,0663	0,277	4,24
DGT SGO 3-3	0,0302	0,0896	18,3	0,007	0,11	0,0374	0,422	47	10,8	1,43	2,53	0,0914	0,0711	2,47
DGT SGO 4-3	0,063	0,153	5,27	0,00648	0,036	0,0253	0,201	6,66	5,29	10,8	1,46	0,00624	0,141	1,43
DGT SGO 5-3	0,119	0,32	4,14	0,00694	0,0306	0,0393	0,145	4,39	5,15	1,64	0,86	0,00196	0,344	1,22
DGT SGO 6-3	0,232	0,322	1,47	0,00481	0,0297	0,0128	0,144	2,96	8,16	0,691	0,753	0,00359	0,0855	0,909
DGT SGO 7-3	0,0331	0,0537	0,981	0,00322	0,00898	0,00768	0,104	1,45	3,97	0,367	0,493	0,00285	0,0191	0,76
DGT SGO 8-3	0,0684	0,111	0,738	0,00239	0,00617	0,0106	0,0772	0,951	2,64	0,26	0,424	0,00084	0,0219	0,659
DGT SGO 9-3	0,0377	0,0652	4,57	0,0033	0,0087	0,00622	0,354	1,79	4,11	0,44	0,606	0,00306	0,0425	1,53
DGT SGO 10-3	0,289	0,775	29,7	0,011	0,0523	0,0767	0,23	41,6	10,2	2,1	1,48	0,0276	0,324	1,98
DGT SGO 11-3	0,065	0,23	86,7	0,0135	0,125	0,173	0,28	165	13	2,7	1,23	0,121	0,0799	1,94
DGT SGO 12-3	0,144	0,478	2	0,00376	0,0287	0,1	0,0725	1,61	7,52	1,6	0,891	0,006	0,0503	0,992
DGT SGO 13-3	0,318	1,54	200	0,0117	0,182	0,531	0,328	297	19,4	2,75	2,03	0,117	0,138	2,19
DGT SGO 14-3			14,1	0,00615	0,0708	0,05	0,156	20,5	14,8	1,36	1,31	0,0103	1,46	1,21
DGT SGO 15-3	0,352	1,01	1,01	0,00597	0,0525	0,00864	0,247	4,44	12	1,09	1,35	0,00346	0,49	1,66
DGT SGO 16-3	0,106	0,775	6,54	0,00869	0,0321	0,0188	0,155	14,3	6,35	1,96	0,999	0,0152	0,219	1,19
DGT SGO 17-3	0,214	1,2	66,2	0,0229	0,0862	0,224	0,209	95,4	8,64	2,9	2,31	0,0469	1,14	1,92
DGT SGO 18-3	0,163	0,683	4,27	0,0193	0,0341	0,05	0,144	6,37	5,12	1,28	2,37	0,00659	0,492	1,28
DGT SGO 19-3	0,0616	0,112	4,09	0,00524	0,0133	0,05	0,0865	6,38	3,38	0,5	0,94	0,00524	0,023	0,5
DGT SGO 20-3	0,0837	0,163	1,23	0,0148	0,0176	0,015	0,153	2,91	4,59	1,18	1,5	0,00366	0,0287	0,978
DGT SGO 21-3	0,0695	0,0973	3,72	0,00646	0,0403	0,015	0,139	6,7	5,84	1,25	1,83	0,00514	0,075	0,546
DGT SGO 22-3	0,0455	0,0499	27,8	0,0174	0,0798	0,076	1,8	60,9	12,4	3,01	1,92	0,068	0,104	1,61
DGT SGO 23-3	0,023	0,0373	2,72	0,0034	0,0158	0,015	0,0949	6,07	4,38	1,09	0,76	0,00448	0,0816	1,1
DGT SGO 24-3	0,0458	0,0389	3,97	0,00683	0,0204	0,0381	0,112	8	4,36	1,15	0,67	0,00746	0,071	0,936
DGT SGO 25-3	0,0488	0,0461	8,1	0,00689	0,03	0,0371	0,14	13	8,54	1,78	1,01	0,0118	0,182	1,9
DGT SGO 26-3	0,0979	0,0961	36,1	0,00861	0,0604	0,2	0,213	54,3	12,3	2,11	1,44	0,0321	0,221	1,5
DGT SGO 27-3	0,145	0,358	13,1	0,00441	0,0217	0,0511	0,139	20,6	2,82	1,02	0,83	0,00961	0,0708	0,888
DGT SGO 28-3														
DGT SGO 29-3	0,0188	0,027	8,52	0,00781	0,0396	0,025	0,141	15,1	7,76	1,94	1,5	0,0253	0,0722	0,646
DGT SGO 30-3	0,054	0,0706	4,33	0,00559	0,021	0,1	0,107	5,85	3,54	1,13	1,19	0,00986	0,163	
DGT SGO 31-3	0,062	0,0636	12,4	0,00374	0,0255	0,1	0,134	17,7	2,32	1	0,764	0,0174	0,349	1,51

	As (Arsen)	V (Vanadium)	Al (Aluminium)	Cd (Kadmium)	Co (Kobolt)	Cr (Krom)	Cu (Kopper)	Fe (Jern)	Mn (Mangan)	Zn (Sink)	Ni (Nikkel)	Pb (Bly)	U (Uran)	Sr (Strontium)
Prøvepunkt	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Vigga nedtrøms (4)														
DGT SGO 1-4	0,0826	0,0638	14,2	0,00652	0,0418	0,0543	0,148	24,4	9,97	1,43	0,878	0,0135	0,0851	1,6
DGT SGO 2-4			7,52	0,00665	0,0419	0,0337	0,122	14	8,88	1,05	0,945	0,0185	0,0888	1,3
DGT SGO 3-4	0,12	0,149	10,4	0,0115	0,0442	0,00942	0,194	12,6	8,4	1,74	1,17	0,0293	0,108	2,35
DGT SGO 4-4	0,0469	0,0801	7,5	0,00769	0,0244	0,0371	0,0974	10,9	4,91	1,94	0,632	0,00667	0,112	1,14
DGT SGO 5-4	0,0606	0,059	3,4	0,00821	0,0178	0,0364	0,159	6,37	5,28	1,57	0,704	0,00332	0,0734	0,949
DGT SGO 6-4	0,203	0,423	1,18	0,00447	0,0183	0,0405	0,152	2,11	5,01	0,526	0,568	0,00349	0,0885	0,951
DGT SGO 7-4	0,021	0,0544	1,16	0,00307	0,012	0,0155	0,107	2,45	5,04	0,387	0,54	0,00192	0,0246	1,03
DGT SGO 8-4	0,0411	0,0526	2,19	0,00264	0,0105	0,00843	0,0812	4,04	3,52	0,302	0,428	0,00412	0,0212	0,596
DGT SGO 9-4	0,08	0,0835	1,29	0,00258	0,00677	0,00778	0,091	1,92	4,29	0,325	0,554	0,001	0,0284	1,01
DGT SGO 10-4														
DGT SGO 11-4	0,0553	0,0464	2,19	0,00567	0,0205	0,00818	0,0832	4,95	5,26	1,1	0,533	0,00461	0,0215	0,566
DGT SGO 12-4	0,089	0,0704	4,53	0,00658	0,0369	0,1	0,194	11	10,7	1,6	0,915	0,0122	0,0465	1,09
DGT SGO 13-4	0,0767	0,114	2,19	0,00521	0,0233	0,0229	0,184	5,11	9,25	0,98	0,758	0,003	0,0688	1,44
DGT SGO 14-3			12,5	0,00495	0,0519	0,05	0,125	20,5	14,9	1,18	0,84	0,0081	0,478	1,24
DGT SGO 15-4	0,0754	0,123	5,21	0,00887	0,0487	0,0286	0,327	14,7	13,4	1,47	1,04	0,0112	0,0374	0,902
DGT SGO 16-4	0,0616	0,118	1,86	0,00671	0,0185	0,0127	0,146	4,7	5,01	1,67	0,671	0,00487	0,0818	1,05
DGT SGO 17-4	0,0557	0,0968	6,32	0,00943	0,0274	0,1	0,114	10,6	6,46	1,85	0,885	0,00447	0,0798	
DGT SGO 18-4	0,0572	0,111	1,9	0,00723	0,0201	0,05	0,192	4,17	8,18	1,39	0,836	0,0142	0,047	1,12
DGT SGO 19-4	0,0476	0,0651	0,5	0,00374	0,00873	0,05	0,0818	1,45	2,7	0,5	0,643	0,002	0,0311	0,5
DGT SGO 20-4	0,0602	0,0901	1,93	0,0659	0,0111	0,015	0,454	5,26	4,04	1,85	0,955	0,0126	0,0479	0,85
DGT SGO 21-4	0,0424	0,0576	6,96	0,00857	0,0257	0,0374	0,185	10,9	5,52	1,28	0,935	0,00973	0,0864	0,796
DGT SGO 22-4	0,0455	0,0463	2,72	0,00438	0,0271	0,0175	0,281	8,22	6,13	1,06	0,727	0,00784	0,0501	0,873
DGT SGO 23-4	0,0193	0,0247	0,845	0,00249	0,0133	0,015	0,124	2,8	3,77	0,918	0,566	0,00291	0,0498	0,83
DGT SGO 24-4			36,6	0,00707	0,0508	0,118	0,226	58,5	7,86	2,03	0,995	0,0303	0,0904	1,06
DGT SGO 25-4														
DGT SGO 26-4	0,0572	0,0511	30,5	0,00718	0,0519	0,108	0,173	47,1	9,58	1,8	1,18	0,0239	0,141	0,942
DGT SGO 27-4	0,0859	0,0772	13,8	0,00506	0,034	0,1	0,115	20,5	5,15	0,1	0,883	0,0158	0,173	1,72
DGT SGO 28-4	0,0534	0,041	4,57	0,00507	0,029	0,1	0,105	6,52	7,26	1	0,812	0,00767	0,21	1,43
DGT SGO 29-4	0,0778	0,108	3,76	0,0071	0,0345	0,1	0,112	7,05	7,89	1,97	0,934	0,00635	0,127	0,5
DGT SGO 30-4	0,054	0,0706	2,61	0,00434	0,018	0,1	0,138	4,96	3,72	1,13	0,797	0,00829	0,0822	
DGT SGO 31-4	0,0435	0,046	1	0,00409	0,0182	0,1	0,106	1,7	4,77	1	0,985	0,004	0,0627	1,08

STATENS VEGVESEN REGION ØST

Bruk av passiv prøvetakning (DGT) i miljøovervåkning av vassdrag under anleggsdrift

ERFARINGSNOTAT

ADRESSE COWI AS
Karvesvingen 2
Postboks 6412 Etterstad
0605 Oslo
TLF +47 02694
WWW cowi.no

INNHOOLD

1	Innledning	2
1.1	Om metodikken	2
2	Praktisk erfaringer fra prosjektet Rv. 4 Gran	3
2.1	Erfaringer med de ulike metallene	5
3	Forslag til forbedringer	6
4	Overvåkning av andre typer passive prøvetakere	7

OPPDRAGSNR.

A040603

DOKUMENTNR.

2.0

VERSJON

2.0

UTGIVELSESDATO

17.10.2016

BESKRIVELSE

Notat

UTARBEIDET

Halvor Saunes

KONTROLLERT

Roger M.
Koniczny

GODKJENT

Svein-Ole Åstebøl

1 Innledning

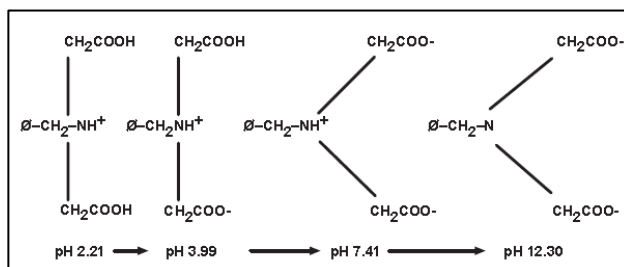
COWI ble høsten 2013 engasjert av Statens vegvesen Region øst i forbindelse med myndighetspålagt overvåkning av vassdraget Vigga i forbindelse med utbygging av ny Rv.4 og tunnel under Gran sentrum i Oppland fylke.

Tiltaket ville generere tunneldrivevann fra bergarter som karakteriseres som alunskifer. I tillegg skulle det etableres et deponi i et myrområde utenfor tunnelåpningen for slike alunskifermasser.

Formålet med undersøkelsen var å kartlegge vannkvaliteten i Vigga med hensyn på ulike metaller i vannforekomsten gjennom anleggsperioden 2014-2016. Resultatene fra overvåkingen er oppsummert i COWI-rapport: *Sluttrapport overvåking av Vigga ved bruk av DGT, 2016*.

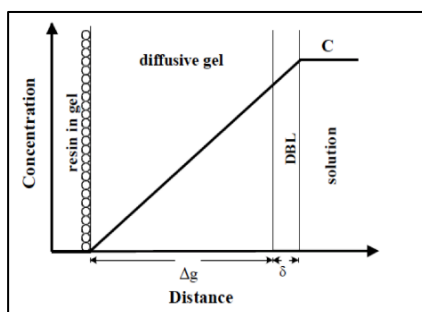
1.1 Om metodikken

DGT (*diffusive gradient in thin film*) brukes for kvantitative målinger av frie metallforbindelser og svakt bundet metallkomplekser i vann, såkalt biotilgjengelig fraksjon. En DGT-enhet inneholder en resin gel, f.eks. Chelex® 100 resin, som akkumulerer metallene *in-situ* ved diffusjon gjennom membranen over tid. Chelex® resin fungerer i vann som karakteriseres som basisk, nøytralt og svak syre fra pH 4 og høyere. Ved lav pH vil gelen fungere som en anion-bytter. Figur 1 viser ionendringer i Chelex 100 resin som følge av endringer i pH.



Figur 1. Endringer i struktur av Chelex® resin-gel som følge av økt pH.

Et skjematisk diagram over opptak av metaller i en DGT-enhet er vist i Figur 2. Opptak av metaller foregår helt til DGT-enheten har samme konsentrasjon av metaller som vannfasen. Optimalt skal DGT-enheten være plassert i vannmassen i et tidsrom på 1- 4 uker, for å kunne oppnå sammenlignbare data.



Figur 2. Skjematisk fremstilling som viser opptak av metaller i DGT-enheten.

Ved bruk av DGT oppnås et mer riktig bilde av forurensningstilførslene, da resultatene representerer en lengre tidsperiode og ikke et øyeblikksbilde, som ved tradisjonell vannprøvetakning (stikkprøver). Konsentrasjonen av løste og labile metaller ansees å være langt mer relevant enn totalkonsentrasjoner i et risikovurderingsperspektiv, da det i hovedsak er den løste andelen av metallene som er tilgjengelig for organismer som lever i vannet.

Konsentrasjonene av metaller i DGT-enhetene kan sammenlignes med EQS-verdier gitt i veileder M-608/2016 *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota*, som for metaller gjelder for partikkelfrie prøver og dermed kan overføres til DGT-målinger i vann. Bruk av passive prøvetakere til kartlegging av vannkvaliteten er en godkjent metode i henhold til EUs vanddirektiv.

DGT kan brukes for å måle de aller fleste metaller i vann. Det benyttes en egen DGT for opptak av metaller som opptrer som anioner (arsen, vanadium) og en motsvarende for kationer (jern, mangan, aluminium, kadmium, bly, kobber, krom, kobolt, uran, nikkel, sink, strontium, mm.). En egen DGT-enhet benyttes i tillegg opptak av kvikksølv.

Det er også nylig kommet egne DGTer på det kommersielle markedet for måling av biotilgjengelig fosfor og nitrogen.

For ytterligere beskrivelse av metode og veiledning henvises det til standard ISO 5667-23:2011 *Vannundersøkelse prøvetakning. Del 23: Veiledning for passiv prøvetakning fra overflatevann*.

2 Praktisk erfaringer fra prosjektet Rv. 4 Gran

Gjennom dette 2-årige overvåkningsprosjektet, men også andre mer kortvarige prosjekter, har COWI opparbeidet god erfaring når det gjelder passiv prøvetakning i vannforekomster. Generelle erfaringer fra dette prosjektet har vært:

- > Den aktør som får tildelt miljøovervåkingen i større utbyggingsprosjekter bør ha alle deloppgaver i overvåkningsprogrammet av vannmiljøet (både biologi og kjemi). Slik kan man best mulig dra nytte av de ulike datasett, observasjoner og sammenhenger på tvers i prosjektet.
- > Det bør alltid være tett samarbeid med koordinator for ytre-miljø hos oppdragsgiver/entreprenør. Videre bør det til enhver tid informeres om hvilke vannmengder som genereres og ulike prosesser på anleggsområdet, slik at man får bedre grunnlag for vurdering av observerte endringer av metaller i vannforekomsten. Når man måler metaller uten å kjenne de ulike prosessene i anleggsperioden, er det vanskeligere å trekke konklusjoner med hensyn på de observerte endringer i vassdraget.
- > Ved kun å benytte DGT (løst biotilgjengelig fraksjon) i overvåkingen, vil andre utslipp kunne maskeres, blant annet utslipp av suspender materiale, metaller bundet partikulært og/eller tungt løselige sulfider.

- > Overvåkning med bruk av passiv prøvetakning bør kun brukes som et supplement til annen pågående overvåkning (kontinuerlige loggere, tradisjonelle vannprøver, biologiske parametere) i prosjekter der det er risiko for utslipp av metaller til vann.
- > Logging av vannføring, turbiditet og pH vil være sentrale data for å kunne forklare eventuelle endringer av metallforekomster i vannmassene.
- > I overvåkingen av Vigga ble all innhenting og utsetting av DGT'er utført av COWI-personell. COWI ønsket å ha kontroll på eventuelle feilkilder og at utplassering/innhenting og levering på lab ble foretatt på riktig måte. Ved fremtidige prosjekter kan for eksempel koordinator for ytre-miljø på anlegget gjøre selve utskiftningen av DGT (med opplæring fra konsulent) og at man da kan øke antall stasjoner og antallet DGT-enheter per stasjon (tidsoverlappende prøvetaking), noe som styrker datagrunnlaget.

Fordeler

- > I et risikoperspektiv er metodikken mer egnet enn målinger ved tradisjonelle vannprøver. Med dette menes den aktuelle biologiske risikoen for eksponering fra metaller, da porestørrelsen på DGT-enheten tilsvarer naturlige biologiske membraner. Hydratiserte ioner og svake komplekser er ofte mer biotilgjengelig enn sterkere komplekser og metaller bundet til partikler.
- > Passiv prøvetakning måler gjennomsnittskonsentrasjonen av metallene i vannmassene over den perioden de er utplassert, i motsetning til tradisjonelle vannprøver, som kun måler et øyeblikksbilde og gir svært dårlig oppløsning.
- > Det er også en rekke praktiske fordeler ved bruk av passive prøvetakere knyttet til ressursbruk, prøvebehandling (utplassering/innsamling, transport, lagring), analyseteknikk (batchproblematikk), osv. I prinsippet skal en tradisjonell vannprøve ideelt sett være i laboratoriet og analysert innen 24 timer. DGT-enheter f.eks. fra en tilstandsovervåking kan fortløpende lagres nedkjølt over lengre perioder og analyseres samlet.

Feilkilder/ utfordringer

- > Begroing av DGT-enheten kan forekomme dersom den står ute i lengre tid. Dette vil påvirke opptaket av metaller og dermed analyseresultatene. En eksponeringsperiode på maksimalt 3 uker i vår- og sommerhalvåret er ideelt og anbefales.
- > Gjennom året vil vannstanden i de aller fleste vassdrag variere betydelig. Utfordringer med utplassering og innhenting av DGT-enhetene vil kunne oppstå. Man bør sikre DGT-enheten med tau i vannkanten, samt å bruke moring med tilstrekkelig tyngde til bunnen.
- > Valg av prøvestasjon bør vurderes med hensyn på HMS og egnethet for utsetning/innhenting av utstyr og variasjon i vannføring, for eksempel en

bakevje, men lavere strømhastighet hvor det til enhver tid er vann. For sterk vannstrøm kan også ødelegge filteret og gelen inne i DGT-enheten.

- > I vinterhalvåret vil det kunne oppstå nedising av utplassert utstyr, samtidig som vannføringen er lav. I Rv. 4-prosjektet ble DGT-enheten plassert i djupålen i Vigga rett over bunnen, for å unngå at det dannes is på prøvetakerne. Denne faktoren vil selvfølgelig varierer fra prosjekt til prosjekt.
- > For å unngå sabotasje bør valg av prøvestasjon heller ikke være på steder hvor DGT-enheten er lett synlig. Dette reduserer risiko for at uvedkommende fjerner utstyret. Alt utstyr bør merkes med navn og telefonnummer på kontaktperson.

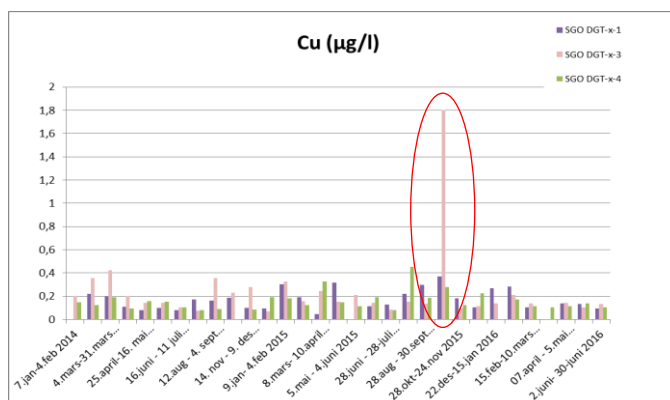
2.1 Erfaringer med de ulike metallene

Vår erfaring fra Vigga er at miljøovervåkning med DGT egner seg for de aller fleste metaller. Målingene viste tydelig variasjoner mellom stasjoner og de respektive prøveomgangene. Enkelte metaller viste også betydelige sesongvariasjoner (mangan, strontium), mens andre metaller viste tydelige endringer i forekomstene som følge av utslipp fra tunneldriften.

Metallene i overvåkningen som viste størst sensitivitet med tanke på utslipp fra anleggsdriften langs Vigga, var arsen, uran og nikkel. For andre metaller, slik som kobber, kadmium og krom, viste resultatene liten variasjon mellom hver prøverunde og indikerte ikke påvirkninger fra anleggsdriften. For metallene krom, kadmium, bly og sink var også konsentrasjonene i flere tilfeller under deteksjonsgrensen for analysemetoden på laboratoriet.

Når det gjelder bruk av DGT for kvikksølv er konsentrasjonene tilnærmet like og generelt lave i alle prosjekter COWI har benyttet disse. Dette kan muligens ha med at kvikksølv har størst opptak ved lav pH. Kvikksølv bør likevel tas med der det er mistanke til kilder og/eller utslipp.

I Vigga ble det ved flere måleperioder påvist en eller flere enkeltkonsentrasjoner som ble ansett som "mistenkkelig" høye sammenlignet med øvrige målinger av samme metall, såkalte "uteliggere" i datasettet. Se Figur 3 for kobber som eksempel. Det er usikkert om dette skyldes feil i analysemetodikk, prøvebehandling eller om dette er det faktiske analyseresultatet.



Figur 3. Langtidsserie av kobber ($\mu\text{g/l}$) ved bruk av DGT i elva Vigga i Gran kommune.

I prosjektet Rv.4 med overvåkning av Vigga var hensikten å måle påvirkninger henholdsvis fra tunneldrivevann og alunskiferdeponiet. Alunskifer er som kjent rikt på metallsulfider og mange metaller danner både salter og komplekser. Mobilisering av metaller er påvirket av flere faktorer, blant annet pH og redokspotensialet (E_h) jfr. Tabell 1.

Selv om sterke komplekser, kolloider og metaller bundet til partikler ofte er mindre biotilgjengelige kan de også være potensielt mobile siden metallene endrer egenskaper under ulike miljøforhold. I Vigga er det relativt høy pH (7,5-8,5). Enkelte metaller binder seg lettere til sulfid enn andre, danner tungløselige forbindelser, slik som for eksempel jernsulfid og kobbersulfid og dermed påvirker opptaket.

Figur 4. Oversikt over tilstandsformer for metaller ved ulike pH i vann.

	pH = 4		pH = 7		pH = 10	
	Oksiderende miljø	Reduserende miljø	Oksiderende miljø	Reduserende miljø	Oksiderende miljø	Reduserende miljø
Natrium	Na^+	Na^+	Na^+	Na^+	Na^+	Na^+
Magnesium	Mg^{2+}	Mg^{2+}	Mg^{2+} , MgSO_4^0 (sw)	Mg^{2+} , MgSO_4^0 (sw)	Mg^{2+}	Mg^{2+}
Kalsium	Ca^{2+}	Ca^{2+}	Ca^{2+} , CaSO_4^0 (sw)	Ca^{2+} , CaSO_4^0 (sw)	Ca^{2+}	Ca^{2+}
Krom	HCrO_4^-	CrOH^{2+}	HCrO_4^- , CrO_4^{2-}	CrOH^{2+} , $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$	CrO_4^{2-}	$\text{Cr}(\text{OH})_4^-$
Mangan	Mn^{2+}	Mn^{2+}	MnO_2^0 , MnCl^+ (sw)	Mn^{2+} , MnCl^+ (sw), MnSO_4 (sw)	MnO_2^0	MnCO_3^0
Jern	FeOH^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$	Fe^{2+}	$\text{Fe}(\text{OH})_3^0$	Fe^{2+} , FeCO_3^0	$\text{Fe}(\text{OH})_4^-$	FeOH^+ , $\text{Fe}(\text{OH})_2^0$
Kobolt	Co^{2+}	Co^{2+}	Co^{2+} , CoCO_3^0	CoCO_3	Co_3O_4	CoCO_3
Nikkel	Ni^{2+} , NiSO_4^0	Ni^{2+}	Ni_2^+ , NiHCO_3^+ , NiCl^+ (sw)	Ni_2^+ , NiHCO_3^+ , NiCl^+ (sw)	NiOH^+ , $\text{Ni}(\text{OH})_2^0$, NiCO_3	NiOH^+ , $\text{Ni}(\text{OH})_2^0$, NiCO_3
Kobber	Cu^{2+}	Cu^{2+}	Cu^{2+} , CuOH^+ , CuHCO_3^+ , CuCl^+	Cu^{2+} , CuOH^+ , CuHCO_3^+ , CuCl^+	$\text{Cu}(\text{OH})_2^0$, $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2^0$, $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{2-}$
Sink	Zn^{2+}	Zn^{2+}	Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})_2^0$, ZnCl^+ (sw)	Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})_2^0$, ZnCl^+ (sw)	$\text{Zn}(\text{OH})_2^0$	$\text{Zn}(\text{OH})_2^0$
Bly	Pb^{2+} , PbSO_4^0	Pb^{2+}	Pb^{2+} , PbOH^+ , PbHCO_3^+ , PbCl^+ (sw), PbSO_4^0 (sw)	Pb^{2+} , PbOH^+ , PbHCO_3^+ , PbCl^+ (sw)	$\text{Pb}(\text{OH})_2$, PbCO_3 , $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$	$\text{Pb}(\text{OH})_2$, PbCO_3 , $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$

3 Forslag til forbedringer

Vår erfaring er at man i et større overvåkningsprosjekt ikke bør ha et ensidig fokus på kun DGTer i vassdraget og at metodikken kun bør være et supplement til øvrig miljøovervåkning. Dette skyldes at metodikken ikke fanger opp alle eventuelle risikofaktorer som kan oppstå med hensyn på utslipp til vann. En

praktisk tilnærming der man inkluderer flere målemetoder eller optimaliserer bruk av DGT inkluderer:

- > Kombinasjonen med sedimentfeller konstruert for bruk i rennende vann (Figur 4). Slike sedimentfeller samler sediment som er under transport i vannforekomsten, både i vannsøylen og rullende langs bunnen. Sedimentfellene avdekker blant annet transport av mengden partikkelbunnede forbindelser i suspensjon.



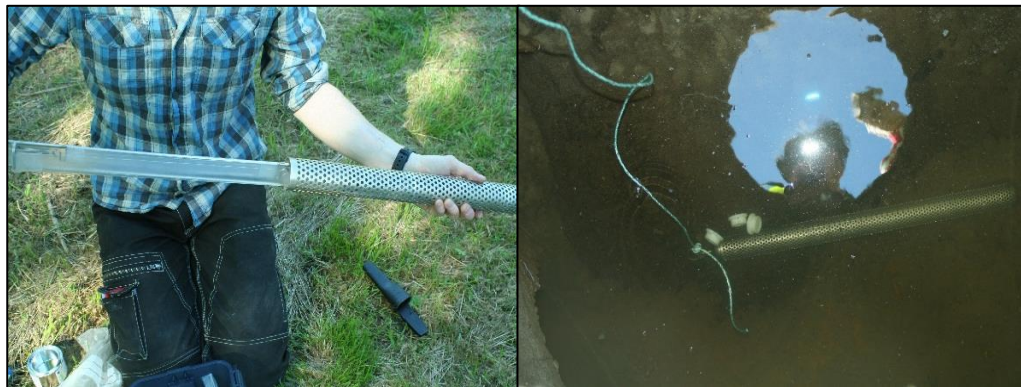
Figur 4. Sedimentfelle for rennende vann for prøvetakning av suspendert partikulært materiale.

- > Benytte overlappende sett med DGT-enheter ved hver stasjon, med eksponeringstid 2 uker, for å redusere sjansen for brudd i dataseriene.
- > Opplegg for å sikre prøvetakere bedre, ved for eksempel å sette DGTer i et spesialtilpasset "plastbur" for å redusere hastigheten på vannet som treffer filteret for dermed å redusere risiko for tap av gel inne i DGT.
- > I overvåkningen av Vigga ble all innhenting og utsetting av DGTer utført av COWI-personell. COWI ønsket å ha kontroll på eventuelle feilkilder og at utplassering/innhenting og levering til laboratoriet ble foretatt på riktig måte. I lengre overvåkingsprosjekter kan med fordel koordinator for ytre miljø på anlegget gjøre selve utskiftningen av DGT for å redusere kostnadene.

4 Overvåkning av andre typer passive prøvetakere

I overvåkningen av Vigga ble det kun målt for metaller. Det er også mulig å måle fettløselige organiske og polare organiske miljøgifter med passiv prøvetakning i vann ved bruk av SPMD (*semi permeable membrane device*) - og POCIS (*Polar organic chemical integrative sampler*) (Fig. 5). Det er mange potensielle forurensninger av denne typen som kan stamme fra vei- og tunnelanlegg (bla. søl av drivstoff, maskinolje og hydraulikk, asfaltlegging, osv.).

Fordelene ved å benytte SPMD- og POCIS-membraner er det samme som ved bruk av DGT, det vil si at man måler den biotilgjengelige gjennomsnittskonsentrasjonen i vannforekomsten. Med SPMD og POCIS får man i tillegg betydelig lavere deteksjonsgrenser sammenliknet med vanlige vannprøver, som hever kvaliteten på datasettet. Ved for eksempel kildesøk er derfor passive prøvetakere optimalt for å undersøke en mulig kilde.



Figur 5. Utplassering av SPMD-membran i vann for måling av organiske miljøgifter i et tidligere COWI-prosjekt.

Vedlegg A: Sjekkliste ved utsetting/innhenting av passive prøvetakere.

Utstyr for passive prøvetaking

OPPDRAG - OPPDRAGSGIVER			OPPDRAGSNR:
Oppdragsleder:		Feltarbeid:	Dato/sign:
NR.	KONTROLLPUNKT/AKTIVITET	X	MERKNADER
1	Utstyr		
1.0	Passive prøvetakere		
1.1	SPMD (Semi Permeable Membrane Device) – 2 typer (<i>EWL-PRC</i> og <i>EWH-Pharm</i>) for upolare organiske miljøgifter, PCB, PAH, TBT, osv.		SPMD og POCIS skal etter innsamling oppbevares frosset (-18°C) og DGT oppbevares i kjøleskap (+5°C) inntil forsendelse. Transporten til og fra prøvetakingslokalitet behøver ikke å tempereres.
1.2	POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) for polare organiske forbindelser, PFOS, MEG, etc.		
1.3	DGT (Thin film device), husk ulike for Hg, As og metaller (Me)		
1.4	Cannister (bur) med tilbehør for SPMD/POCIS. Avlangt bur for lav vannstand eller høyt bur for dypere vann.		
1.5	Tau 30-50 mm (helst synketau), flaggline, osv.		
1.6	Fiskesene 0,30-0,40 mm til DGT'er		
1.7	Blåser – for feste av passiv prøvetaker i sjø. Flytevekt 10-20kg		
1.8	Småblåser – for posisjonering av passiv prøvetaker i sjø		
1.9	Lodd (murstein/metallstang/jernbaneskinne/kjetting, etc.). Vekt minimum 20-30kg		
1.10	Fastnøkkel 10 mm, skiftenøkkel		
1.11	Kniv(er), saks, tang, el. for kutting		
1.12	Strips, minimum 3 stk. per prøvetakere. Flere størrelser 10cm, 15cm og 20cm		
1.13	Svivel – for passiv prøvetaker i sjø		
1.14	Tusjer for merking av blåser, DGT, osv.		
1.15	Tape, tørkepapir, zalo, avfetting blåser,		
1.16	Spade – for etablering av barrierer i bekker og sig		
1.17	Lykt, hodelykt for ledningsnett		
1.18	Kamera		
1.19	GPS og kart for posisjonering		
2	Utførelse		
2.1	Sjekke vanndybde og sjikt i vannsøylen		
2.2	Husk å merke DGT'er (Hg, Me, As).		
2.3	Merk prøvetakingsrigg i sjø med forsøk pågår, eier og tlf.		
2.4	Husk å oppbevar brukt emballasje for SPMD, POCIS og DGT for oppbevaring når disse hentes inn igjen. Membranene oppbevares nedfrost/nedkjølt før analyse.		
2.5	Merk av koordinater og plassering av prøvetakere. Ta bilder.		