

Oslofjord testfelt for sprøytebetong – etablering og fem års resultat

Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTAR

Nr. 570

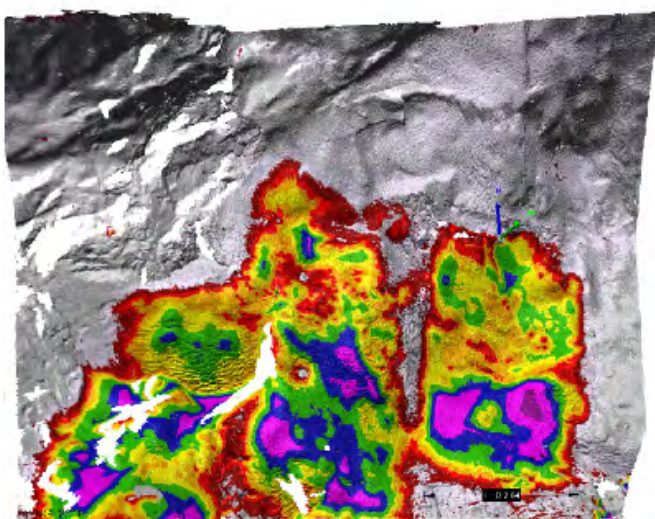
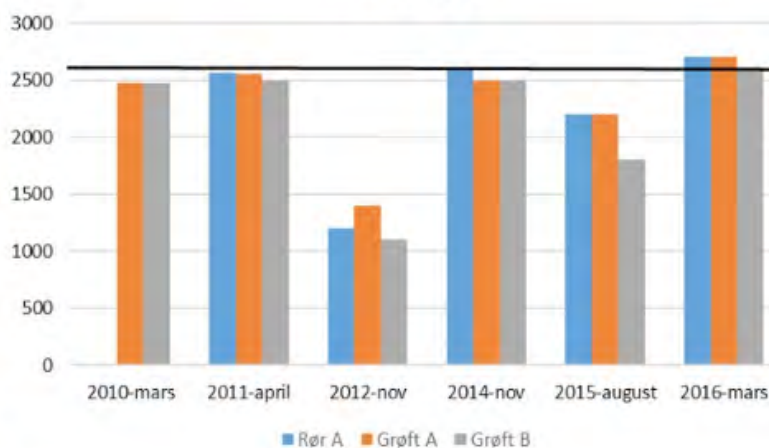


Foto: Per Hagelia



Sulfat (mg/L)



Tittel

Oslofjord testfelt for sprøytebetong
– etablering og fem års resultat

Undertittel

Forfatter

Per Hagelia

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 570

Prosjektleder

Synnøve A. Myren/Alf T. Kveen

Godkjent av

Synnøve A. Myren

Emneord

Varige konstruksjonar, sprøytebetong, betong, undersjøisk miljø, biofilm, tilstandsutvikling

Samandrag

Sprøytebetong brukt som bergsikring i Oslofjordtunnelen er påverka av svært aggressivt salt grunnvatn og syredannande biofilm. Oslofjord testfelt, etablert i 2010, omfattar sprøytebetong som bergsikring og utstøypte betongprøver nedlagd i grøfter. Eksponeringsmiljøet blei dokumentert på ulike tidspunkt. Rapporten gir oversikt over etableringa av feltet og resultat frå betonganalysar både før eksponering og etter fem års eksponering. Resultata er også samanlikna med eldre sprøytebetong frå andre delar av tunnelen. Planlagd avsluttande undersøking etter 10 års eksponering er utsett på ubestemt tid. Chalmers – Göteborg har utført mikrobiologiske undersøkingar av biofilm.

Title

The Oslofjord test site for sprayed concrete
– establishment and five years results

Subtitle

Author

Per Hagelia

Department

Roads Department

Section

Tunnel, geology og concrete

Project number

603242

Report number

No. 570

Project manager

Synnøve A. Myren/Alf T. Kveen

Approved by

Synnøve A. Myren

Key words

Durable structures, sprayed concrete, concrete, subsea environment, biofilm, durability development

Summary

Sprayed concrete used for rock support in the Oslofjord subsea tunnel is influenced by very aggressive saline ground water and acid generating biofilm. The Oslofjord test site, established in 2010, comprise sprayed concrete as rock support and cast concrete test samples deployed in ditches. The exposure environment was documented at different times. This report summarises the establishment of the test site and provides results from concrete analyses before exposure and after five years exposure. The results were also compared with older sprayed concrete from elsewhere in the tunnel. Final investigations planned after 10-year exposure have been postponed. Chalmers – Gothenburg performed microbiological investigations of biofilm.

Innhold

1	Innleiing	4
1.1	Oslofjord testfelt for sprøytebetong	6
1.2	Målsetting og avgrensing	7
2	Etablering av testfeltet i 2010	8
2.1	Bakgrunn	8
2.2	Forhold under etableringa og reseptar brukt i testfeltet	11
2.3	Sprøytebetong i Felt 1, Felt 2 og Felt 3	13
2.4	Eksponerte prøver i grøfter og tunnelluft	14
3	Resultat	16
3.1	Oversikt	16
3.2	Eksponeringsforhold i testfeltet – analysar av vatn i felt og laboratorium	16
3.2.1	Klassifisering basert på NS-EN 206 og andre forhold i testfeltet	16
3.2.2	Feltanalysar – Felt 1, Felt 2 og Felt 3	18
3.2.3	Feltanalysar – Rør A, Grøft A og Grøft B	19
3.2.4	Laboratorieanalysar av grøftevatn 2010–2016	22
3.3	Betonganalysar av sprøytebetong i Felt 1, Felt 2 og Felt 3	38
3.3.1	Innleiing	38
3.3.2	Trykkstyrke	38
3.3.3	Fiberinnhald	40
3.3.4	Resistivitet	41
3.3.5	Kloridinntrenging og fiberkorrosjon	45
3.3.6	Kapillær sugeshastigheit og porøsitet, PF metoden	52
3.4	Betonganalysar av prøver eksponerte i Grøft A og Grøft B	54
3.4.1	Trykkstyrke – karprøver	54
3.4.2	Fiberinnhald – karprøver	54
3.4.3	Resistivitet –karprøver	55
3.4.4	Kapillærsug og PF – karprøver	55
3.4.5	Plateprøver («A4»)	56
3.5	Betonganalysar av terningar eksponerte i tunnelluft	61
3.5.1	Trykkstyrke	61
3.5.2	Fiberinnhald	62
3.5.3	Resistivitet	63

3.5.4	Kloridinnhald	64
3.6	Petrografi, scanning elektronmikroskopi og røntgendiffraksjon	64
3.6.1	Sprøytebetong – Felt 1, 2 & 3	64
3.6.2	Prøver i Grøft A og Grøft B	78
3.7	Samanlikning av sprøytebetong og utstøpte prøver	83
3.7.1	Trykkstyrke	83
3.7.2	Fiberinnhald	83
3.7.3	Resistivitet	84
3.7.4	Kloridinnhald	85
3.7.5	Sugporøsitet og makroporøsitet.....	86
4	Samanlikning av Felt 1, 2 og 3 med sprøytebetong i hovudtunnelen: CEM II/A–V 42,5R versus CEM 1	88
4.1	Betongeegenskapar	88
4.1.1	Trykkstyrke og fiberinnhald	88
4.1.2	Resistivitet	89
4.1.3	Kappillærsug og porøsitet.....	90
4.1.4	Kloridinnhald	90
4.2	Nedbrytingsomfang og tykkelse av sprøytebetong	92
4.2.1	Resultat frå Oslofjord testfelt etter 5 ½ års eksponering	92
4.2.2	Resultat frå Oslofjord testfelt etter 10 års eksponering.....	95
4.2.3	Resultat frå servicetunnelen/pumpesumpen etter 5 ½ års eksponering	96
4.2.4	Resultat frå hovudtunnelen etter 5, 10 og 16 års eksponering.....	96
4.3	Fiber	98
4.3.1	Stålfiber	98
4.3.2	PP-fiber.....	101
5	Oppsummering og tankar om testfeltet	102
5.1	Oppsummering av resultata.....	102
5.1.1	Eksponeringsforhold	102
5.1.2	Betonganalysar.....	103
5.1.3	Petrografi, Scanning elektronmikroskopi (SEM) og røntgenanalyse (XRD)	103
5.1.4	Kan testing av utstøpte prøver erstatte monitorering av sprøytebetong?.....	104
5.1.5	Samanlikning av Standard FA og eldre resept i Oslofjordtunnelen	104
5.1.6	Stålfiber versus PP-fiber.....	104
5.2	Vidare undersøkingar	105

6	Referansar.....	107
---	-----------------	-----



«We have an interest in the design of structures so that effects from degradation is minimized»

Vagn Askegaard

1 Innleiing

Sprøytebetong er ein viktig del av bergsikringa i norske tunnelar. Statens vegvesen legg til grunn at bergsikringa skal vare i 100 år. Dimensjoneringa av tykkelse er avhengig av bergmassekvaliteten, som klassifiserast etter Q-metoden (NGI 2015). Statens vegvesen har eit langsiktig eigarskap til tunnelane og det er derfor avgjerande at dimensjoneringa av bergsikringa er tilpassa dei aktuelle miljølasterne. Betongstandarden (NS-EN 206) definerer ei rad eksponeringsklassar for betongkonstruksjonar og knytter desse opp mot betongreseptar som er tilpassa miljølasterne. Dersom ein følger dette systemet lovar standarden 100 års levetid for betong generelt.

Erfaring viser derimot tydelege teikn på at levetida for sprøytebetong i kontakt med aggressive vassmiljø kan bli vesentleg mindre enn 100 år, særleg innan nærmare avgrensa område. Eksponeringsforholda for sprøytebetong brukt som bergsikring er generelt mykje meir variable og komplekse enn eksponeringsforholda for brubetong (Hagelia 2008a, b). Effektar av nedbryting, og dermed restlevetida til sprøytebetong i tunnelar, er avhengig av fleire forhold:

- Vassmiljø: Tilgangen på vatn med relativt høge konsentrasjonar av bl.a. Cl, sulfat, magnesium *og/eller* låg pH styrer graden av nedbryting over tid, og kan gje gode vekstforhold for skadeleg biofilm
- Materialeigenskapar og design: relativt tykke sprøytebetonglag og «tett» betong gir større motstand mot påverknad av aggressive vatn
- Hydrogeologi: inntrenging av aggressivt vatn aukar i takt med vasstrykk og førekomst av vatn
- Bergmassestabilitet: deformasjonar kan føre til opprissing og auka inntrenging av vatn
- Forhold i tunnelrommet: partiklar, avgassar og effektar av fordamping

NS-EN 206 vurderer ikkje alle desse eksponeringsforholda. Ein bør vere særleg merksame på at standarden ikkje omtalar hydrologiske og hydrogeologiske forhold. Fordamping av lekkasjevatt i tunnelrommet kan også føre til at vatnet blir meir aggressivt enn lekkasjevatt frå berget (Hagelia 2008b). Førekost av biofilm og betydninga av biodegradering er ikkje nemnt i EN 206 (Hagelia 2008b, Bertron 2014).

Tilstanden til sprøytebetong i undersjøiske tunnelar er per i dag ikkje alarmerande, men det er likevel registrert rask nedbryting nokre stader. Dei eldste undersjøiske tunnelane med moderne sprøytebetong er nå vel 30 år gamle. Undersjøiske tunnelar er undersøkte på ulike tidspunkt frå alder 5 år til 26 år. Det viser seg at dei lokale eksponeringsforholda er mest viktig for tilstandsutviklinga, med tydeleg nedbryting etter bare 4–5 år nokre stader (Hagelia 2011a, 2018, 2019). Det er på desse stadane snakk om svekking av sprøytebetongen ved omvandling av sementlimet, med lokal stålfiberkorrosjon som følgeskade. Omvandling og nedbryting i undersjøisk sprøytebetong er knytta til salt lekkasjevatt. Den potensielt mest aggressive forma for nedbryting i undersjøisk miljø er observert under biofilm som akkumulerer der lekkasjevatt trengjer gjennom sprøytebetonglaget og breier seg utover betongoverflata mot tunnelrommet. Relativt tynn sprøytebetong (<5–6 cm) med biofilm viser lokalt full oppløysing av ytre 1–2 cm etter få år, under samtidig angrep frå sulfat, magnesium og klorid frå salt grunnvatt.

Undersøkingar har vist at aggressivt saltvatt i undersjøiske tunnelar trengjer inn i sprøytebetongen, både frå berg via heftsona og gjennom sprekker som fører saltvatt utover overflata i tunnelrommet. Tidlege undersøkingar i Flekkerøytunnelen (Hansen 1996) tyda på at det i nokre område kunne vere samanheng mellom nedbryting av sprøytebetong og bakterievekst (ofte feilaktig kalla «algar»). Undersøkingar frå og med 2004 viste at dette definitivt var tilfelle: det er her snakk om ein ny nedbrytingsmekanisme (Hagelia 2007). *Biofilm* med stort innslag av jern- og mangansbakteriar på betongoverflater i tunnelrommet har lokalt ført til forsterka nedbryting av sementpastaen og destruktiv stålfiberkorrosjon etter mindre enn 5 år. Slike angrep er påvist i Oslofjordtunnelen, Freifjordtunnelen og Flekkerøytunnelen (byggeår hhv. 1999, 1991 og 1988).

Mekanismane bak biofilm-angrepet omfattar forsuring av vatt i kontakt med biofilmen som fører til utluting av sementlimet under mangan- og jernrik biofilm. Utluting og auka porøsitet opnar for infiltrasjon av salt grunnvatt. Dette fører til magnesiumangrep, thaumasitt sulfatangrep og karbonatisering («Popcorn kalsitt» ei destruktiv form for intern karbonatisering uavhengig av luft). Utfellingar av mangan- og jernoksid (biomineral), samt magnesiumhydroksid (brucitt) og karbonatmineral (kalsitt, magnesiumførande kalsitt, magnesitt og aragonitt) og gips er vanleg (Hagelia 2007, 2011b). Dette gir redusert pH i betongen og auka porøsitet med tilgang på oksygen som fører til stålfiberkorrosjon.

I FoU-programmet «Riktig bruk av sprøytebetong i tunnelar» (1995–1997) blei det for første gong lagt fram systematisk dokumentasjon med vekt på sprøytebetong brukt som bergsikring i ulike miljø. Stålfiberarmeringa var oftast i ein god tilstand og berre korrodert i overflata mot tunnelrommet i samband med karbonatisering (Davik 1997b; 1998). Stålfiberkorrosjon frå salt grunnvatt i undersjøiske tunnelar blei likevel dokumentert i tynne sprøytebetongsjikt. Kloridinnhaldet var ofte godt over 0,1 % av betongvekta, medan stålfiberen i relativt tykkare

sprøytebetong var utan korrosjon. På dette tidspunktet var dei fleste undersøkte undersjøiske tunnelane godt under ti år gamle og det var vanskeleg å konkludere om den vidare tilstandsutviklinga. Prosjektet oppsummerte med at det var særleg *behov for oppfølging av både fiberkorrosjon og nedbrytingsmekanismer i undersjøisk sprøytebetong* (Davik 1997f).

FoU-programmet «Varige konstruksjonar» (2012–2015) gjennomførte undersøkingar av tilstanden til sprøytebetong i tre undersjøiske tunnelar (Mannvit 2015a, 2015b, 2015c, 2016). Varige konstruksjonar hadde aktivitetar innan miljølaster og oppsummering av resultat frå tilstandsundersøkingar frå ca. 1990 til 2014 (Hagelia 2016, 2018a). Betongreseptane i dei undersjøiske tunnelane var basert på CEM 1, w/b = 0,42–0,47, silikastøv (SF) = 1–14 %, oftast 5–8 % (SF rekna i % av sementvekta med verknadsfaktor 2). Det var brukt vassglas eller alkalifri styrkningsakselerator. Tilslaga var ikkje reaktive, verken med tanke på alkalireaksjonar eller internt sulfatangrep.

I samband med revisjon av dimensjoneringsreglane i 2007 blei det bestemt at fibertilsetting i undersjøisk sprøytebetong skulle vere inert (ikkje stålfiber), medan det var fritt fram å velje mellom stålfiber eller ikkje korrosiv fiber i alle andre miljø (sjå Statens vegvesen 2007 og Kompen 2008). Formuleringa var som følger: *«Hvor det forventes store deformasjoner og/eller meget korrosivt miljø (for eksempel undersjøiske tunneler), benyttes syntetiske fiber av ikke-korrosivt materiale, for øvrig velger entreprenøren fritt mellom stålfiber og syntetiske fiber»*. Kloridinntrenging i sprøytebetong med Cl–konsentrasjonar langt over 0,1 % var årsaka til endringa. Dokumentasjon av nedbryting og fiberkorrosjon under våt biofilm forsterka argumenta for endringa til inert fiber i kontakt med aggressivt salt grunnvatn (Hagelia 2008).

Endringa førte til sterkt auka bruk av makro–PP fiber også i ferskvassmiljø. Seinare erfaringar med prelltetap og omfattande forsøpling av strender og sjø førte til at Statens vegvesen i 2015 la ned forbod mot plastfiber og igjen introduserte stålfiber som einaste tillatne (Statens vegvesen, 2015: Handbok R761 Prosesskode 1). Den konkrete bakgrunnen for endringa var erfaringa frå bygging av Ryfast tunnelen. Fylkesmannen i Rogaland la ned forbod mot fortsatt bruk av makro–PP fiber på veganlegget. Statens vegvesen fekk ei bot på 450 000 kroner og krav om å fjerne store mengder fiber langs strendene (Myren mfl. 2018).

Undersøkingar av «moderne sprøytebetong» (dvs. våtsprøyta M40 og M45) over vel 25 år har vist at stålfiberen held seg uventa frisk trass i varierende og svært høge kloridverdiar i undersjøisk sprøytebetong (Holm 2011a,b, Mannvit 2016, Hagelia 2018a). Sjølv om Statens vegvesen vil bruke stålfiber i lang tid framover er det nødvendig å halde seg orientert om nye fibertypar som kjem på marknaden og undersøke kva dei duger til.

1.1 Oslofjord testfelt for sprøytebetong

Oslofjord testfelt for sprøytebetong blei etablert som aktivitet i FoU-programmet «Moderne vegtunneler» i 2010. Feltet består av ulike sprøytebetongreseptar, fordelt på tre felt på tunnelvegg og utstøpte prøver plasserte i grøftevatn. Oppfølging med laboratorieprøving etter fem års eksponering blei vidareført i FoU-programmet «Varige konstruksjonar» (2012–2015). Testfeltet var planlagt følgt opp til 2020 med laboratorieprøving av utbora sprøytebetong og utstøpte prøver. Dette er nå utsett på grunn av manglande FoU–midlar for 2020 og 2021. Det er fullt muleg å bruke testfeltet i mange år framover.

I mars 2013 blei det etablert eit testområde for bergboltar i tilknytning til testfeltet for sprøytebetong (Klemetsrud 2016). Frå og med hausten 2015 blei Oslofjord testfelt for sprøytebetong innlemma i ein PhD-studie innan mikrobiologisk påverknad på betong ved Chalmers Tekniske Universitet i Gøteborg. Dette arbeidet er delfinansiert av E39 programmet. Resultata hittil er publiserte i eit Licentiat arbeid (Karačić 2018) og fagartiklar (Karačić mfl. 2016; Karačić mfl. 2018, Karačić mfl. 2019).

I mars 2016 blei det lagt ned prøver av seks ulike fibertypar for direkteeksponering i grøftene i testfeltet. I juni 2019 blei det støypt ut plateprøver med ulike fibrar og plassert i dei same grøftene. Desse prøveseriane blei utplasserte for langtidseksponering og vil bli undersøkt om nokre år.

1.2 Målsetting og avgrensing

Denne rapporten bygger i hovudsak på resultat frå 2010 til 2015, og tar ikkje sikte på å trekke vidtrekkande konklusjonar om sannsynleg tilstandsutvikling. Målsettinga er å:

- gi ei oppsummering av bakgrunn, prøvingsfilosofien og planar for etableringa Oslofjord testfelt for sprøytebetong i 2010
- dokumentere forhold under etableringa og reseptar brukt i sprøytebetongfelta og prøver lagd ut i grøftevatn i mars 2010
- rapportere betongeigenskapane til sprøytebetong og utlagde prøver før eksponering
- rapportere betongeigenskapane til sprøytebetong og utlagde prøver etter 5 ½ års eksponering i september 2015
- rapportere utviklingstrekka, hovudsakleg i tida 2010 til 2015 samt enkelte observasjonar og undersøkingar fram mot 2020, med vekt på eventuelle endringar i eksponeringsmiljø/vasskjemi, utfellingsprodukt og biofilm
- samanlikne resultata frå testfeltet med eldre sprøytebetong i Oslofjordtunnelen

Hovudresultata frå betonganalysar og vasskjemisk analyse (eksponeringsmiljø) er framstilt i diagram som vil bli oppdaterte etter nye undersøkingar på eit seinare tidspunkt. Sprøytebetongreseptane i testfeltet er basert på NORCEM Std. FA, medan sprøytebetongbergsikringa frå 1999 i den undersjøiske delen av tunnelen var basert på ei blanding av NORCEM Standard sement (70 %) og NORCEM Industrisement (30 %). Tilstandsutviklinga til sprøytebetongbergsikringa frå 1999 er undersøkt fleire gonger i tidsrommet 2004 til 2015. Dette har gjort det muleg å vurdere effektar av nedbryting under omtrent same eksponeringsforhold.

2 Etablering av testfeltet i 2010

2.1 Bakgrunn

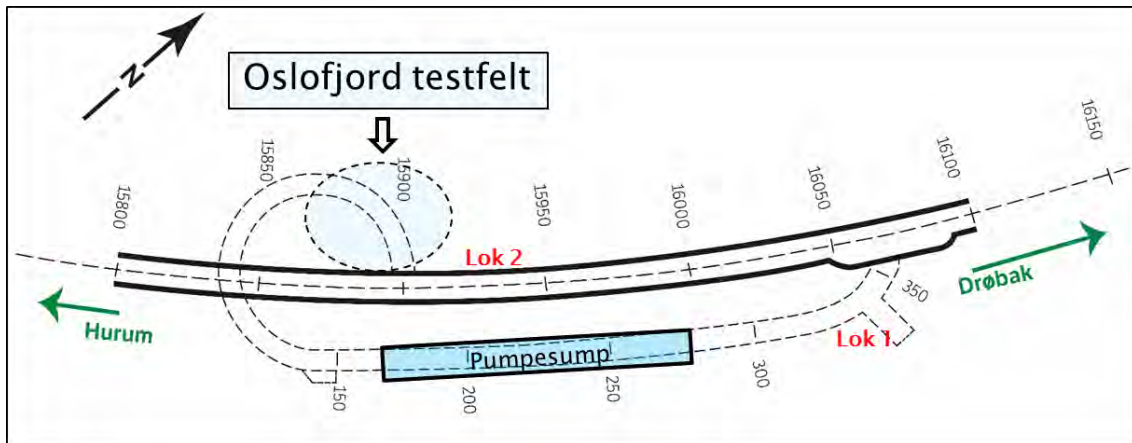
Erfaringane med undersjøisk sprøytebetong har vist at det er nødvendig med systematiske undersøkingar av nedbrytingsmekanismane som verkar og kva for design parametrar (betongresept, tykkelse) som motverkar nedbrytinga. Statens vegvesen vurderte derfor å etablere eit testfelt for sprøytebetong i aggressivt undersjøisk miljø, nærmare bestemt på ein stad der det var påvist tydeleg nedbryting. Hovudfilosofien var inspirert av undersøkingane til Alunskiferutvalget (1947–1974) og testfeltet «Blindtarmen» under Wessels plass i Oslo, som var lokalisert i aggressivt alunskifermiljø (Bastiansen mfl. 1957).

Det blei i 2010 sett opp følgjande kriterium for val av lokalitet for nytt testfelt i undersjøisk tunnelmiljø:

- Etablering og monitorering over tid må kunne gå føre seg uforstyrra av trafikk
- Eksponeringsmiljøet må vere salt grunnvatn med førekomst av aggressiv biofilm
- Tidlegare sprøytebetong på staden må vise tydeleg teikn på rask nedbryting og vere våtsprøyta med «moderne» resept
- Erfaringsdata frå sprøytebetong brukt som bergsikring må ligge føre for samanlikning med utviklinga i testbetongen
- Sprøytebetongfelta må etablerast med ulik tykkelse.
- Testområdet må ha høgt fuktnivå, tilsvarande det som er normalt bak vass- og frostsikringskvelv i undersjøiske tunnelar
- Det må vere muleg å utføre pH målingar og innsamling av vassprøver over lang tid for dokumentasjon av eksponeringsmiljøet
- Det må vere muleg å sprøyte opp felt med ulik reseptar og samtidig plassere prøver av same reseptar i grøftevatn og tunneluft med tanke på samanlikning
- Prøvematerialet for eksponering i grøfter og tunneluft må vere stort nok for å kunne utføre laboratorieunderskingar etter både 5 års og 10 års eksponering

Statens vegvesen valte å etablere testfeltet i ein omløpstunnel godt beskytta av trafikk og elles med forhold som er typiske for svært aggressive forhold i undersjøisk miljø (Figur 1). Opphavleg betong var i 2010 omkring 11 år gammal og delvis sterkt påverka av bakteriell nedbryting knytta til spreidde tunnellekkasjar frå riss gjennom betongen (Figur 2, 3 og 4). Stalaktittar av kalsiumkarbonat med belegg av biofilm var under oppløysing på grunn av syre danna frå biofilmen (Figur 3). Lufta på staden er svært fuktig fordi omløpstunnelen står i direkte kontakt med pumpesumpen.

Sprøytbetongfelta blei etablerte i eit område der nedbryting av 1999-betong under biofilm var mest svekka. To grøfter med ulik vassføring og farge (rustbrun og mørk farge) blei reservert for utstøpte prøver for testing i laboratoriet. Det blei i tillegg plassert prøver for lufteksponering på ein betongbankett rett bak tunnelkvelvet. Testfeltet har omtrent same eksponeringsforhold som tidlegare etablerte lokalitetar for monitorering og testing av sprøytebetong «som bygd» i same område av tunnelen (Lok 1 og Lok 2; Figur 1). Lokaliseringa av sprøytebetongfelta og eksponerte prøver (grøftene A og B og bankett) er vist i Figur 5.



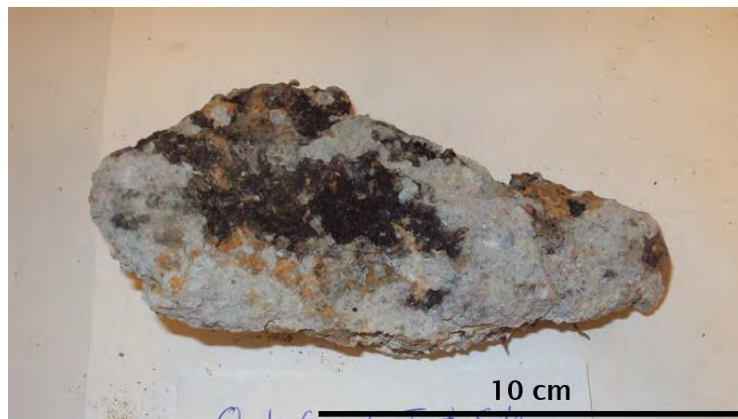
Figur 1. Oslofjord testfelt for sprøytebetong er lokalisert i omløpstunnelen ved pel 15850–15900. Sprøytebetongbergsikringa frå 1999 («som bygd») er undersøkt ved Lok 1 og Lok 2 fleire gongar mellom 2004 og 2020 (Hagelia 2011b, 2018a,b Holm 2011c, Karačić 2020).



Figur 2: Tilstand før etablering av testfeltet (2010). Nedbryting av opphavleg sprøytebetong under Mn og Fe rik biofilm. Tørrare område var tilsynelatande intakte. Den 11 år gamle stålfiberarmerte sprøytebetongen blei meisla bort før etableringa av tre testfelt for sprøytebetong. Foto: Reidar Kompen.



Figur 3: Tilstanden før etableringa av testfeltet (detalj). Sterk nedbryting av opphavleg sprøytebetong (M45, B45) med manganrik (mørk) og jernrik (brun) biofilm utanpå kalkstalaktittar. Betongalder 11 år. Foto: Per Hagelia.



Figur 4: Prøve av ytre avskala sprøytebetong frå 2010 før testfeltet blei etablert: Øvst: Omdanna og svak sprøytebetong under biofilm med utfelling av manganoksid (svart) og jernoksid (brunt) langs indre brotflate: ytterflata vender ned. Lys betong er kraftig karbonatisert med utfelling av kvite flekker av magnesium hydroksid (brucitt); destruktiv fiberkorrosjon (lysbrune flekker) og teikn på sulfatangrep. Nedst: Tverrsnitt av same prøva viser nedbryting og svekking av tverrsnittet (4–5 cm). Betongalder 11 år. Foto: Per Hagelia.

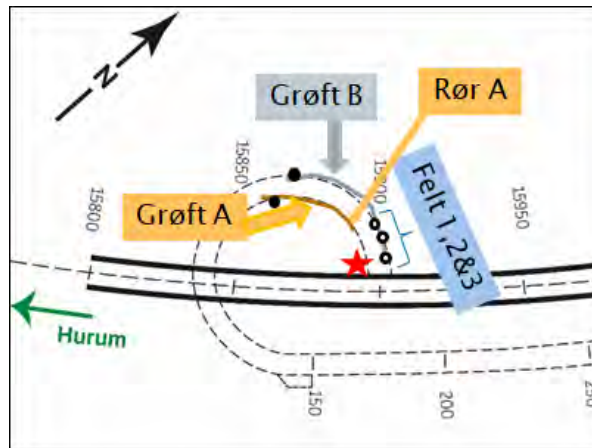
2.2 Forhold under etableringa og reseptar brukt i testfeltet

Testfeltet blei etablert i tidsrommet 3 mars til 1 juni 2010 etter grundige og detaljert planlegging (Vedlegg 1). Hovudtrekka er publisert av Hagelia (2011a; sjå Vedlegg 2). Tabell 1 gir oversikt over aktivitetane i samband med etableringa. Etter innleiande inspeksjonar blei det sett opp eit 6 meter høgt stillas framfor det utvalde området med tydeleg svekka sprøytebetong.

*Tabell 1: Etablering av Oslofjord testfelt. Reseptane M45/1 (Felt 1), M45/2 (Felt 2 og M40/3 (Felt 3) er vist i Tabell 2. *) Utstøyping av prøver blei utført suksessivt frå same blandingar som var sprøyta på vegg (Felt 1, 2 og 3).*

Aktivitet	Dato	Beskrivelse
Planleggingsmøte	2010/02/23	Detaljplan/praktisk
Inspeksjon i omløpstunnelen	2010/03/03	Detaljplan/praktisk
Rigging av stillas og vannmeisling	2010/03/04	Klargjering/meisling
Vannmeisling	2010/03/05	Fjerne 1999 sprøytebetong
LIDAR: Etablering av 3 ref. boltar og LIDAR-scanning	2010/03/05	Scanning av overflate etter meisling
Sprøyting (handsprøyting)	2010/03/05	Etablering av Felt 1, 2 & 3
Utsøyping av testprøver for eksponering i grøfter og tunnelluft	2010/03/05	Utsøyping i testområdet
Prøver henta og kjørt til Sentrallaboratoriet	2010/03/28	Testing av eigenskapar før eksponering
Utboring av sprøytebetong frå Felt 1, 2 og 3	2010/04/15	-2 kjerner, Ø100 x 200–250 mm frå kvart Felt 1, 2 & 3 (prøvene 1.1 & 1.2, 2.1 & 2.2 og 3.1 & 3.2)
Laboratorieprøving – alle prøver	2010 mars til mai	Betongeigenskapar før eksponering («nullmåling»)
Utplassering av prøver for testing av energiabsorpsjon i Grøft A	2010/05/05	-1 stk sprøytebetongplate, Ø600 x 100 mm (M40/3) -3 stk støypte plater, Ø600 x 100 mm (hhv M45/1, M45/2 & M40/3)
Utplassering av andre prøver Grøft A & B	2010/05/05	-6 stk støypte plater, 325 x 154 x 48 mm i kvar grøft (hhv M45/1, M45/2 & M40/3)
Utplassering av prøver for lufteksponering på bankett	2010/05/05	-3 sett á 2 terningar, 100 x 100 x 100 mm - 3 sett støypte plater 325 x 154 x 48 mm (hhv. M45/1, M45/2 & M40/3)
LIDAR-scanning	2010/06/01	-Scanning av sprøytebetong-overflata for Felt 1, 2 og 3
Utboring av sprøytebetong frå Felt 1, 2 og 3	2010/06/01	-1 kerne, Ø100 x 200–250 mm frå kvart Felt 1, 2 & 3 (prøvene 1.3, 2.3 og 3.3)
Utplassering av «karprøver» i Grøft A	2010/06/01	-3 store prøver støypte i kar etter utboring av sylindrar i laboratoriet for nullmåling (hhv M45/1, M45/2 & M40/3)

Den 11 år gamle sprøytebetongen blei så fjerna ved vannmeisling. Det viste seg at ytre 2–(4) cm under biofilmen var svært svak på grunn av nedbrytinga (Figur 2 og 3), og lett å meisle bort. Sprøytebetongen rett under var ofte også omvandla og svekka på grunn av sterk karbonatisering, magnesium inntrenging med teikn på sulfatangrep (Figur 4). Sprøytebetongen under dei svake ytre laga hadde ein ganske skarp overgang til sterkare betong, som dermed blei meir krevjande å meisle bort. Sprøytebetong, blant anna ved Lok 1 og Lok 2 (Figur 1), har vist tilsvarende nedbrytingsreaksjonar og svekking 5–15 mm under det svakaste ytre betonglaget (5 - 25 mm) under biofilm (Hagelia 2007; 2008a,b, 2011a,b;2018a,b).



Figur 5: Oslofjord testfelt. Felt 1, 2 & 3 med sprøytebetong på berg og kjerneuttak (opne sirkler). Grøftene A og B er reservert for eksponering av utstøpte prøver (svarte punkt). Det blei samla inn vassprøver frå Rør A og nær alle prøvelokalitetane, med unntak av banketten der prøver blei eksponerte i tunnelluft (stjerne).

Ut frå erfaringa med lokalt raskt nedbryting av sprøytebetongen (CEM 1) som er brukt som bergsikring i Oslofjordtunnelen valde ein å teste ut reseptar basert på Norcem Standard FA sement (CEM II/A–V 42,5R). Tabell 2 viser hovudforskjellane mellom dei tre reseptane som blei brukt på sprøytebetongfelta Felt 1 (resept 1), Felt 2 (resept 2) og Felt 3 (resept 3). Tabell 2 viser også resepten som blei brukt til bergsikring av den undersjøiske strekninga i 1999.

Sprøytebetongen på testfeltet blei handsprøyta og ein ønska derfor å unngå svært høge fiberdoseringar. Stålfiberdoseringa (EE-fiber, 18 mm) var sett til 20 kg/m³ og makro-PP fiberdoseringa (Barchip, svart) var 3 kg/m³. Sprøyteoperasjonen starta med Felt 1 og Felt 3 blei sprøyta opp sist. Testprøvene blei støypte ut suksessivt for kvar resept, og betongen blei pumpa ut rett frå slangane. På grunn av dei små betongvoluma var det ikkje til å unngå at nokre fibrar frå føregåande sprøyting satt igjen i slangane og dermed smitta over på neste felt. Dette gjeld både sprøytebetong og utstøpte testprøver. Intensjonen var at Felt 1 skulle sprøytast med makro PP-fiber, og dei to andre felta med stålfiber. På grunn av ei *misforståing* blei det i tillegg til PP-fiber lempa opp stålfiber også i Felt 1 som derfor fekk full dose av både stålfiber og PP-fiber. Det er muleg at denne fiberrike betongen på Felt 1 var seig og vanskeleg å sprøyte. Men arbeidet blei utført av ein erfaren entreprenør som normalt ville kompensere for dette. Felt 2, som var planlagt med stålfiber, måtte i all hast etablerast med PP-fiber i staden. Vedlegg 4 viser foto frå arbeidet i tunnelen.

Tabell 2 Sprøytebetongreseptar for Felt 1, 2 og 3 på tunnelvegg. Også prøver for eksponering i tunnelluft og grøftene A og B blei støypte ut direkte frå dei same blandingane (Vedlegg 3). Sprøytebetongresepten for bergsikringa i den undersjøiske delen av Oslofjordtunnelen frå 1999 er også vist («Som bygd»). SF oppgitt i % av sementvekt og v/b og bindemiddel basert på verknadsfaktor 2.

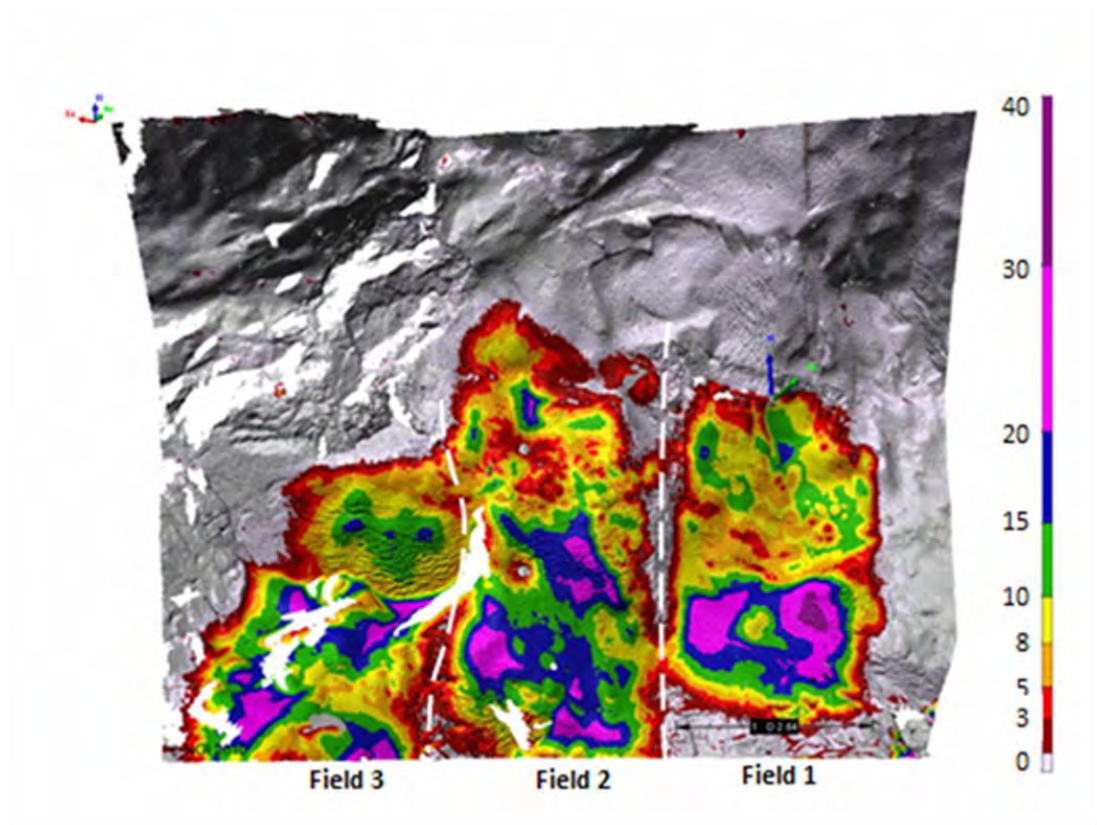
Resept	Sement	v/b	SF (%)	Bindemiddel (ekv.kg/m ³)	Fiber (kg/m ³)	Tilslag (kg)	Akselerator	Miljø-klasse
Felt 1	Std. FA	0,43	4	545	S & PP (20 & 3)	2961	Al-sulfat	M45
Felt 2	Std. FA	0,43	4	545	PP (3)	2961	Al-sulfat	M45
Felt 3	Std. FA	0,39	10	577	S (20)	3018	Al-sulfat	M40
1999 «som bygd»	Std. sem (70%) Industri (30%)	0,42	5	514	S (40)	Ca. 1640	Al-sulfat	M45

2.3 Sprøytebetong i Felt 1, Felt 2 og Felt 3

NGI utførte LIDAR-scanning av bergoverflata etter at sprøytebetongen frå 1999 var fjerna. Ny LIDAR-scanning blei utført etter fullført sprøyting av tre testfelt (Morgan, 2010: Vedlegg 5). Planen var å etablere omkring 10 cm tykk sprøytebetong i nedre halvdel av kvart felt (Felt 1, 2 og 3) og omkring 5 cm tykk betong i øvre halvdel. Erfaringar frå undersjøiske tunnelar er at relativt tynn betong nede på veggene blir fort svekka. *Bakgrunnen for å sprøyte opp tykkare betong nedst var å sikre lengst mogleg levetid for alle felta.*

LIDAR-målingane gav oss eit nøyaktig «tykkelseskart» (Figur 6). Det viste seg at sprøytebetongen var gjennomgåande tjukkare enn planlagt, men med god og relevant variasjon. Nedre halvdel varierer frå omkring 8–10 cm til vel 30 cm, medan øvre delar varierer mellom ca. 5 cm og 15 cm. Dette gjer det mogleg å bore ut kjerner på ein systematisk måte for å undersøke innverknaden av tykkelse på tilstandsutviklinga i Felt 1, 2 og 3, og samanlikne med utviklinga sprøytebetong brukt som bergsikring i Oslofjordtunnelen. Tilstandsutviklinga frå 1999 t.o.m. 2015, er dokumentert i FoU-programmet Varige konstruksjonar (Hagelia 2018).

Det blei bora ut kjerner frå kvart sprøytebetongfelt for analyse av utgangsegenskapar (Tabell 3). Vedlegg 6 viser foto av borepunktene, plasseringa i forhold til LIDAR-kartet, utbora sylindrar og dei utplasserte prøvene i grøftene A og B i 2010. Nokre utviklingstrekk er vist i Vedlegg 12.



Figur 6: LIDAR-scan utført før og etter etablering av sprøytebetongfelta. Betongen varierer mellom ca. 5 cm og 35 cm i alle felta. Kvite stipla linjer viser skiljet mellom Felt 1, Felt 2 og Felt 3.

2.4 Eksponerte prøver i grøfter og tunnelluft

Det blei laga til fleire typar prøver for eksponering i tunnelmiljøet. Kvar resept blei suksessivt laga av betong frå sprøyteriggen etter, inklusive Al-fri akselerator.:

- 1 standard plate (sjå Norsk Betongforening – Publ. nr. 7) med diameter 60 cm x 10 cm av M40S blei sprøyta opp for prøving av energiabsorpsjon (eksponert i Grøft A)
- 3 støypte plater av kvar resept (M45S+P, M45P og M40S) for prøving av energiabsorpsjon med diameter 60 cm x 10 cm (eksponerte i Grøft A)
- 3 sett terningar (10 x 10 x 10 cm) av kvar resept blei støypte ut i samsvar med prosedyrar i R210 Laboratorieundersøkelser (eksponerte for tunnelluft)
- 3 sett plater i A4 format og 4–5 cm tykke («A4-plater») av kvar resept blei støypte ut i samsvar med prosedyrar i R210 Laboratorieundersøkelser (eksponerte for tunnelluft)
- 3 sett «A4-plater» av kvar resept blei støypte ut i samsvar med prosedyrer i R210 Laboratorieundersøkelser (eksponerte i Grøft A og Grøft B)
- 3 store prøver av kvar resept støypte i plast-kar blei støypte ut i samsvar med prosedyrer i R210 Laboratorieundersøkelser («karprøver») ca. 40 x 30 x 20 cm (eksponerte i Grøft A)

Plateprøvene for energiabsorpsjon blei plasserte på høgkant ved sida av kvarandre i Grøft A slik at øvre delar aldri er neddykka i grøfta. Det blei ikkje laga parallelle prøver for testing av energiabsorpsjon før eksponering.

Terningprøvene blei plasserte på ein betongbankett med dominerande fuktig salthaldig tunnelluft med nokre sporadisk små drypplekkasjar. Terningprøvene blei ståande i formene i over tre veker i den fuktige tunnellufta før dei blei henta. *Avforming i laboratoriet etterpå viste at stålfornene var så sterkt korroderte at dei måtte kasserast* (Figur 7). Fleirtalet av terningprøvene hadde mista nummeret før utplassering. Vi merka derfor prøvene på sikker måte for å unngå samanblanding av parallellar etter eksponering. Eit sett terningar var reservert for analyse av utgangsegenskapar i 2010 (sjå Tabell 3).

A4 platene i Grøftene A og B blei plasserte på høgkant og blei med tida nesten heilt neddykka i grøftevatn. Eit sett A4 plater blei også plasserte saman med terningane for lufteksponering. Det blei ikkje utført analysar av A4 platene før eksponering.

Karprøvene blei plasserte i Grøft A og blei etter kvart fullt neddykka ettersom bakteriemengda auka med tida og demte opp. Prøvene var store nok til bore ut to stykker 75 mm sylindrar for analyse før eksponering og med plass for utboring etter 5 og 10 års eksponering. I 2010 blei det bora ut to sylindrar for «null måling» i laboratoriet før utplassering i Grøft A (Tabell 3).

Vedlegg 6 viser foto av alle prøvene etter dei blei utplasserte i 2010.



Figur 7: Terningane blei ståande i formene ute i tunnelen og eksponert for tunnelluft i tre veker. Tunnellufta er ekstremt korrosiv og førte til at formene måtte kasserast etter avforming i laboratoriet. Foto: Per Hagelia.

3 Resultat

3.1 Oversikt

Tabell 3 gir oversikt over dei ulike betongprøvene og betonganalyser utførte i 2010 (utgangsegenskapar) og i 2015 etter eksponering i 5,5 år. Vatn blei analysert ved fleire tidspunkt (sjå Kapittel 3.2). Opphavleg planlagt arbeid i 2020 er utsett på grunn av andre prioriteringar av FoU midlar.

Tabell 3: Oversikt over betonganalyser i 2010 (0), 2015 (5) og opphavleg *planlagde analyser* (10) etter 10 års eksponering i 2020. Prøver merka *spr* er sprøytebetong. *syl* = sylinder (bora ut).

Prøver	Eksponering	Trykkstyrke	Fiberinnhold	PF	Cl	Energiabsorb.	Resistivitet	Tynnsl. & SEM	XRD
Felt 1 <i>spr/syl</i>	Lekkasje m/bio	0/5/10	0/5/10	5/10	5/10		0/5/10	5/10	5/10
Felt 2 <i>spr/syl</i>	Lekkasje m/bio	0/5/10	0/5/10	5/10	5/10		0/5/10	5/10	5/10
Felt 3 <i>spr/syl</i>	Lekkasje Utan bio	0/5/10	0/5/10	5/10	5/10		0/5/10	5/10	0/10
Terningar	Tunnel-luft	0/5	0/5		5		0/5		
A4-plater	Grøft A		5/10	5/10	5/10		5/10	5/10	5/10
	Grøft B		5/10	5/10	5/10		5/10	5/10	5/10
Karprøver <i>syl</i>	Grøft A	0/5/10	0/5/10	5/10	10		0/5/10	10	5/10
Plateprøve <i>spr</i>	Grøft A	10	10	10	10	10	10	10	10
Platepr. støypte	Grøft A	10	10	10	10	10	10	10	10

3.2 Eksponeringsforhold i testfeltet – analyser av vatn i felt og laboratorium

3.2.1 Klassifisering basert på NS-EN 206 og andre forhold i testfeltet

Undersøking av tilstandsutvikling i betong må alltid bygge på relevant klassifisering av eksponeringsmiljøet. I samband med Oslofjord testfelt har vi tatt sikte på å gi ei best muleg karakterisering og klassifisering av eksponeringsforholda:

- Temperaturen i testområdet ligg på snaue 10 °C året rundt og er *skjerma for trafikkluft*
- Sprøytebetongfelta (Felt 1, 2 og 3; bergsikring på tunnelvegg) er påverka av salint *grunnvatn* med vekslende innslag av *biofilm* og elles generelt høgt fuktnivå og korrosiv saltholdig *tunnelluft*
- Støypte prøver plasserte i Grøft A er heilt eller delvis neddykka i *rennande* vatn med akkumulasjon jernbakteriar og partiklar
- Støypte prøver plasserte i Grøft B er heilt eller delvis neddykka i *stagnant* vatn med innslag av mangan- og jernbakteriar og høgt innhald av partiklar

- Støypte terningar plasserte på bankett for eksponering i fuktig *korrosiv tunnelluft*

I arbeidet med Oslofjord testfelt er det lagt vekt på:

- Klassifisering i samsvar med eksponeringsklassane i NS-EN 206
- Andre forhold, inklusive varierende påverknad av biofilm og lekkasjeforhold

Betongstandarden NS-EN 206 definerer eksponeringsklassar for kjemiske angrep på betong (dvs. sementlimet) og eksponeringsklassar for korrosjon på stål. Standarden omtalar ikkje eksempel med sprøytebetong som bergsikring og bygger neppe på erfaringar med tunnelbetong.

I samband med Oslofjord testfelt er det lagt vekt på måling av pH og prøvetaking av vatn og partiklar på fleire tidspunkt for å dokumentere eventuelle signifikante endringar i eksponeringsmiljø over tid. Det er gjort enkle observasjonar av endringar i a) lekkasjemønster, b) vassnivå i grøfter og c) akkumulasjon av biofilm (Kapittel 4 og Vedlegg 12).

Eksponeringsklassane i NS-EN 206 representerer grove kategoriar medan vekstvilkåra for biofilm/biodegradasjon og abiotisk angrep er styrt av fleire kjemiske parameterar enn det NS EN 206 legg til grunn. Dei kjemiske analysane av vatn i samband med monitorering av testfeltet (Vedlegg 9) er derfor meir omfattande enn det standarden krev.

Eksponeringsklasser for kjemisk angrep (XA-klasser) er i NS-EN 206 definert med utgangspunkt i kjemisk analyse av filtrerte vatn:

- pH
- sulfat (mg/L)
- magnesium (mg/L)
- ammonium (mg/L)
- karbondioksid (mg/L «aggressiv væske» = karbonsyre)

Eksponeringsklassar for metallkorrosjon ved karbonatisering (XC-klasser) og kloridpåverknad (XS-klassar) er i følge NS-EN 206 avhengig av *kontaktrelasjonar med luft, vatn og sjøvatn*, utan referanse til mengde oppløyst oksygen, CO₂-nivå eller kloridionekonsentrasjon. Desse eksponeringsklassane definerast på bakgrunn av verbale eksempel som er mest relevante for bygg og bruer. Indre karbonatisering og utfelling av såkalla Popkorn kalsitt (PCD) på grunn av diffusjon av vatn med bikarbonat er meir destruktiv; svekker sementlimet og blir meir porøs enn tilfellet er for ytre karbonatisering mot luft. *PCD* er nært knytta til utluting av kalsium og er lokalt viktig i sprøytebetong, men denne forma for karbonatisering er *ikkje nemnt i standarden*.

Klassane for tinesalt (XD-klasser) og frost (XF-klasser) er ikkje relevante i samband med testfeltet.

Grunnlaget for klassifiseringa av eksponeringsforholda er dokumentert i kapittel 3.2.2 og 3.2.3 og resultatane er oppsummerte i Tabell 4. Forhold som ikkje er omtalt i betongstandarden er også kommentert. I prosjekteringssamanheng skal ein nytte den mest aggressive klassa, men i vårt tilfelle må klassifisering i lys av NS-EN 206 nødvendigvis vere meir differensiert med tanke på lokal påverknad: Tolking av samanhengar mellom testresultat og eksponering

må bygge på den faktiske eksponeringa på kvar prøve. Eksponeringsklassane for Grøft A og Grøft B er delvis forskjellig frå sprøytebetongfelta. Prøvene på bankett er berre eksponert for fuktig saltholdig luft: dette gjeld også for sprøytebetongflater mellom lekkasjar med biofilm.

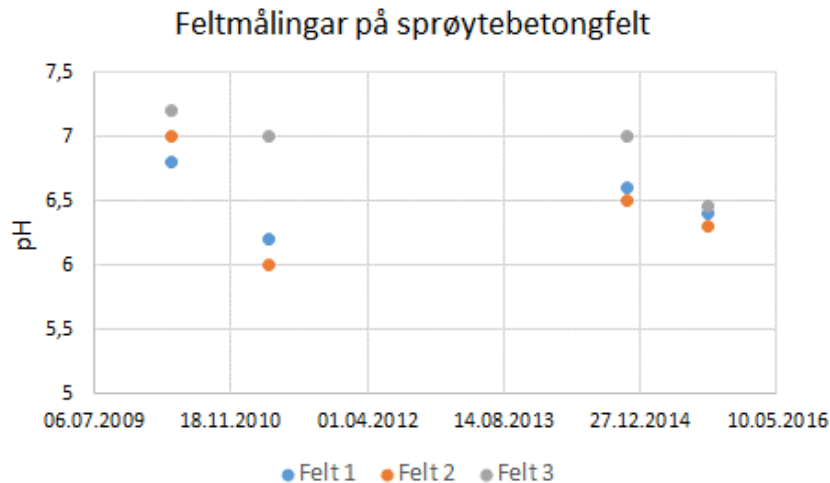
Tabell 4: Eksponeringsforhold for testbetongen i Oslofjord testfelt etter NS-EN 206 og andre forhold i tidsrommet 2010 til 2016. Grunnlaget for klassifiseringa er gitt i kapittel 3.2.2 og 3.2.3.

Kontekst	NS-EN 206	Vatn og fukt	Biofilm m.m.	Merknad
Felt 1, 2 & 3: Sprøytebetong på tunnelvegg (bergsikring)	-XC2 (på overflater med lekkasje), -XC3 (på moderat fuktige overflater), -XS3 (på overflater med lekkasje og mot heftsona) -XA3 (--«--)	- Påverknad av salt grunnvatn - Korrosiv saltholdig luft (overflater)	Soner av biofilm knytta til lekkasjar gjennom betongen	Felt 3 har ikkje utvikla biofilm: overflatefukt utan lekkasjar Alle felt: XC3 og XS1 for overflater utan lekkasje
Grøft A med utstøpte prøver	XC1 & XS2 (permanent neddykka), XA3 (kjemisk)	Rennande vatn: svakt redusert vatn øvst i vassmassen, og meir redusert under biofilm (indikert ved H ₂ S-lukt)	Akkumulasjon av større mengder Fe-rik biomasse	Partiklar
Grøft B med utstøpte prøver	XC1 & XS2 (permanent neddykka), XA3 (kjemisk)	Stagnant basseng. m/litt tilført vatn: Oksiderande vatn (Mn)	Innslag av Mn og Fe bakteriar	Høgt innhald av partiklar
Bankett med terningar i tunnelluft	XC3 (moderat fuktig), XS1 (klorid i luft utan kontakt med sjøvatn)	Korrosiv fuktig og saltholdig luft skjerma frå trafikk	Ingen synleg biofilm	

3.2.2 Feltanalysar – Felt 1, Felt 2 og Felt 3

Lekkasjane over *sprøytebetongfelta* fører generelt lite vatn og er knytta til riss i sprøytebetongen. Overflatene til sprøytebetongen variere frå fuktige grå og tilsynelatande intakt betong til striper med fokuserte små lekkasjar med mørk (manganrik) og rustbrun (jernrik) biofilm som breier seg utover sprøytebetongen nedstrøms. Biofilmen etablerte seg i lekkasjevatt kort tid etter testfeltet var etablert (Vedlegg 2) og har etter kvart akkumulert. Det er ikkje muleg å måle pH i små lekkasjar ved hjelp av pH-meter. Det blei derfor brukt pH-strips, som er mindre nøyaktig. Vi har ikkje hatt utstyr for å måle Eh (redokspotensial) i slike små lekkasjar.

Figur 8 viser pH målt i felt og reknast som stikkprøver. *pH verdiane frå Felt 1 og Felt 2 (M45) representerer vatn i kontakt med biofilm.* Felt 3 (M40) er lite påverka av lekkasjar og har ennå ikkje utvikla den typiske rustbrune og mørke biofilmen.



Figur 8: pH i lekkasjevatt på dei tre sprøytebetongfelta (april 2010, april 2011, november 2014 og september 2015). Merk at Felt 1 og Felt 2 med biofilm har litt lågare pH enn Felt 3 utan biofilm. Målingane i 2015 gav omtrent lik pH på alle felta.

Resultata viser at felt-pH har variert mellom 6 og 7,2. pH-verdiane minka frå 2010 til 2011. Målingane frå 2014 og 2015 viser utvikling mot meir einsarta felt-pH på snau 6,5. *Vatn i kontakt med biofilm tenderer til å ligge litt lågare enn vatn utan kontakt med biofilm.* Variasjonsområdet er omtrent likt med pH frå andre deler av Oslofjordtunnelen og nokre andre undersjøiske tunnelar med biofilmproblematikk der Mn- og Fe-rik biofilm fører til moderat forsurening av lekkasjevatt, på nokre tidspunkt også nedstrøms i biofilm (Hagelia 2011b, 2018a). Dette blei også registrert i Mn-Fe biofilm på Felt 1 (2014) med pH = 6,6 litt oppstrøms og pH = 6,2 nedstrøms.

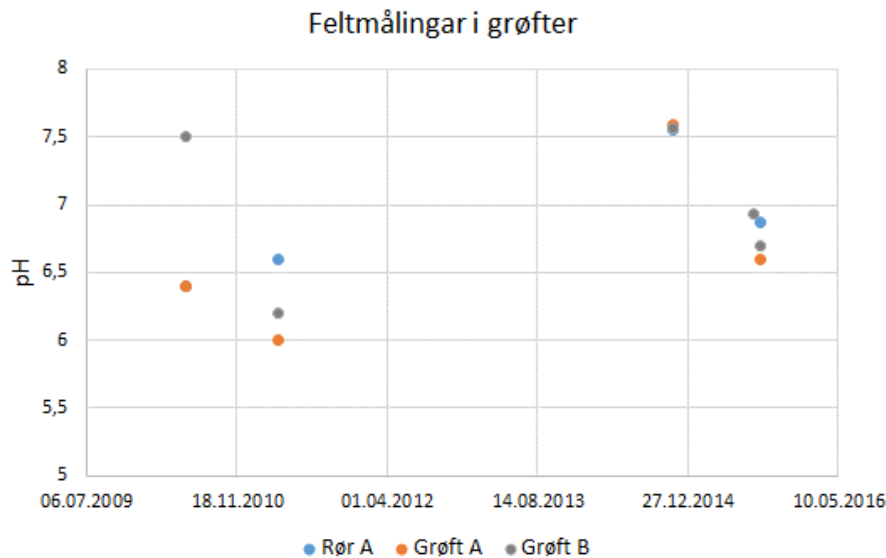
Fluktuasjonar mellom måletidspunkta er svært sannsynleg. pH på mikroskala i kontaktsjiktet mellom biofilm og betong er ikkje muleg å måle med enkle metodar, men er truleg lågare enn målte verdiar. Undersøkingar utført av Chalmers med mikrosensorar gjennom biofilm ved pumpestasjonen (Lok 1; Figur 1) viser at oksygeninnhaldet i biofilm minkar innover mot betongoverflata og minkar i takt med minkande lekkasjemengde (Karačić 2018).

3.2.3 Feltanalysar – Rør A, Grøft A og Grøft B

Vatnet i Grøft A renner ut frå Rør A og fører alltid mykje vatn. Vi har ikkje målt volum pr. tidseining frå Rør A, men inntrykket er at tilførsle av vatn ikkje har endra seg mykje over tid; det tar alltid berre få sekund å fylle ei liters flaske med vatn frå Rør A. Vatnet renner langs Grøft A i omløpstunnelen; forbi dei utplasserte betongprøvene og vidare ned til pumpeumpen (Figur 1 & 5). Grøft A blei ikkje påverka under arbeidet ved etablering av testfeltet.

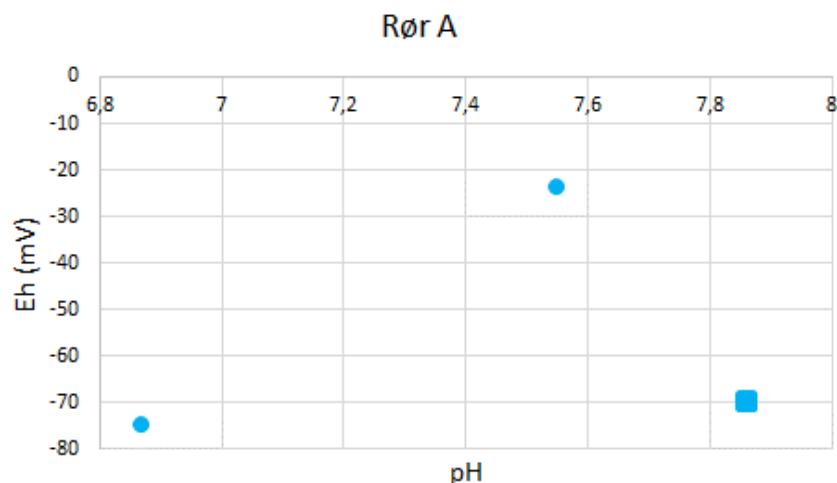
Grøft B har tilførsle frå sparsame lekkasjar frå Felt 1, 2 og 3 og litt grunnvatn frå bergmassen nedstrøms sprøytebetongfelta. Det er sannsynlegvis også påverknad av vatn frå Grøft A, som truleg trenger gjennom grusen under vegen mellom dei to grøftene. Vatnet i Grøft B var før etablering av testfeltet prega av stillestående mørkt vatn med innslag av mørk biofilm. Rett etter etableringa av testfeltet var Grøft B sterkt påverka av vassmeisling og sprøyting av Felt 1, 2 og 3. Men etter ein månads tid blei igjen vatnet stillestående og mørkt.

Begge grøftevatna har hatt aukande bioakkumulasjon og auka vassnivå over tid, særleg i Grøft A der biomassen har ført til oppdemming. Med tida har testprøvene blitt delvis neddykka.



Figur 9: pH i grøftene målt med strips i 2010 og 2011 og pH-meter i 2014 og 2015. Rør A og Grøft A hadde i 2010 same pH = 6,4 (blått symbol er dekt av oransje symbol).

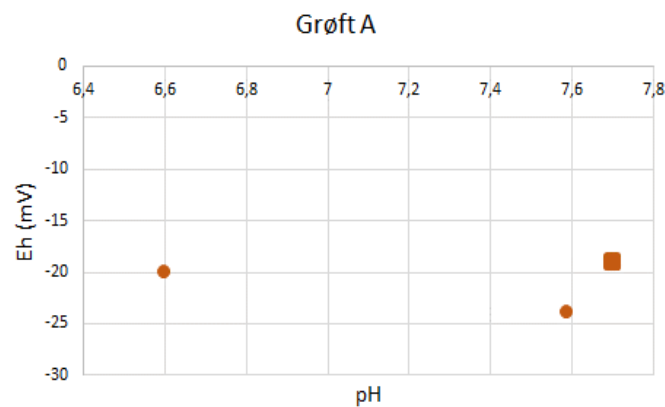
Felt-pH har variert mellom 6 og 7,5 frå 2010 til 2015 og er generelt lågare enn laboratoriemålingane (sjå Figur 13). pH minka frå 2010 til 2011, på same måte som for feltmålingane frå sprøytebetongfelt. Målingane i 2014 viste pH = 7,6 i både Rør A og begge grøftene. Det var på dette tidspunktet lukt av H₂S i Rør A og Grøft A. pH-målingane i 2015 låg mellom 6,5 og 7,0 (Figur 9). Grøft A med jernrik bioakkumulasjon har for det meste hatt lågast pH, men verdiane fluktuierer. *Målingar i juni 2019 gav noko høgare og nesten like pH-verdiar på mellom pH = 7,71 og 7,86 (rør og grøfter).*



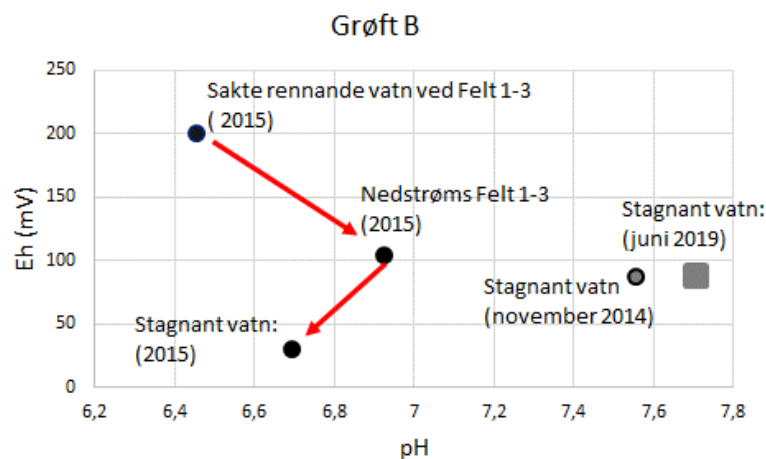
Figur 10: Rør A. pH-Eh målingar i 2014 (pH = 7,55, Eh = -24 mV), 2015 (pH = 6,87, Eh = -75 mV) og 2019 (kvadrat: pH = 7,86, Eh = -70 mV). I 2014 var det lukt av H₂S.

Det er utført nokre få tilleggsmålingar med pH-meter saman med redokspotensialet (Eh som ORP). Figurane 10, 11 og 12 viser resultatata saman med pH målt på same tidspunkt. Drensvatnet frå Rør A varierer mellom -24 mV og -75 mV, og er jamt over meir reduserande enn Grøft A (-19 mV til -24 mV). Dette viser at den opne grøfta er noko meir påverka av luft med meir oppløyst oksygen enn i Rør A.

Grøft B er, trass i stagnante forhold der prøvene er plasserte, typisk oksiderande (+ 29 mV til + 87 mV) og svært forskjellig frå Rør A og Grøft A. Årsaka til dette er mest sannsynleg at Grøft B har høgare manganinnhald (Mn) (Figur 26 & 27). Mn er eit kraftig oksidasjonsmiddel. Figur 12 viser resultat frå september 2015: Sakte rennande vatn frå området rett under Felt 1, 2 & 3 (påverka av biofilm) er på dette tidspunkt mest oksiderande (Eh = + 199 mV, pH = 6,46, lokalt også pH = 6,10), medan grunnvasspåverka vatn nedstrøms er noko mindre oksidert (Eh = + 103 mV, pH = 6,93). Det stagnante vatnet i Grøft B der prøvene er eksponerte hadde Eh = + 29 mV og pH = 6,70 i 2015, men varierer frå tid til anna (sjå målingar i 2014 og 2019, Figur 12).



Figur 11: Grøft A. pH-Eh målingar i 2014 (pH = 7,59, Eh = -24 mV), 2015 (pH = 6,60, Eh = -20 mV) og 2019 (kvadrat; pH = 7,70, Eh = -19 mV). I 2014 var det lukt av H₂S frå grøfta.



Figur 12: Grøft B. pH-Eh målingar i 2014 (pH = 7,56, Eh = +86 mV); 2015 (pH = 6,70, Eh = +29 mV) og 2019 (kvadrat; pH = 7,71, Eh = +87 mV).

Alle måleresultata frå grøftene er utført i overflatenært vatn. *Vi har observert at gjentatt tråkking i tykk biofilm i Grøft A har gitt lukt av H₂S, som er stabilt ved meir negative Eh-verdiar (Eh ~ - 100 mV til - 200 mV) enn det vi har målt. Dette indikerer at det eksisterer ein Eh-gradient mot meir negative verdiar under biofilm i Grøft A, der hydrogensulfid er danna ved reduksjon av sulfat under eit tykt lag av organisk materiale.* Ved oksidasjon av H₂S, der tykk biofilm bryter opp og luft kjem til, blir det danna svovelsyre som saman med andre syrebidrag bidrar til lokal nedbryting av sprøytebetongen i overflata (Hagelia 2011b). *Fluktuasjonar i pH og Eh i grøftene er påverka av varierende akkumulasjon og oppbryting av biofilm.*

3.2.4 Laboratorieanalysar av grøftevatn 2010–2016

Det blei samla inn prøver frå Rør A, Grøft A og Grøft B (i stagnant område) kvart år frå 2010 til 2016, med unnatak av 2013. I 2016 blei det også samla inn ei vassprøve frå ein rask drypplekkasje gjennom eit riss i sprøytebetong nærme Felt 1, og reknast som lite påverka av betongen (prøve «Field 1» i Vedlegg 9). Dette representerer grunnvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3, med unnatak av litt høg kalsiumkonsentrasjon som reflekterer kontakten med betongen. Analyseresultata frå denne prøva er elles ganske lik vassprøver frå lokalitetar i områda nær testfeltet (Lok 1 i Figur 1, sjå Hagelia 2011b). Ei av prøvene («V5») frå dette området blei samla direkte frå ein bergsprekk utan kontakt med betong og resultata blir refererte til i kap 3.2.4.2.

Laborierapportane med fullstendige analysar av vatn og partiklar er lagt i Vedlegg 9. Hovudresultata er framstilt i diagram med vekt på:

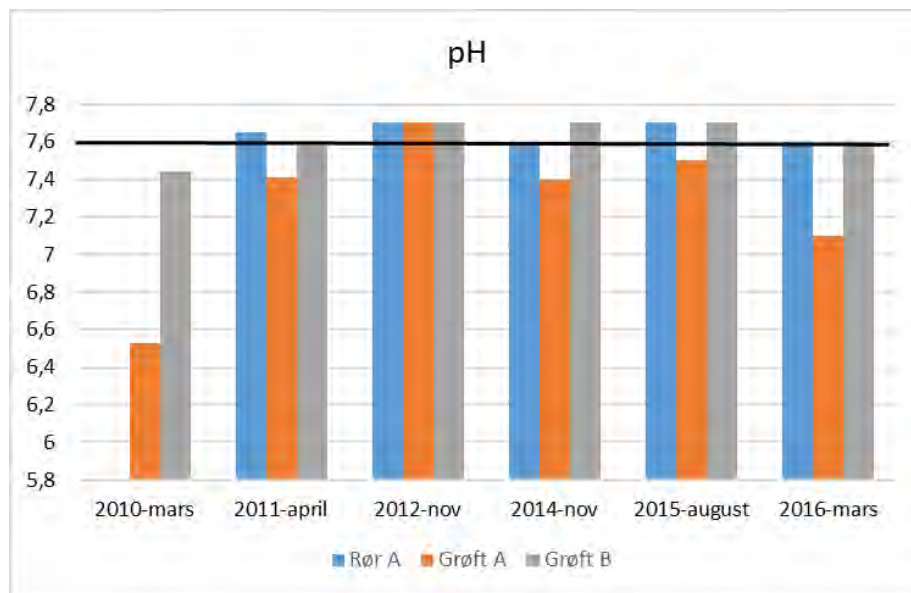
- *Variablar som definerer eksponeringsklasser etter NS-EN 206 (kap. 3.2.4.1)*
- *Variablar som indikerer utluting/oppløysing av betong (kap. 3.2.4.2)*
- *Variablar som har innverknad på vekst av biofilm (kap. 3.2.4.3)*
- *Toksiske element (kap. 3.2.4.4 og Vedlegg 9).*

3.2.4.1 Variablar som definerer eksponeringsklasser etter NS-EN 206

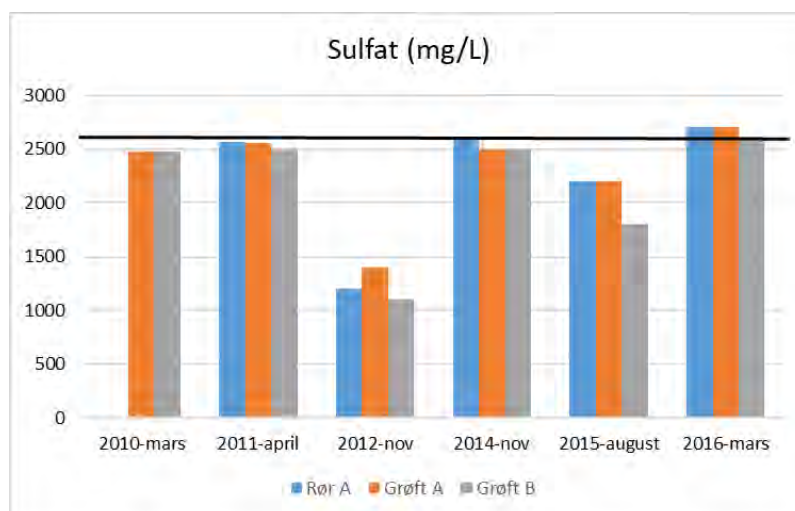
Eksponeringsklassifisering for kjemisk angrep på betong i sjøvassliknande grunnvatn er definert av pH, sulfat, magnesium (Figur 13, 14 og 15), ammonium og karbonsyre. Systemet for klassifisering verker slik et den mest aggressive verdien gitt i NS-EN 206 definerer klasse (dvs. lågeste pH og høgste konsentrasjon av sulfat, magnesium, ammonium eller karbonsyre). Dersom ein eller fleire av parameterane fell i same klasse skal miljøet klassifiserast i påfølgande høgare klasse. Samla vurdering, inklusive registrerte variasjonar over tid, gir klasse XA3 for Felt 1, Felt 2, Felt 3, Grøft A og Grøft B, og er i praksis definert av pH, sulfat og magnesium.

Ammoniumkonsentrasjonane (sjå kap. 3.2.4.3) er veldig låge (under deteksjonsgrensa til 3,4 mg/L), dvs. langt under klasse XA1 (15–30 mg/L). Vi har ikkje analysert for *karbonsyre*, men måling av pH seier noko indirekte om dette: Ved pH-verdiar omkring 6–6,5 utgjer karbonsyre omkring halvparten av det totale innhaldet av karbonat (den andre halvparten er bikarbonat). Tidspunkt der pH var < 6,5 tyder derfor på innverknad av karbonsyre. Ved pH-verdiar >7 er karbonsyre fråverande og totalt dominert av bikarbonat som er ein pH buffer. Kategoriane for

kjemisk angrep er svært vide, og kjemisk klassifisering etter NS-EN 206 blir den same med eller utan medrekna aggressivt karbondioksid.

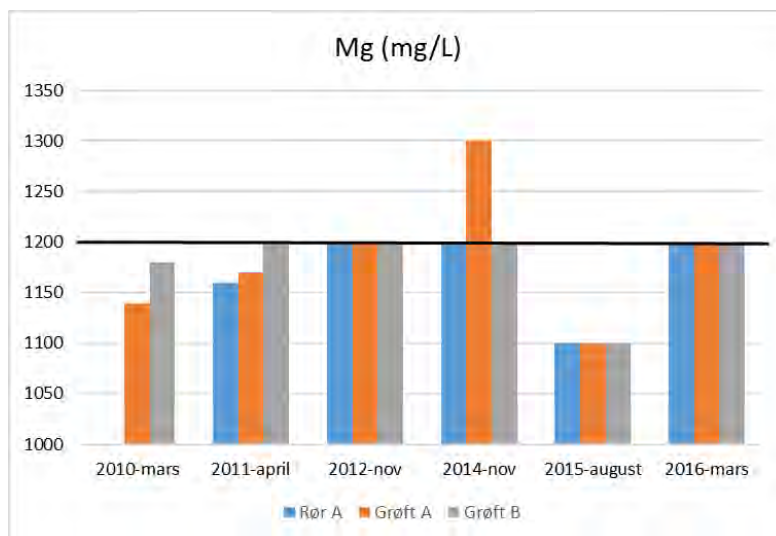


Figur 13: pH -variasjon frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1, pH = 7,5). Grunnvassprøve V5 frå Lok 1 nær testfeltet: pH = 7,93. Sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: pH = 7,74 (Hagelia 2011b).

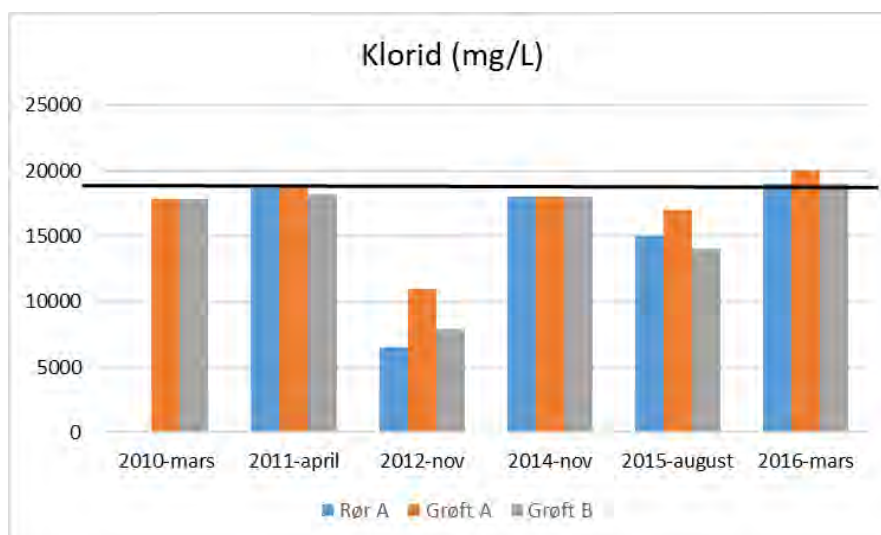


Figur 14: Sulfatanalysar frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1, sulfat = 2600 mg/L). Merk låge verdiar i 2012 og 2015. Grunnvassprøve V5: sulfat = 2580 mg/L. Sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: sulfat = 2630 mg/L (Hagelia 2011b).

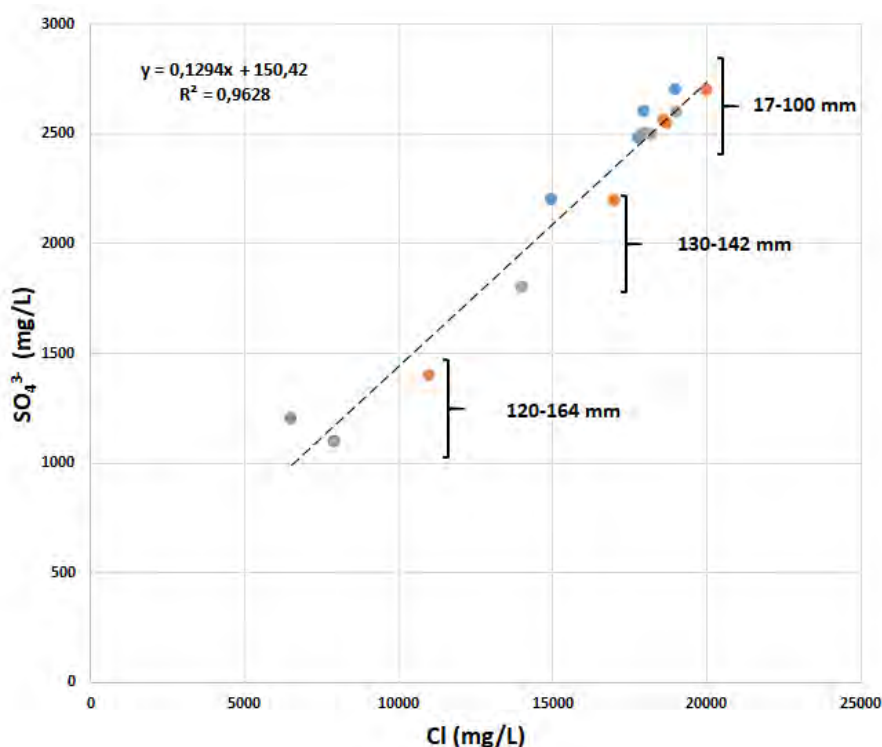
Neddykka prøver i Grøft A og Grøft B kviler i *partikkelrikt slam* ($< 0,42 \mu\text{m}$). Eksponeringsforholda for prøvene i Grøft A og Grøft B med tanke på partiklar blir her betrakta som «jord» i NS-EN 206. Vi har analysar av partiklar frå alle lokasjonar i 2014 og 2015 og enkelte analysar frå 2012 og 2016. Det er svært høgt svovelinnhald i Rør A, og som minkar markant nedstrøms i Grøft A. Grøft B har liknande svovelinnhald, og det ser ut til at svovelinnhaldet i partikkelfraksjonen minkar over tid (sjå Vedlegg 9). Partiklane frå Rør A klassifiserer som XA3 (12001–24000 mg/kg = ppm), medan partiklane i grøftevatna stort sett ligg under klasse XA1 ($< 2000 \text{ mg/kg}$), med unntak av XA1 for partiklar i Grøft B i 2015.



Figur 15: Magnesiumanalysar frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1 = 1200 mg/L). Merk lågare Mg i august 2015 som ikkje er på sama tidspunkt som lågaste sulfatkonsentrasjon (Figur 14). Grunnvassprøve V5: magnesium = 1240 mg/l. Sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: magnesium = 1370 mg/L (Hagelia 2011b).



Figur 16: Kloridanalysar frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1 = 19000 mg/L). Merk låge verdiar i 2012 og 2015. Grunnvassprøve V5: klorid = 18600 mg/L. Sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: klorid = 18600 mg/L (Hagelia 2011b).



Figur 17: Klorid og sulfat viser at dei lågare konsentrasjonane i ved prøvetakingsdatoane i 2012 og 2015 kan vere påverka av fortynning av ionefattig vatn (regnvatn og/eller tunnelvask). Nedbørsdata (mm) frå Meteorologisk Institutt for aktuelle tidsrom før prøvene blei samla. Symbolfarge som i Figur 16.

Konsentrasjonane av sulfat, magnesium og klorid i grøftene var meste av tida ganske like grunnvatnet i Prøve «Field 1» og sjøvatn. Men i november 2012 og august 2015 var både sulfat og klorid lågare, også i Grøft B, noko som må skuldast fortynning med ferskvatn. Rør A og Grøft A representerer drensvatn frå større delar av tunnelen, medan dei lågare konsentrasjonane også i Grøft B kan tyde på at denne grøfta er påverka av drensvatn som diffunderer gjennom grusen i omløpstunnelen. Nedbørsdata frå alle tidspunkt tyder på at dette kan ha samanheng med regnvatn som renner inn i tunnelen (Figur 17). Vi kan derimot ikkje sjå bort frå innverknad frå tunnelvaskevatt. Eksponeringsforholda i Grøft A og B med tanke på absoluttkonsentrasjonar ser ut til å vere nokså konstante, men ionestyrken er av og til påverka av tilgang på ferskvatn.

Eksponeringsklassar for metallkorrosjon er avhengig av kontaktrelasjonar med sjøvatn (XS klassar og karbonatisering (XC-klasser). NS-EN 206 tar derimot *ikkje* omsyn til variasjonar i kloridkonsentrasjonar i saltvatn (Figur 16). Klassane XC1 og XS2 for grøftene gjeld for prøvedelar som er konstant neddykka. Klasse XS3 er brukt for sprøytebetong (Felt 1, Felt 2 og Felt 3) med tanke på totalbelastning; dvs. salt grunnvatn mot heftsona og på overflater med lekkasje. Påverknaden på lekkasjefrie sprøytebetongoverflater utan biofilm betraktast som for terningane eksponert for tunnelluft (XS1).

3.2.4.2 Variablar som indikerer utluting/oppløysing av betong

Semehydratet portlanditt ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), løyer seg relativt lett i vatn ved pH under 8 og oppløysing av Ca aukar når pH minkar. Dette gir aukande sekundærpermeabilitet (i motsetnad

til primærpermeabilitet i upåverka betong) som fører til at porevatnet i sementlimet blir påverka av aggressive ion i eksternt vatn. Dersom pH i porevatnet blir lågare enn ca. 12 vil også Ca frå sementlimet (CSH) begynne å lekke ut og i lengda svekke betongen. I begge tilfelle vil betongen bli meir open og utsett for nedbryting.

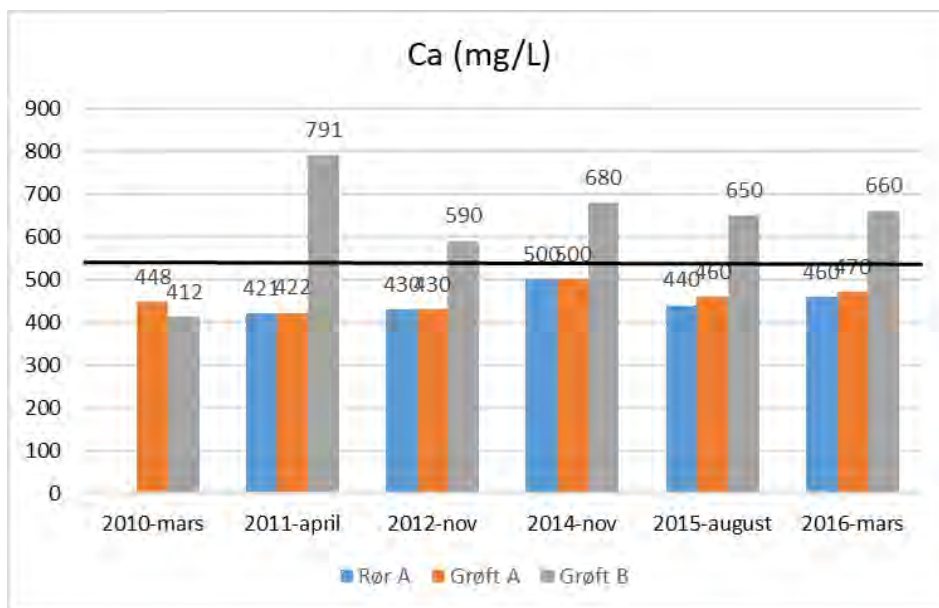
Også svovel og magnesium, samt sporstoff som vanadium (V), molybden (Mo) og strontium (Sr), løyse seg relativt lett frå betong (Van der Sloot 2000, Engelsen mfl. 2010, Steindel mfl. 2020). I undersjøisk miljø vil utluting av svovel og magnesium frå betongen bli kamouflert av dei høge sulfat og magnesiumkonsentrasjonane i lekkasjevatnet. Sr vil auke i takt med Ca.

Rør A og Grøft A med rennande vatn er dreinsvatn frå store deler av tunnelen. Ved starten i mars 2010, eit par veker etter etablering av feltet, var Ca-konsentrasjonane 448 mg/l (Grøft A) (Figur 18). Ca-konsentrasjonane har ikkje auka særleg etter etableringa av testfeltet (varierer mellom 421 og 500 mg/L). Eit eventuelt Ca-bidrag frå betong her vil vere kamouflert ved stadig påfyll av rennande vatn utan kontakt med betong. Variasjon av bikarbonat over tid er vist i Figur 19. Innrennande vatn frå Rør A (utan biologisk materiale) har litt høgare bikarbonat (pH-buffer) enn vatnet nedstrøms i Grøft A, og også pH minkar i dei fleste tilfella nedstrøms (Figur 13). Dette samsvarer med forbruk av buffer p.g.a. syre som dannast i samband med bioakkumulasjonen i grøfta.

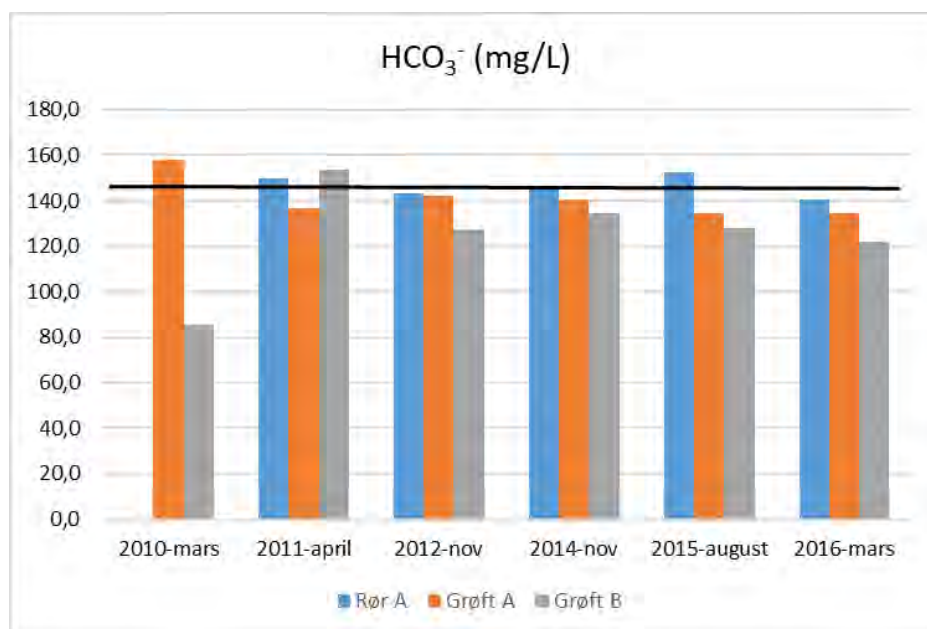
Figurane 21 og 22 viser plott av Ca mot bikarbonat. Analyseresultata frå Rør A og Grøft A utført på ulike tidspunkt ligg nokså samla, med litt høgare Ca enn sjøvatn. Vatn som lekker frå riss gjennom sprøytebetongen («Field 1») har Ca = 540 mg/L som er høgare enn sjøvatn og grunnvatn (hhv. 413 og 442 mg/L). Dette indikerer eit Ca-bidrag frå oppløysing av portlanditt/CSH langs risset.

I Grøft B har Ca-konsentrasjonen auka kraftig sidan 2010 (Figur 18). På starttidspunktet var Ca = 412 mg/L, som er identisk med sjøvatn (Ca = 413 mg/L). Upåverka grunnvatn i testområdet med omsyn til Ca er truleg best representert ved prøve V5 frå Lok 2 (Ca = 442 mg/L, Hagelia 2011b). Høgste konsentrasjon var i april 2011 (Ca = 791 mg/L). Konsentrasjonane i Grøft B har dei siste tre åra ligge på omkring 650 mg/L som er omkring 200 mg/L høgare enn i grunnvatnet på staden, og 150 mg/L høgare enn i betongpåverka grunnvatn i prøve Field 1. Den tydelege auken i Ca i det stillestående vatnet i Grøft B, med lite tilført vatn oppstrøms, tyder på utluting frå betong. Strontium (Figur 20) viser same utvikling som Ca.

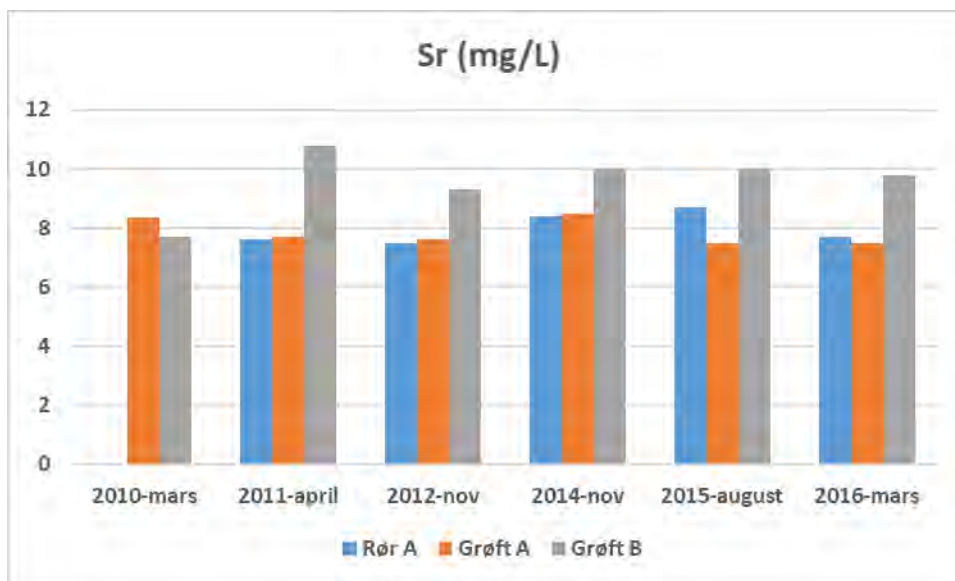
Figur 23 viser ein signifikant positiv lineær korrelasjon mellom Ca og bikarbonat ($R^2 = 0,91$) i Grøft B, som ligg forskyvd mot høgare Ca og stort sett lågare bikarbonat enn bakgrunnsvatn og tunneldreinsvatn (Rør A). Den lågaste konsentrasjonen av Ca er tilstanden i 2010 (tilsvarande bakgrunn) og høgste Ca er tilstanden i 2011, med seinare tidspunkt midt i mellom. Etersom høgste Ca er registrert tidleg (kanskje oppnådd før 2011) er det sannsynleg at årsaka er reaksjon mellom betongrestar/prelletap etter oppsprøytinga av Felt 1, 2 og 3. Utluting frå betongprøvene i Grøft B er også muleg, særleg etter lenger tid. Den lineære korrelasjonen kan best tolkast som ei blanding av bidrag frå portlanditt ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) i betongen og bakgrunnsvatn. Det er ikkje sannsynleg at Ca representerer oppløysing av kalsitt, fordi vatna då ville ha plotta mellom bakgrunnsvatn og den rette linja som representerer forholdet mellom Ca og bikarbonat ved oppløysing av kalsiumkarbonat (Figur 23).



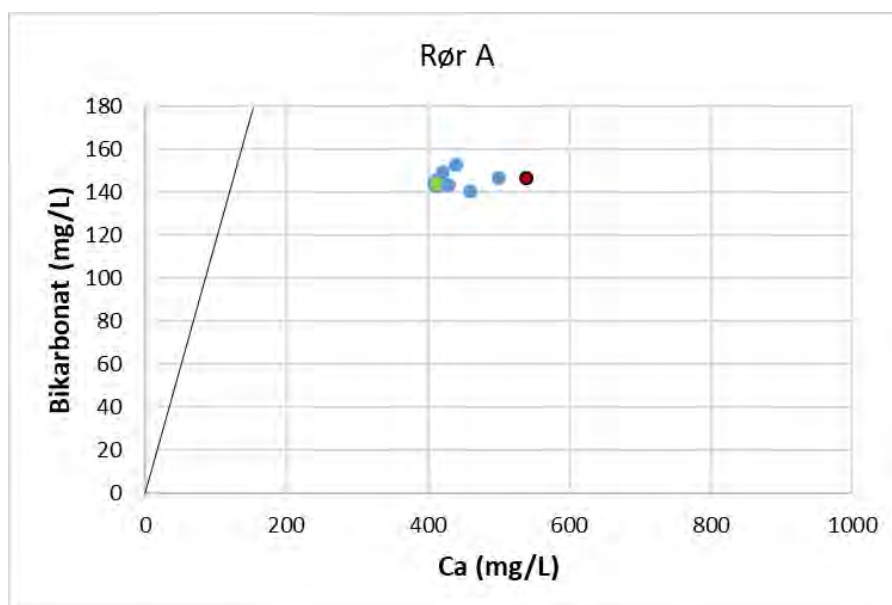
Figur 18: Kalsiumanalyser frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer prøve Field 1 som er litt påverka av Ca-utluting frå sprøytebetong. Rør A og Grøft A er meir lik bakgrunnsvatn representert med grunnvassprøve V5 (Ca = 442 mg/L) og sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: Ca = 413 mg/L (Hagelia 2011b). Grøft B med stagnerande vatn viser fordobling av Ca frå 2010 til 2011 og har seinare lagt seg på eit høgt nivå (påverka av betong).



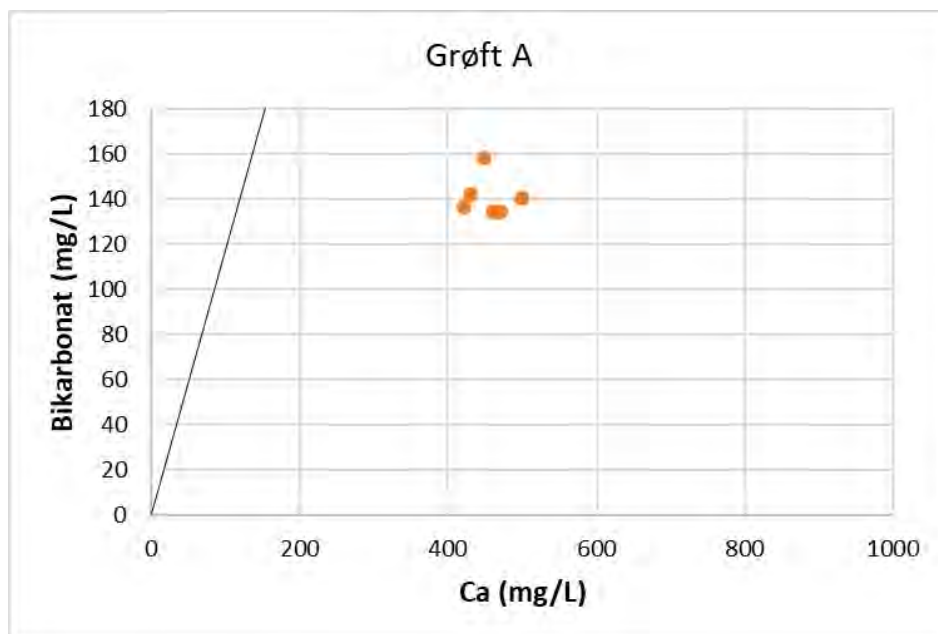
Figur 19: Bikarbonatvariasjon frå 2010 til 2016. Den svarte linja representerer bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1 = 146 mg/L; grunnvassprøve V5: HCO₃⁻ = 150 mg/L og sjøvatn frå 60 m djup i Oslofjorden: HCO₃⁻ = 144 mg/L). Grøft B har for det meste lågare bikarbonat enn Rør A og Grøft A.



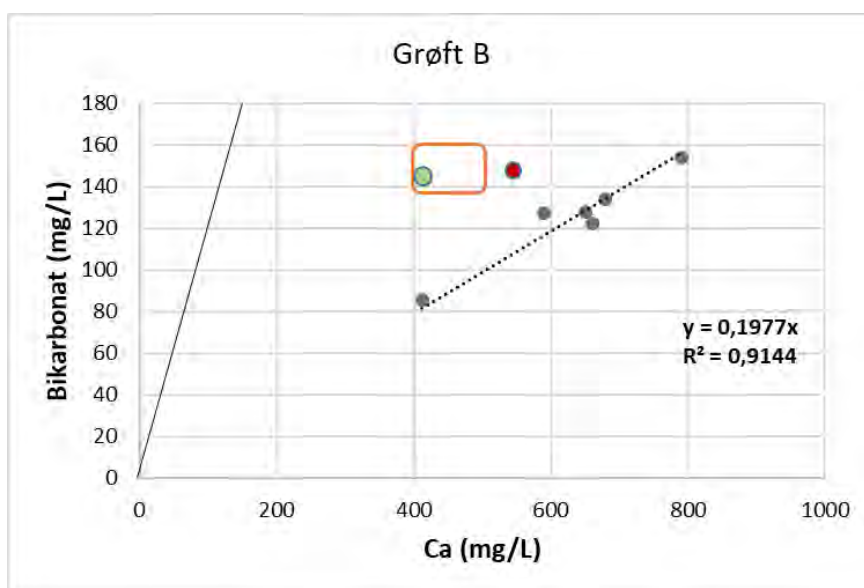
Figur 20: Strontiumanalysar frå 2010 til 2016 viser stort sett samsvar med utviklinga for kalsium. Grøft B er påverka av betong.



Figur 21: Bikarbonat og Ca frå Rør A (blå punkt). Ca er litt høgare enn sjøvatn frå Oslofjorden (grøn) og er nokså likt og grunnvassprøve V5 (Ca = 442 mg/L og HCO_3^- = 150 mg/L). Prøve «Field 1» (rød) frå lekkasje gjennom eldre sprøytebetong er litt påverka av betongen. Den rette linja viser forholdet mellom Ca og bikarbonat ved oppløysing av kalsitt. Vatna er ikkje synleg påverka av kalsitt.



Figur 22: Grøft A. Bikarbonat plotta mot kalsium.



Figur 23: Grøft B viser lineær korrelasjon mellom bikarbonat og kalsium, og har stort sett høgare Ca og lågare bikarbonat enn sjøvatn (grøn); prøve Field 1 (rød) og konsentrasjonane i Rør A og Grøft A. Høg Ca tyder på utlutning frå sement limet ved oppløysing av portlanditt og evt. CSH (sjå tekst). Vatna er ikkje synleg påverka av kalsitt.

3.2.4.3 Vasskjemiske variablar som kan verke inn på vekst av biofilm

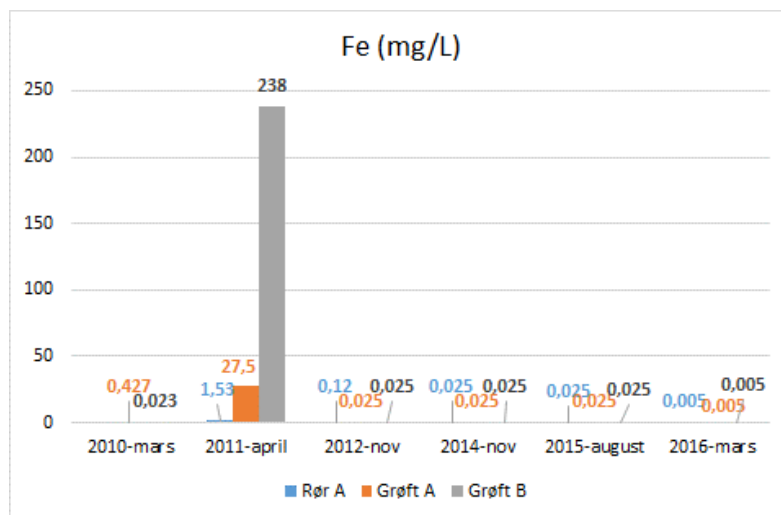
Vekst av biofilm er avhengig av næringsemne frå vatn. Tilgang på organisk eller uorganisk karbon er svært viktig, men også tilgangen på fleire andre element inklusive sporstoff. Biofilm på sprøytebetong er avgrensa til områder med lekkasje. Oppløyste ion i salt grunnvatn gir generelt gode vekstvilkår for bakteriar. Interaksjon mellom vatn, sprøytebetong og biofilm fører til lokale endringar i vasskjemien; særleg i små lekkasjevolum med «lang» interaksjonstid

mellom betong og biofilm. Utluting av sprøytebetong tilfører også ion som er nødvendige for bioakkumulasjon. Følgjande stoff er viktig med tanke på bioakkumulasjon:

- Ca^{2+} i grunnvatnet og frå utluting av karbonatisert og ikkje-karbonatisert betong
- SO_4^{2-} og Mg^{2+} frå grunnvatnet
- Fe^{2+} frå grunnvatn og frå stålfiberkorrosjon
- Mn^{2+} frå grunnvatn
- Fosfat (PO_4^{3-}) frå grunnvatn og organisk materiale
- Ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-) frå grunnvatn og bakteriar ved metabolisme
- Sporstoff som vanadium (V) og molybden (Mo) frå utluting av betong
- Karbon

Mikrobiologiske undersøking av biofilm i Oslofjordtunnelen har vist ein tydeleg samanheng mellom vekst av biofilm og oppløyst Mg, V og Mo (Karačić mfl. 2019).

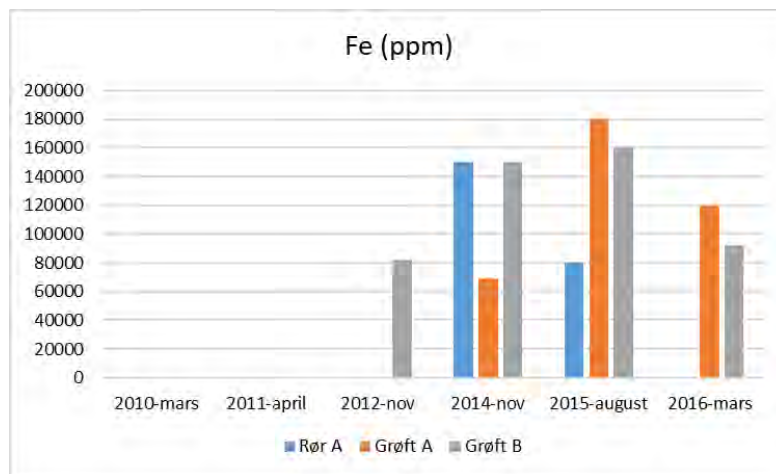
Som vist over er grunnvatnet rikt på sulfat, magnesium og kalsium. Kalsium er også tilført lekkasjevannet, på sprøytebetongoverflater (Felt 1, 2 og 3) og i nokon grad frå betongprøver i grøftene. Figurane 24 til 37 viser korleis dei andre aktuelle elementa opptre i lekkasjevann og partiklar. Oppløyst jern er toverdig, men oksiderer lett til treverdig jern (Fe^{3+}) ved redoksreaksjon og fellast ut som $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (ferrihydritt) og andre former for rust. Jernoksidierende bakteriar, som *Mariprofundus ferrooxidans* er vanleg i Oslofjordtunnelen og andre undersjøiske tunnelar (Karačić 2018, Karačić mfl. 2019). Også manganoksidierende bakteriar er observert (Hagelia 2011b). Desse bakteriane hentar sitt karbon frå uorganisk karbondioksid og nyttar redoksreaksjonane som energikjelde. Bakteriell oksidasjon av Fe og Mn går raskare enn utan bakteriar, og gir utfelling av biomineral som avfallsprodukt.



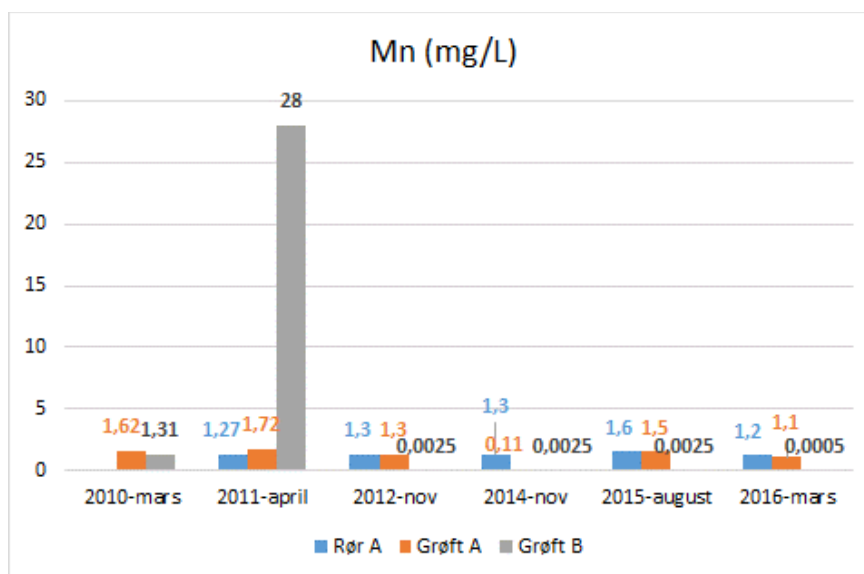
Figur 24: Oppløyst jern (Fe^{2+}) frå 2010 til 2016. Bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1) er under deteksjonsgrens ($< 0,005$ mg/L). Grunnvassprøve V5 ved Lok 2 nær ved har $\text{Fe} = 1,97$ mg/L.

Figur 24 viser låge konsentrasjonar av oppløyst Fe med unntak av i 2011. Grøft A med stor akkumulasjon av jernrik biofilm hadde då mykje høgare konsentrasjon av oppløyst Fe enn tilførsla frå Rør A. Frå og med 2012 har innhaldet av oppløyst Fe vore lågt medan partiklane er sterkt anrika i Fe (Figur 25). Tilsvarende gjeld for mangan (Figurane 26 og 27). Høge konsentrasjonar av oppløyst Fe og Mn i 2011 viser meir reduserande forhold i grøftene enn

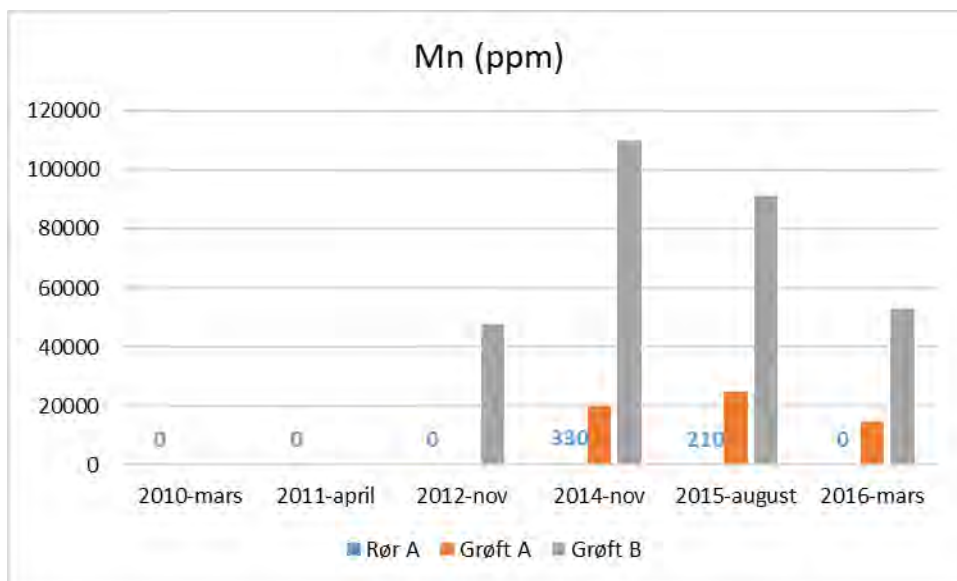
på noko anna tidspunkt. Utfelling av Mn i Grøft B er mykje høgare enn i Grøft A og samsvarer med høge Eh-verdiar.



Figur 25: Innhald av Fe i partiklar målt på tørrstoff. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og resultat frå alle prøvestadene bare i 2014 og 2015.

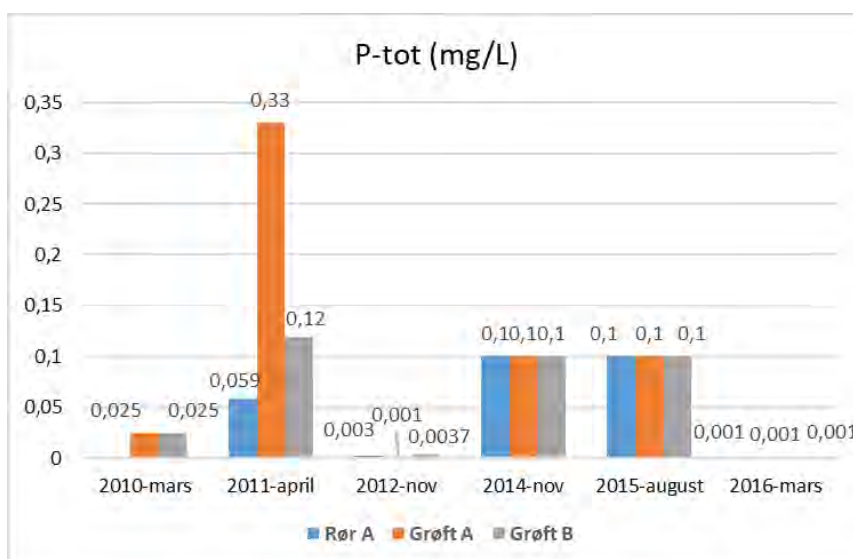


Figur 26: Oppløyst mangan (Mn²⁺) frå 2010 til 2016. Bakgrunnsvatn som påverkar Felt 1, 2 og 3 (prøve Field 1) er 1,7 mg/L nokså likt grøftene. Grunnvassprøve V5: Mn = 1,21 mg/L.

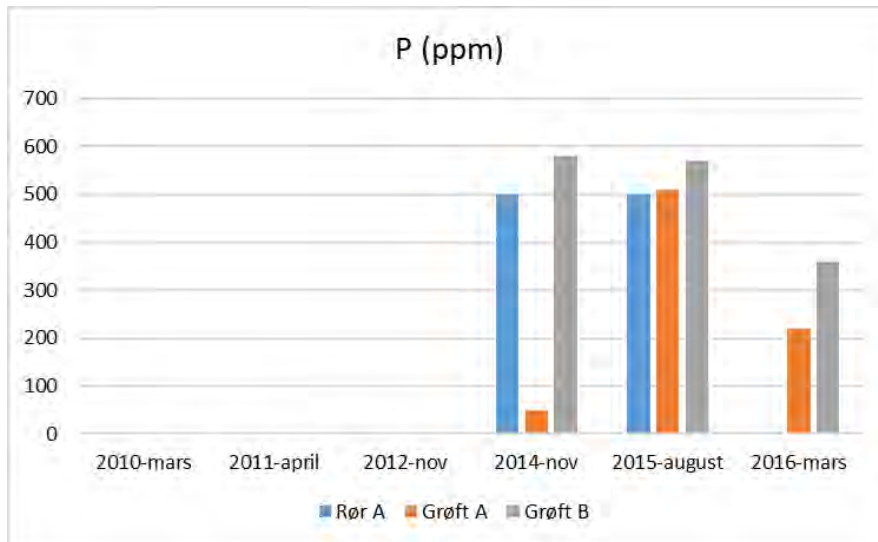


Figur 27: Innhold av Mn i partiklar målt på tørrstoff. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og resultat frå alle prøvestadene bare i 2014 og 2015. Merk at Mn er mykje høgare i Grøft B enn i Grøft A, og at tilførsla frå Rør A til samanlikning er svært låg (ca. 200–300 ppm).

Oppløyst fosfor (Figur 28) var lågt i 2010, men auka i 2011 særleg i Grøft A. Deretter var konsentrasjonane låge. Partiklane (Figur 29) var derimot anrika i fosfor i same tidsrom (ingen data frå 2010–2012). Dersom P kan løysast ut frå partiklane vil dei kanskje kunne gje næring for bakteriar. Dette vil vere avhengig av mineralsamansetninga til partiklane (ikkje undersøkt).

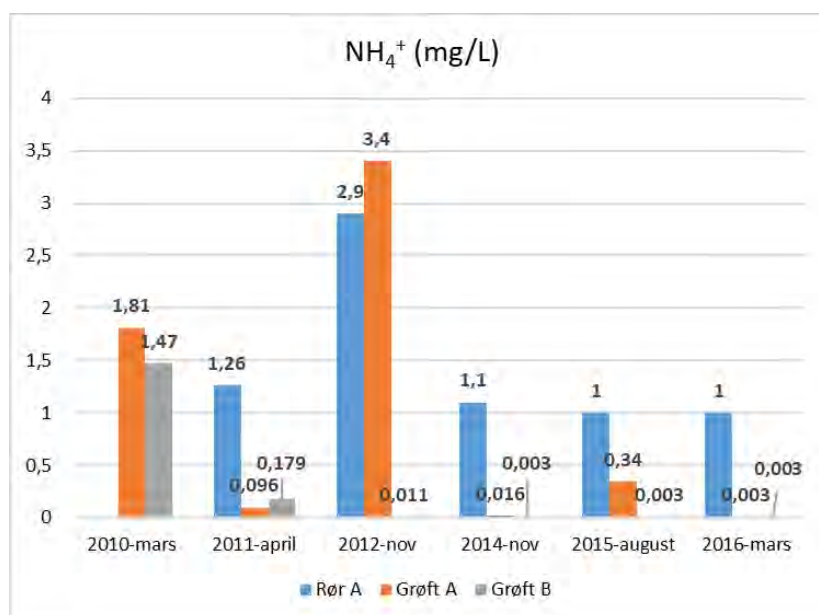


Figur 28: Oppløyst totalt fosfor over tid. Deteksjonsgrensene (DL) ved dei ulike laboratoria varierte frå 0,002 til 0,2 mg/L (oppsett her som halvparten av DL). Analyseresultata frå 2011 er dei einaste signifikante. Analysane i 2014 og 2015 hadde relativt dårleg kvalitet med høge deteksjonsgrensar. Bakgrunnsvatn (Field 1) hadde P-tot < 0,002 mg/L og V5 < 0,005 mg/L.



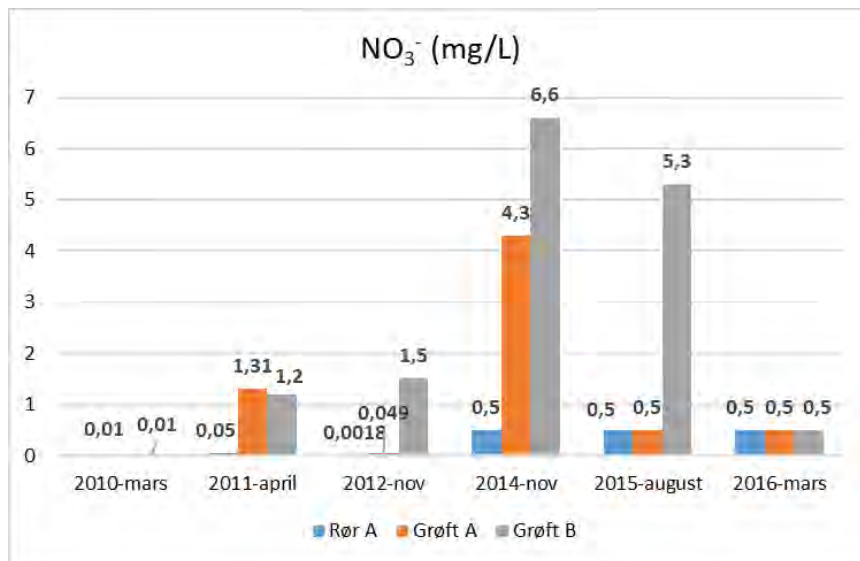
Figur 29: Innhold av P i partiklar målt på tørrstoff. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og bare resultat frå alle prøvestadene i 2014 og 2015. Merk at Mn er høgare i Grøft B enn i Grøft A, og at partiklar frå Rør A i 2014 var mykje høgare enn partiklar i Grøft A, men omtrent like høge i 2015.

Ammonium og nitrat (Figurane 30 til 32) viser stor variasjon over tid, og også summen av ammonium og nitrat varierer. Ammonium er stabilt ved relativt reduserande forhold og konverterer til nitrat ved oksidasjon. Begge er viktige i samband med mikrobiell vekst. Karačić mfl. (2019) har identifisert fleire mikroorganismar i Oslofjordtunnelen som oksiderer ammonium. Hovudinstrykket frå er at ammonium konsentrasjonane er høgst i Rør A, men minkar over tid i Grøft A og Grøft B. I Grøft B aukar nitratkonsentrasjonen over tid, men dette er ikkje like tydeleg i Grøft A (Figur 31). I 2016 var innhaldet av både ammonium og nitrat svært lågt. Dette indikerer at det finst bakteriar i grøftene som omdannar ammonium og nitrat til nitrogengass og vatn (denitrifisering ved såkalla anammox bakteriar).



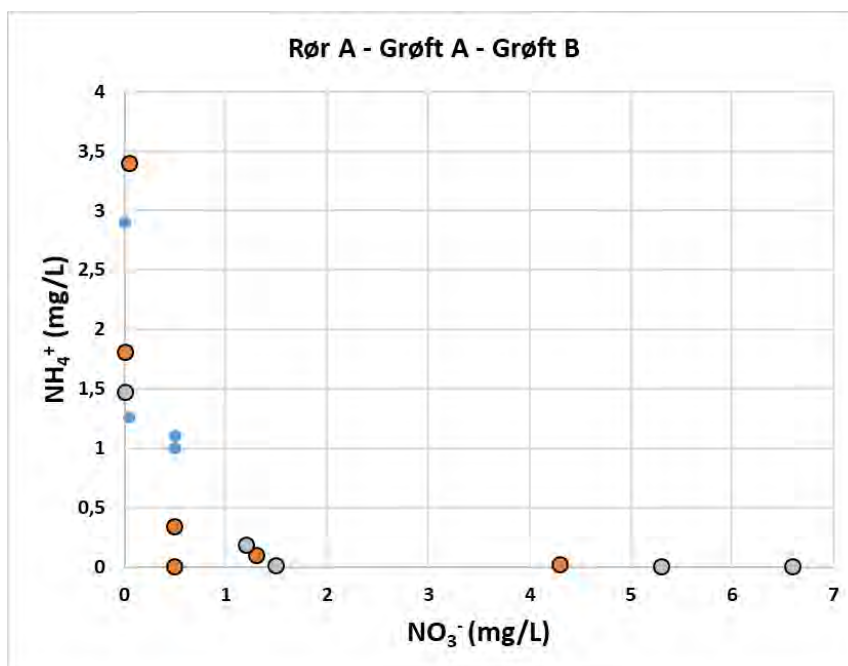
Figur 30: Ammoniumkonsentrasjonane i Grøft A og Grøft B var ganske like i 2010 med stor og tilsynelatande usystematisk variasjon i Grøft A i tida fram til 2016. Tilførsel av meir redusert vatn med

ammonium frå Rør A. Ammonium i Grøft B minka meir systematisk med tida. Bakgrunnsvatn (Field 1) hadde 1,1 mg/L. og V5 < 0,005 mg/L. Grunnvassprøve V5: $\text{NH}_4^+ = 1,71 \text{ mg/L}$.

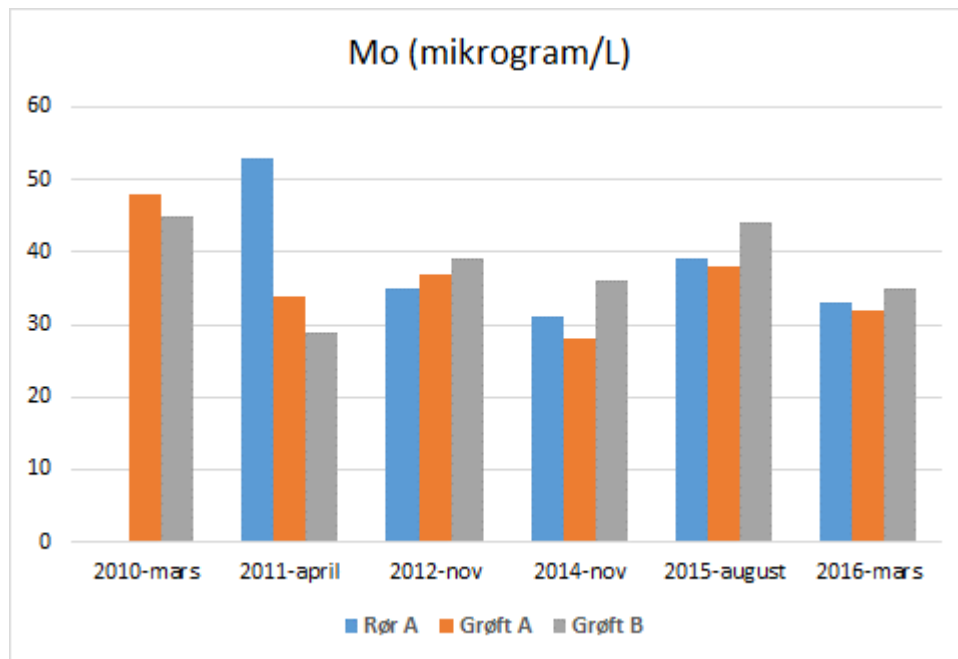


Figur 31: Nitratkonsentrasjonane var låge dei første åra men auka i Grøft B over tid. I 2016 var både ammonium og nitrat i begge grøftene under deteksjonsgrensene. Grunnvassprøve V5: $\text{NO}_3^- = 0,006 \text{ mg/L}$.

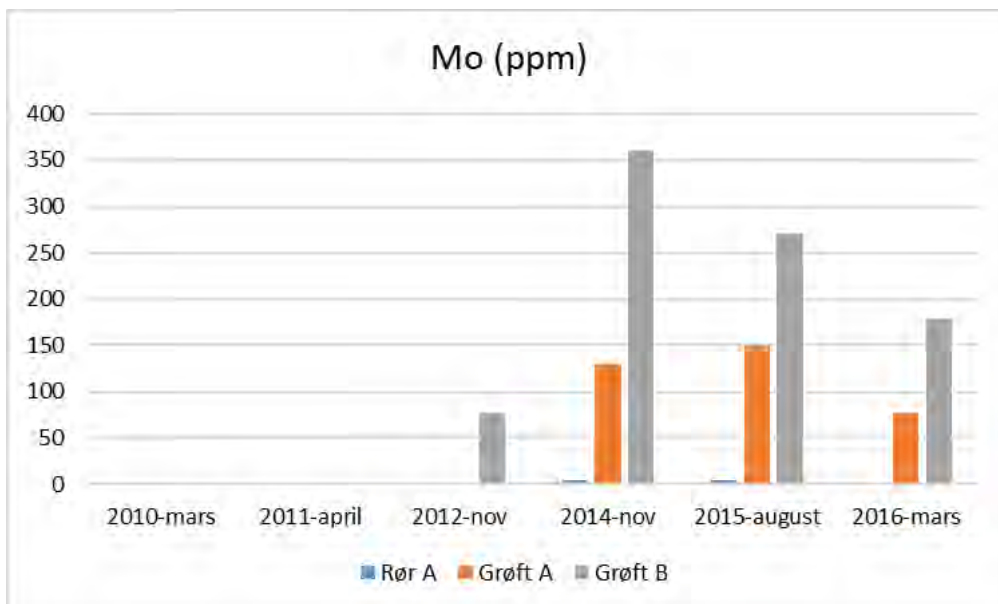
Molybden (Figur 33) varierer mellom 30 mg/L og 50 mg/L i alle vatna. Partiklane i Rør A har svært lite Mo medan partiklane i grøftene er anrika, særleg i Grøft B som har Mo mellom 150–350 ppm (Figur 34). Oppløyst vanadium er, med unnatak av 2011, svært lågt (Figur 35) medan partiklane i grøftevatna er anrika i V (Figur 36). Konsentrasjonane av Mo og V i partiklane samvarierer i stor grad. Mo og V verkar inn på vekst av biofilm og vil derfor også vere påverka av løysingsevna til Mo- og V førande mineral i partiklane.



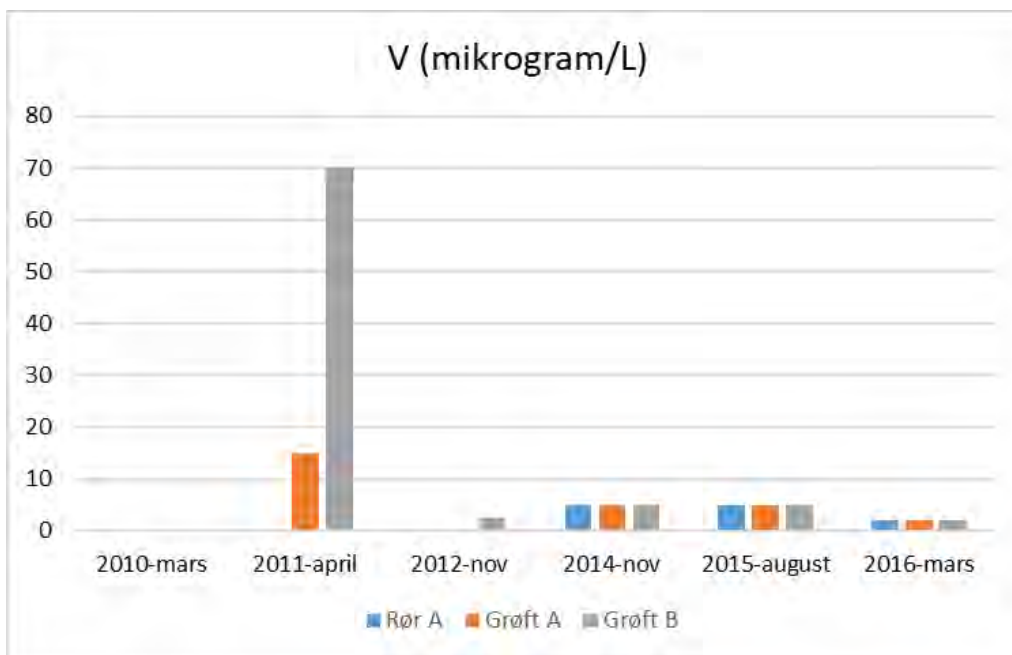
Figur 32: Negativ korrelasjon mellom ammonium og nitrat (nær hyperbolsk), reflekterer varierende redoks forhold i grøftene over tid. Symbol som i figurane over.



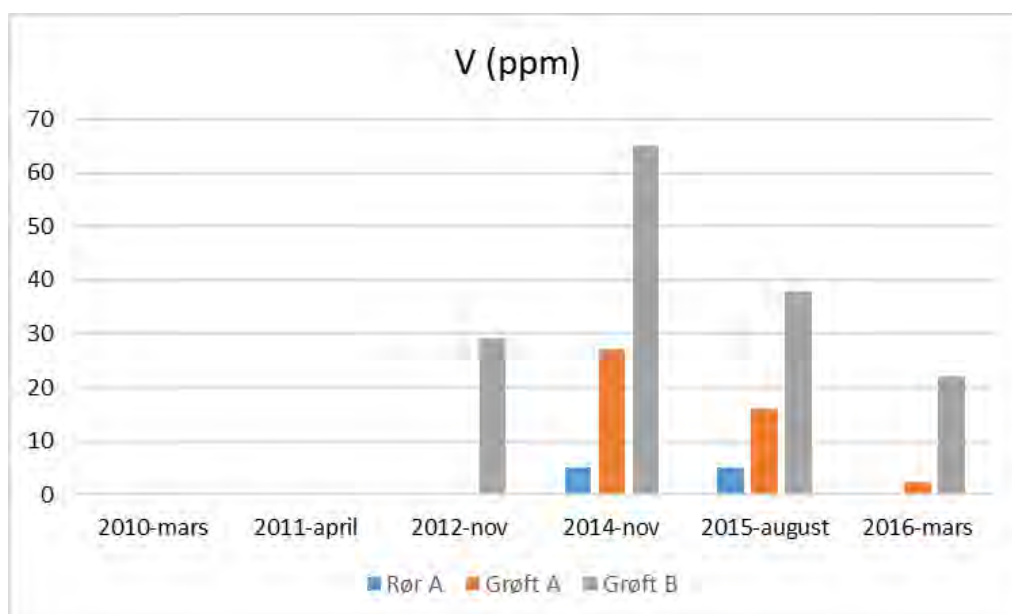
Figur 33: Molybdenkonsentrasjonane variere ikkje veldig mykje over tid og er litt lågare enn i grunnvassprøve V5 som har Mo = 53 µg/L.



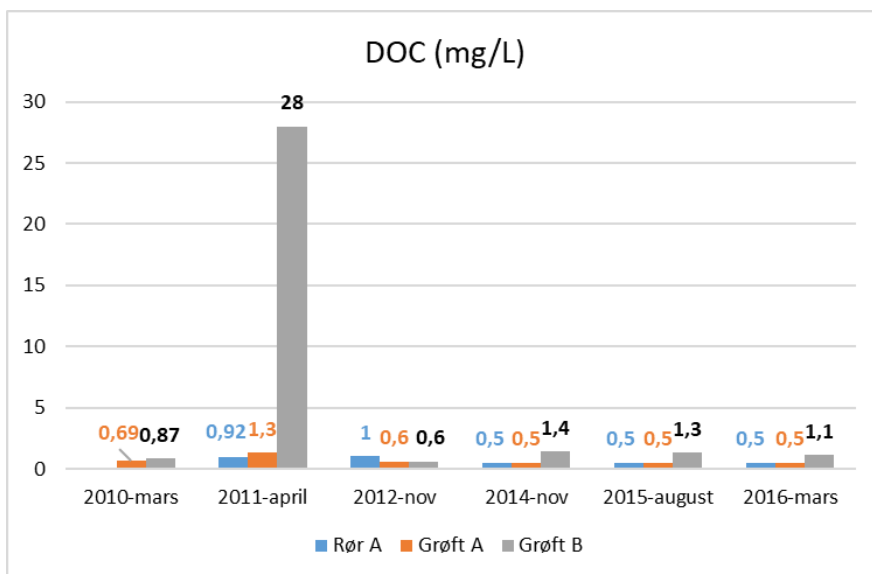
Figur 34: Molybdenkonsentrasjonane i analyserte partiklar er høgst i Grøft B. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og resultat frå alle prøvestadene bare i 2014 og 2015. Drensvatn frå Rør A har svært lite Mo i partikkelfraksjonen.



Figur 35: Vanadium er stort sett under deteksjonsgrensa, med unnatak av analysane frå 2011 ved reduserande forhold. Grunnvassprøve V5 og den lokale prøve Field 1 hadde begge $V < 1 \mu\text{g/L}$.

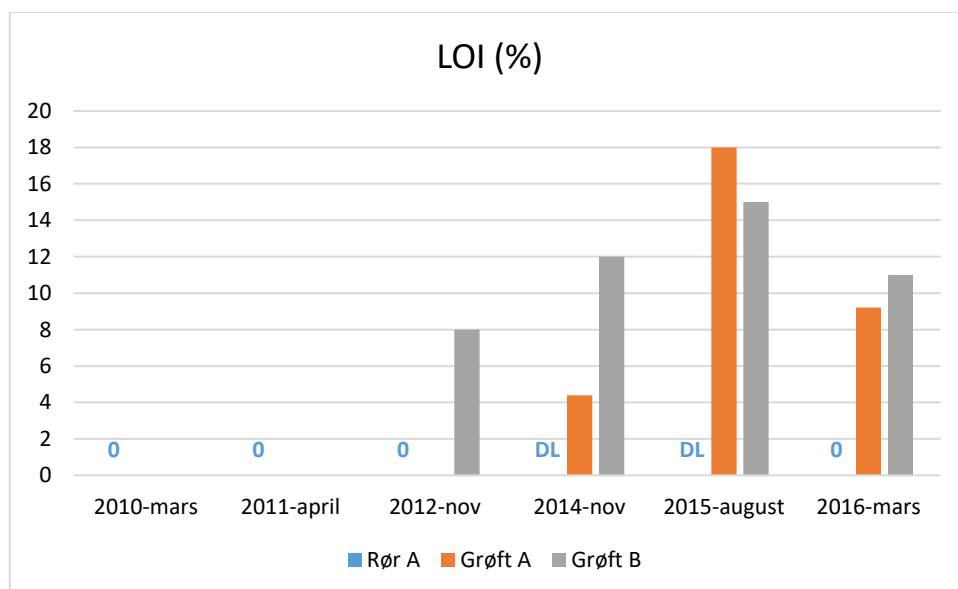


Figur 36: Vanadium i partikkelfraksjonen i Grøft B var høge samanlikna med Rør A og Grøft A. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og resultat frå alle prøvestadene bare i 2014 og 2015.



Figur 37: Analysar av oppløyst organisk karbon (DOC). Grøft B stort sett høgst DOC. Grunnvatn frå Lok 2 (Figur 1) hadde lågt innhald av DOC = 0,38 mg/L (prøve V5).

Oppløyst organisk karbon (Figur 37) var generelt lågt, med unnatak av Grøft B i 2011. Høgt innhald av DOC fører til reduksjon og forklarar dei høge konsentrasjonane av oppløyst Fe og Mn på same tidspunkt. Glødetapet (LOI) representerer i stor grad organisk materiale, og er ofte høgt i grøftene, medan tilførsla frå Rør A her ubetydeleg glødetap (lite innslag av organisk materiale) (Figur 38). Dette reflekterer den høge akkumulasjonen av organisk materiale (bakteriar) i begge grøftene.



Figur 38: Glødetap for partiklar representerer stort sett organisk innhald. Tunneldrensvatn (Rør A) har lite organisk materiale, medan grøftene. Det ligg ikkje føre analysar frå 2010 og 2011 og resultat frå alle prøvestadene bare i 2014 og 2015.

3.2.4.3 Toksiske element i grøfter

Dei kjemiske analysane av vatn og partiklar har nytte også i samband med handtering av slam frå undersjøiske tunnelar. Bioakkumulasjon i undersjøiske tunnelar fører ofte til blokkering av dren og blåsast reine med jamne mellomrom. Veileder M-608 frå Miljødirektoratet (2015) gir grenseverdiane for klassifisering av vatn, sediment og biota og omfattar både tungmetall og organiske stoff (sjå Vedlegg 9). Aktuelle tungmetall som er analysert er Cd, Pb, Ni, Hg, Cu, Zn, As og Cr. Konsentrasjonane av for eksempel arsen (As), krom (Cr) og nikkel (Ni) er ofte høge i både partiklar og vatn.

Grenseverdiane i M-608 er differensierte med tanke på: i) ferskvatn, ii) kystvatn og iii) sediment i leir/siltfraksjon (svarar til partikkelfraksjonen). Ei riktig miljømessig handtering av tunnel slam i tunnelar bør legge auka vekt på kjemiske analysar av både tungmetall og organiske stoff.

3.3 Betonganalysar av sprøytebetong i Felt 1, Felt 2 og Felt 3

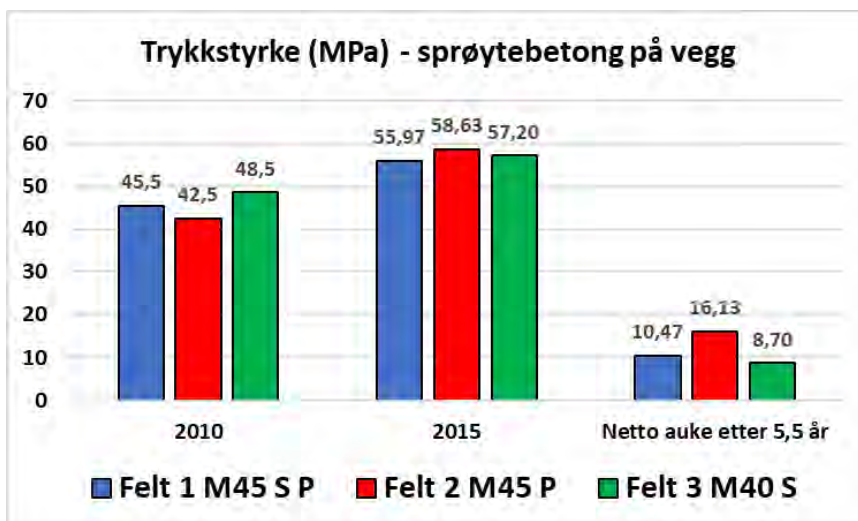
3.3.1 Innleiing

Det blei bora ut sylindrar frå Felt 1, 2 og 3 for laboratorieundersøkingar av utgangskvaliteten i 2010 (april og juni). Nye kjerner blei bora ut etter 5 ½ års eksponering i september 2015. Prøvelokalitetane er vist i Vedlegg 6 og Vedlegg 13. Analyserapportane er gitt i Vedlegg 7 og Vedlegg 8.

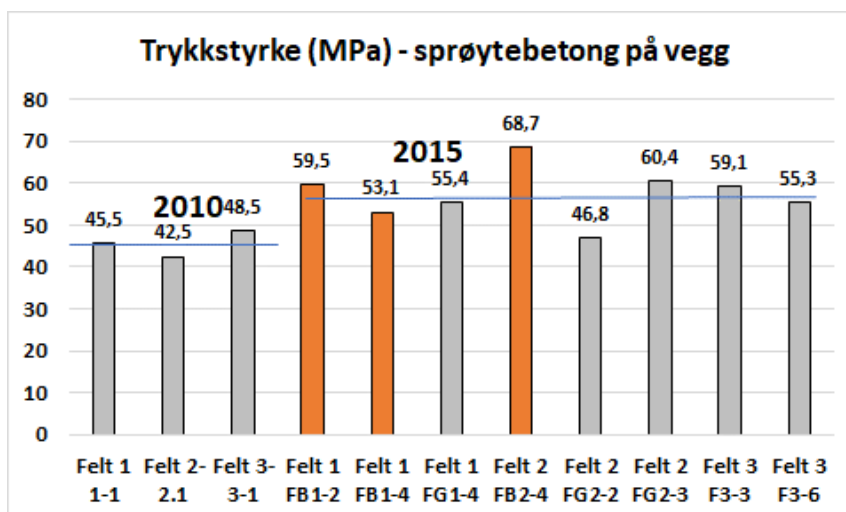
Analysane i 2010 tok sikte på å karakterisere utgangsegenskapane til ueksponert sprøytebetong og omfattar trykkstyrke, fiberinnhald og elektrisk motstand. Sylindrane frå 2015 blei analysert for trykkstyrke, fiberinnhald, elektrisk motstand, kloridinnhald og kapillær sugeshastigheit og porøsitet. Kjernene frå 2015 blei bora gjennom heile tverrsnittet for å undersøke både heftsona og ytre sprøytebetong samt eventuelle effektar av varierende sprøytebetongtykkelse (sjå kapittel 5). Det er utført mikroskopering av tynnslip og Scanning elektronmikroskopi (SEM) på utvalde kjerner frå 2015. Det blei i tida 2010 til 2015 også samla inn enkelte små prøver av utfellingar og biofilm for analyse med SEM og røntgendiffraksjon (XRD).

3.3.2 Trykkstyrke

Prøvene frå 2010 blei bora ut 41 døgn etter sprøyting av Felt1, Felt 2 og Felt 3 og trykt ved alder 94 døgn. Figur 39 viser resultatane saman med resultat frå 2015. Det er liten skilnad mellom dei tre reseptane. Trykkstyrken har auka frå ca. 43–49 MPa i 2010 til ca. 56–59 MPa i 2015. Trykkstyrken til Felt 2 (resept 2) har auka mest i forhold til 2010.

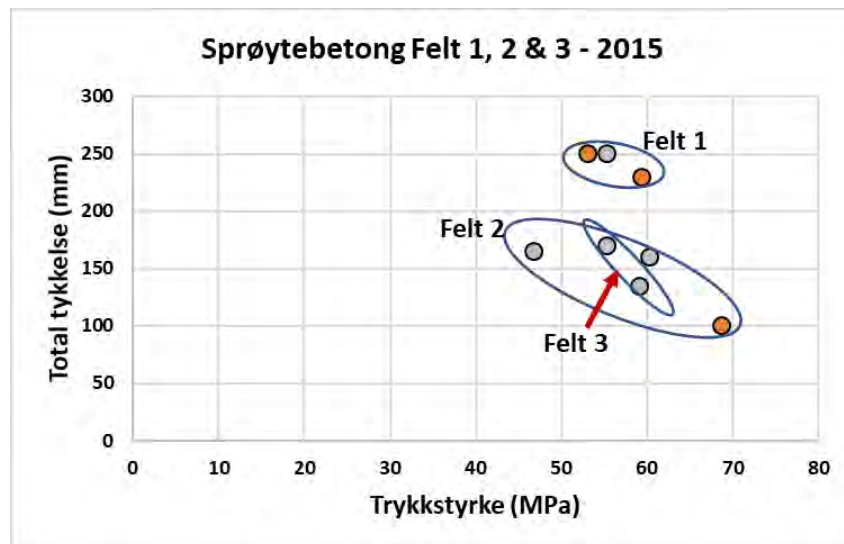


Figur 39: *Sylinderfasthet: Gjennomsnitt av to parallellprøver fra kvart felt ved 94 d i 2010. Data fra 2015 er basert på tre parallellprøver fra Felt 1 og Felt 2 (med og utan ytre biofilm og to parallellar fra Felt 3 (feltet er utan biofilm)).*



Figur 40: *Samanlikning av trykkstyrken til enkeltprøver fra 2015 mot utgangsegenskapane ved 94 døgn i 2010. Sylinderar bora ut under biofilm (brun) og sylinderar fra fuktige område utan biofilm (grå). Linjer med gjennomsnitt i 2010 (45,5 MPa) og 2015 (57,3 MPa).*

Figur 40 viser gjennomsnitt av parallellprøver fra 2010 og resultata fra enkeltprøvene fra 2015. Prøvene fra 2010 er tatt fra område utan striper med tidleg danna biofilm. Sylinderane fra 2015 blei bora ut fra område med og utan biofilm. Sylinderar for trykkprøving inneheld ikkje det ytre sjiktet der biofilm kan føre til tidleg svekking (dei ytre 2–4 cm er kappa av). Resultata viser nokså lik variasjon uavhengig av førekomst av biofilm og at verknaden fra biofilm i praksis er fråverande få cm under overflata på dette tidspunktet.

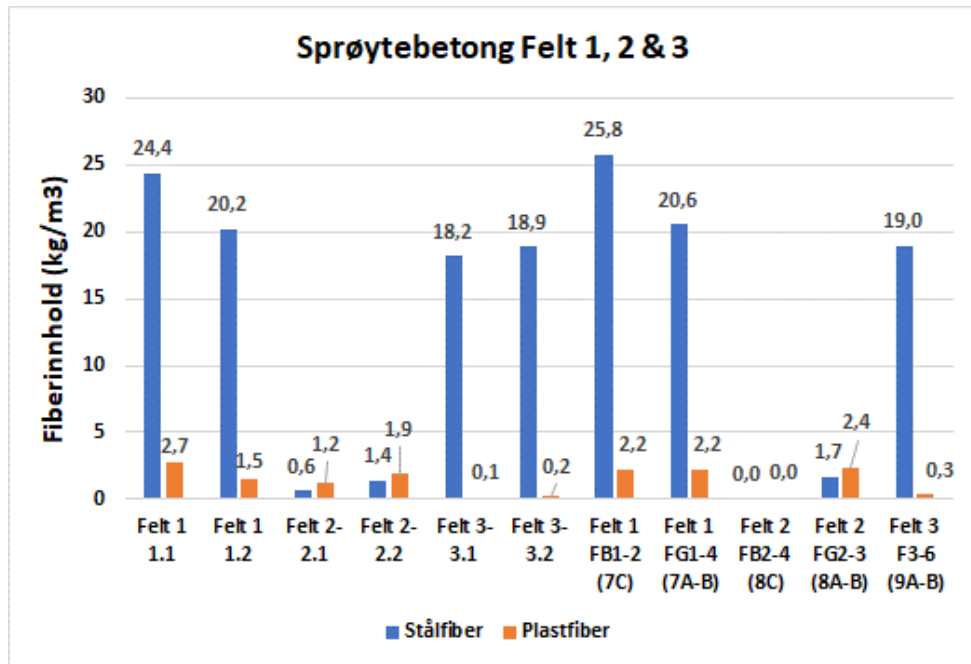


Figur 41: Trykkstyrke i 2015 plotta mot reell sprøytebetong tykkelse.

Innverknad av total tykkelse på trykkstyrke er illustrert for kvart felt i Figur 41. Resultata viser at høgste trykkstyrke for kvart felt (resept) er oppnådd i den relativt tynnaste betongen. Dette er uventa, men kan kanskje tyde på at tykk sprøytebetong blir mindre kompaktert enn litt tynnare. Det er ikkje muleg å ta stilling til dette utan ein betre statistikk.

3.3.3 Fiberinnhald

Planlagt stålfiberdosering i Felt 2 (M45) og Felt 3 (M40) var 20 kg/m^3 , og med 3 kg/m^3 PP-fiber i Felt 1 (M45). Figur 42 viser fordelinga av stålfiber og makro-PP fiber. Stålfiberinnhaldet er tilsynelatande litt høgare i Felt 1 ($20,2\text{--}25,8 \text{ kg/m}^3$) enn i Felt 3 ($18,2\text{--}19,0 \text{ kg/m}^3$), medan innhaldet av PP-fiber i Felt 1 og Felt 2 ligg mellom $1,2$ og $2,7 \text{ kg/m}^3$ også innslag av små mengder i Felt 3. Resultata for stålfiber samsvarar omtrentleg med planlagt dosering, medan PP-fiber ligg lågare. Sjå elles merknader i kapittel 2.2.

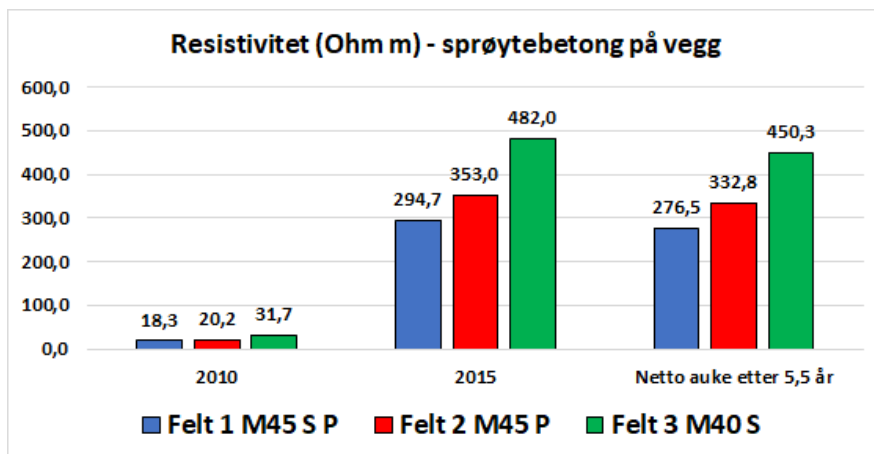


Figur 42: Fiberinnhold i prøver fra Felt 1, 2 og 3 i prøver fra 2010 (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1 & 3.2) og prøver fra 2015 (FB1-2, FG1-4, FG2-3 og F3-6).

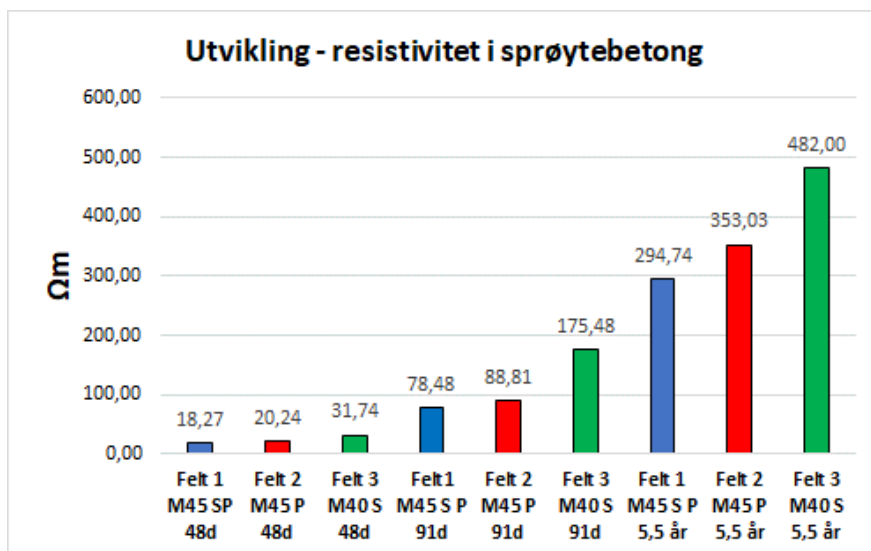
Det var ingen sammenheng mellom trykkstyrke og fiberinnhold.

3.3.4 Resistivitet

Resistivitet (Ohm-m) er rekna ut frå målingar av elektrisk motstand og høgde/diameter (sjå Vedlegg 7) i samsvar med metode 426 i Handbok R210 Laboriemetoder. Resultata er presentert i Figurane 43 og 44. Resistiviteten har auka frå ca. 18–32 Ohm-m ved 48 døgn i 2010, via 78–175 Ohm-m etter 91 døgn til mellom 295 og 482 etter 5,5 år. Resept 3 (M40S) har gjennomgåande høgare resistivitet enn reseptane 1 og 2 (begge M45).

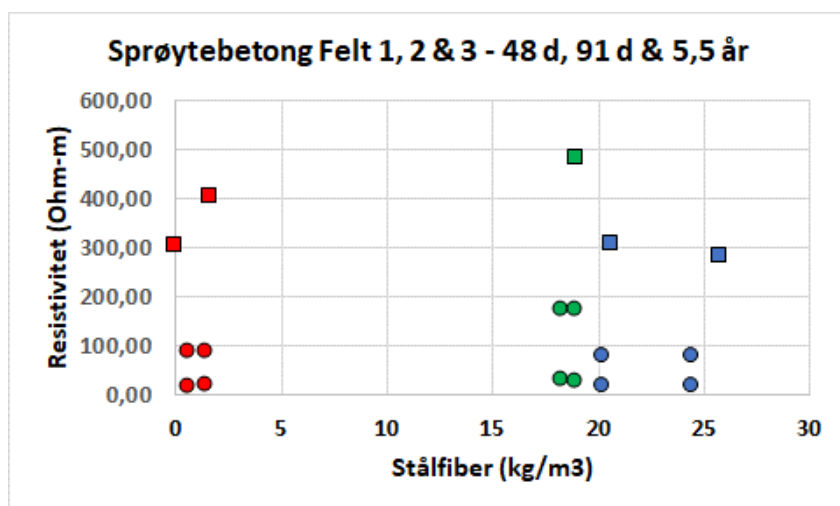


Figur 43: Resistiviteten auka frå 2010 (48 døgn) til 2015 (5,5 år). Gjennomsnitt av parallellprøver.

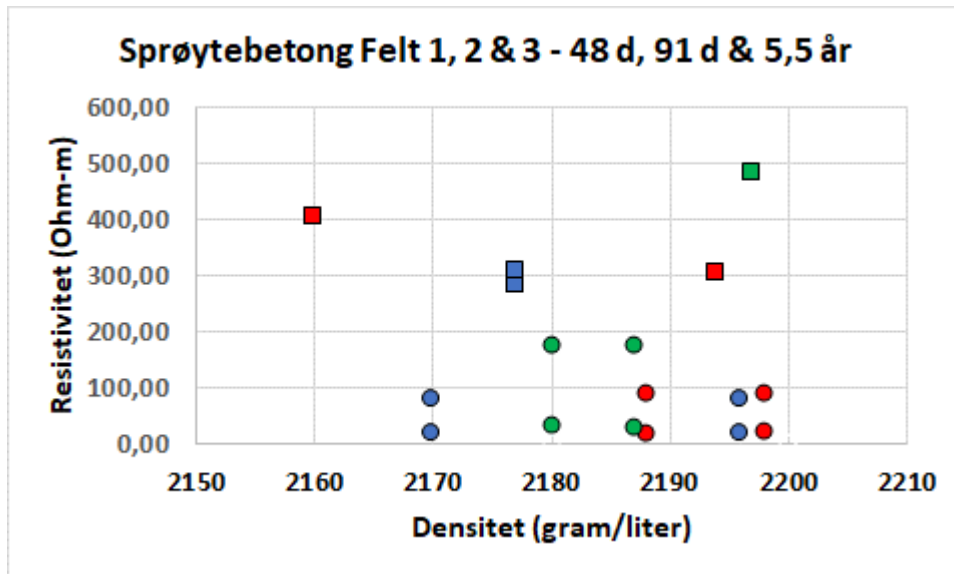


Figur 44: Utvikling i resistivitet i sprøytebetong. Data frå 2010 er basert på eit sett á to kjerneprøver bora ut frå testfeltet 41 dagar etter etablering og målt ved 48 døgn og 91 døgn. Resultat frå Felt 1 og Felt 2 i 2015 (5,5 år) er basert på to kjerner; ei frå område med biofilm og ei utan biofilm, medan Felt 3 er representert med resultat frå ei enkelt kerne.

Felt 1 har noko høgare stålfiberinnhald enn Felt 3, men dette gir seg ikkje tydeleg utslag i resistivitet. Figur 45 viser at dei to parallellane frå Felt 1 har omtrent lik resistivitet ved forskjellig stålfiberinnhald (20–25 kg/m³). Felt 2 med bare små mengder stålfiber har i gjennomsnitt litt høgare resistivitet enn Felt 1. Dette tyder på at det er lite eller ingen kontakt mellom dei enkelte fibrane, noko som også er i samsvar med inspeksjon av kjernene. Felt 3 har til ei kvar tid noko høgare resistivitet enn dei andre reseptane. Dette indikerer at M40 (resept 3) representerer større elektrisk motstand og motstand mot nedbryting enn M45 (reseptane 1 og 2).

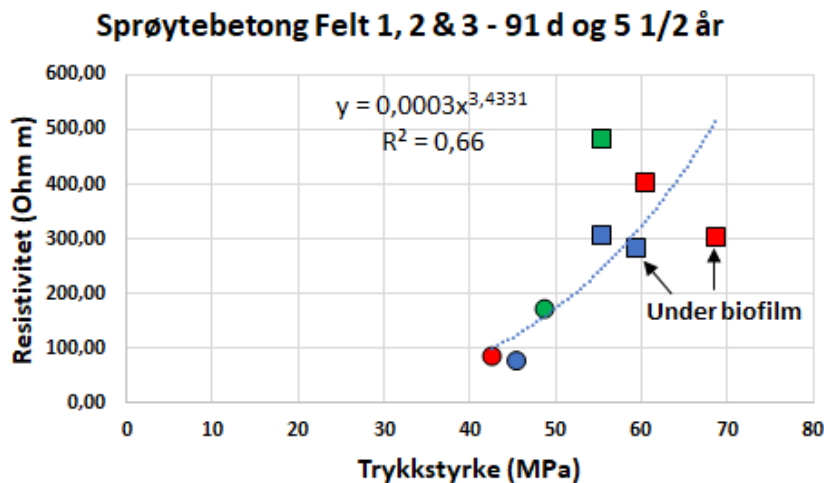


Figur 45: Stålfiberinnhald plotta mot resistivitet i dei same prøvene. Diagrammet viser parallellprøver ved alder 5,5 år med unnatak av Felt 3 (ein enkelt sylinder). Felt 1 (blå), Felt 2 (rød) og Felt 3 (grøn). Sirkulære symbol frå 2010 der resistiviteten auka frå 48 døgn til 91 døgn. Kvadrata er resultat frå 2015. Innhaldet av stålfiber slår ikkje opplagt ut på resistiviteten, og tyder på at fibrane ikkje kommuniserer.



Figur 46: Det er ingen korrelasjon mellom densitet og resistivitet. Symbol som i Figur 44.

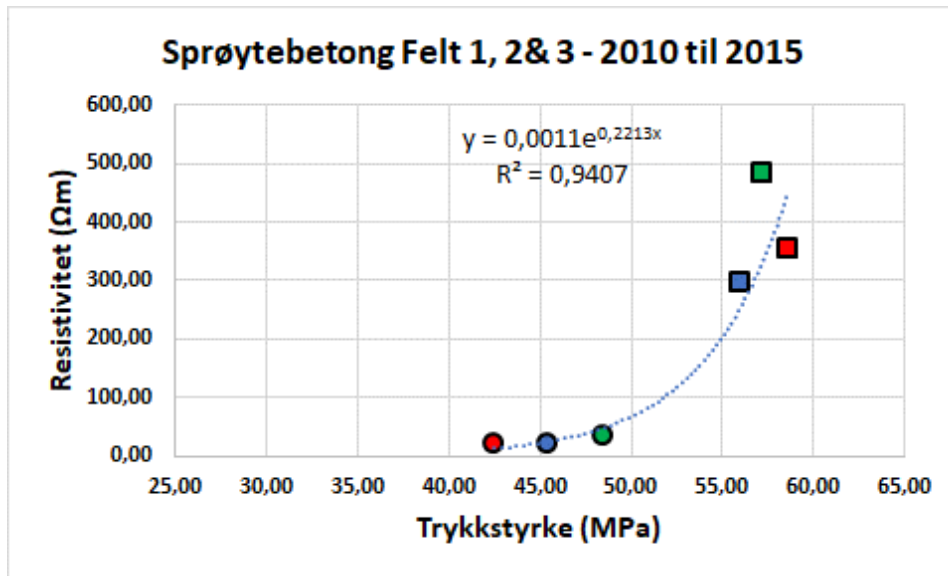
Figur 46 viser at det ikkje er nokon samanheng mellom resistivitet og densitet.



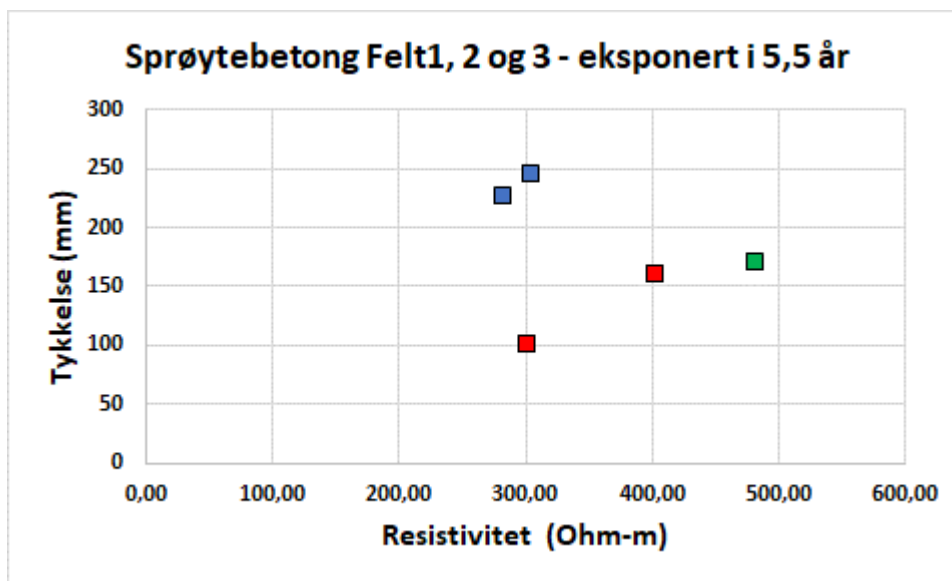
Figur 47: Trykkstyrke plotta mot resistivitet ved 91 døgn (sirkel) og enkeltprøver ved betongalder etter 5,5 år eksponering (kvadrat). Resept 1 (blå), resept 2 (rød) og resept 3 (grøn).

Figurane 47 og 48 viser at resistiviteten aukar eksponentielt i takt med trykkstyrken. Dette reflekterer aukande herding med tida. Dette er i samsvar med erfaringar. Likninga i Figur 47 er basert på enkeltprøver frå 2015 og gjennomsnitt av kvar resept i 2010. Figur 48 er basert på gjennomsnittsverdiar av 2 til tre parallellar og gir betre tilpassing ($R^2 = 0,94$). Effektar av nedbryting i overflatesjiktet mot tunnelrommet er ikkje representert i diagramma i standard prøver for testing av trykkstyrke og resistivitet (omkring 2–3 cm er kappa av). Resultata frå Felt 1 og 2 i Figur 47 omfattar prøver som er bora ut både under biofilm og område utan biofilm. Både resept 1 (Felt 1) og resept 2 (Felt 2) under biofilm har begge lågare resistivitet og høgare trykkstyrke enn tilsvarende utan biofilm. Det er generelt vanskeleg å tenke seg at eventuell påverknad av biofilm skulle gi negativt korrelasjon mellom trykkstyrke og resistivitet.

Det er meir sannsynleg at prøvepara frå Felt 1 og Felt 2 (med og utan ytre biofilm) representerer primær variasjon.



Figur 48: Trykkstyrke plotta mot resistivitet ved 48 døgn og ved betongalder etter 5,5 år eksponering. Symbol som i Figur 47.



Figur 49: Resistivitet plotta mot total tykkelse av sprøytebetong for fem enkeltprøver. Symbol som i Figur 47.

Figur 49 viser at det ikkje er nokon generell samanheng mellom total tykkelse av sprøytebetong og resistivitet. Felt 1 har relativt lågare resistivitet enn Felt 2. Felt 3 (grøn) er meir lik Felt 2. Dei individuelle resultatane frå Felt 1 (blå) og Felt 2 (rød) med same betongresept (M45) kan kanskje tyde på at resistivitet og total tykkelse av sprøytebetongsjiktet er positivt korrelert, men kan like godt vere tilfeldig variasjon utan samanheng med total tykkelse av sprøytebetongsjiktet.

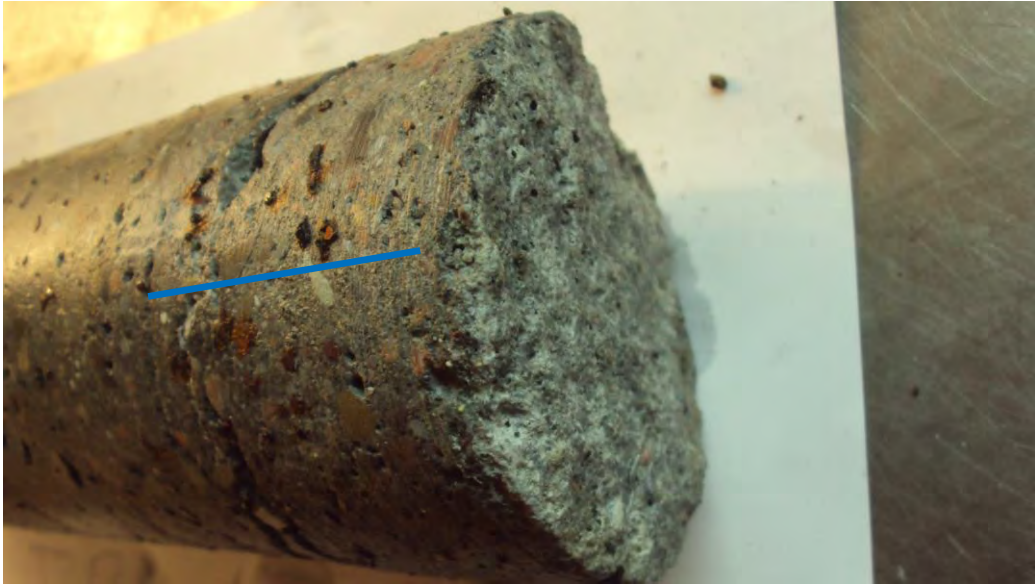
3.3.5 Kloridinntrenging og fiberkorrosjon

Stålfibrane var etter utboring av kjernene stort sett blanke utan korrosjon, også rett under ytre eksponerte overflater. Undersøking av kjernematerialet i laboratoriet viste likevel i nokre tilfelle tydelege teikn på fiberkorrosjon på sideflatene til kjernene, oftast som sekundære rustutfellingar utanpå kjerneoverflatene. Omfanget av primær korrosjon, dvs. reell innverknad på duktiliteten til sprøytebetong *in situ* var i dei fleste tilfelle svært lite. Dette blei også stadfesta ved mikroskopering av tynnslip (sjå kapitel 3.6)

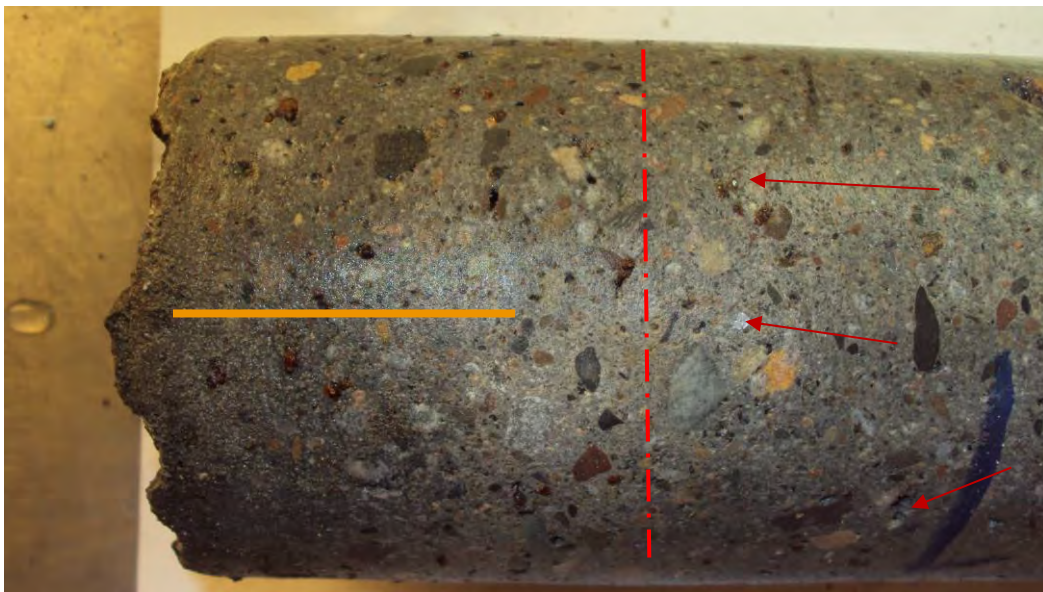
Alle undersøkte kjerner viser variabelt høgt til svært høgt kloridinnhald utan at dette har ført til fiberkorrosjon (Figur 50 t.o.m. Figur 63). Korrosjonen observert i laboratoriet er tydeleg påverka av lufttilgang etter utboring, medan tilgangen på oksygen er svært avgrensa i sprøytebetongen på veggen i testfeltet. Dette er også typisk for eldre stålfiberarmert sprøytebetong (Davik, 1997, Holm 2009, Mannvit 2015a,bc & 2016). Fordi det er liten eller ingen kontakt mellom vil lokal tilgang på oksygen ikkje føre til gjennomgripande korrosjon. Katoden (O_2) er i praksis fråverande (Hagelia 2018a, s 153). Prinsippet er illustrert i Figur 64. Det er også vist at den mekaniske verknaden av stålfiberarmering motverkar at det dannast opne mikrosprekker, som dermed også motverkar korrosjon (Berrocal 2017). Dette er svært viktige funn, og er ein hovudårsak til at Statens vegvesen ikkje lenger fryktar omfattande stålfiberkorrosjon i undersjøiske tunnelar (Myren mfl. 2018, Hagelia 2018b).



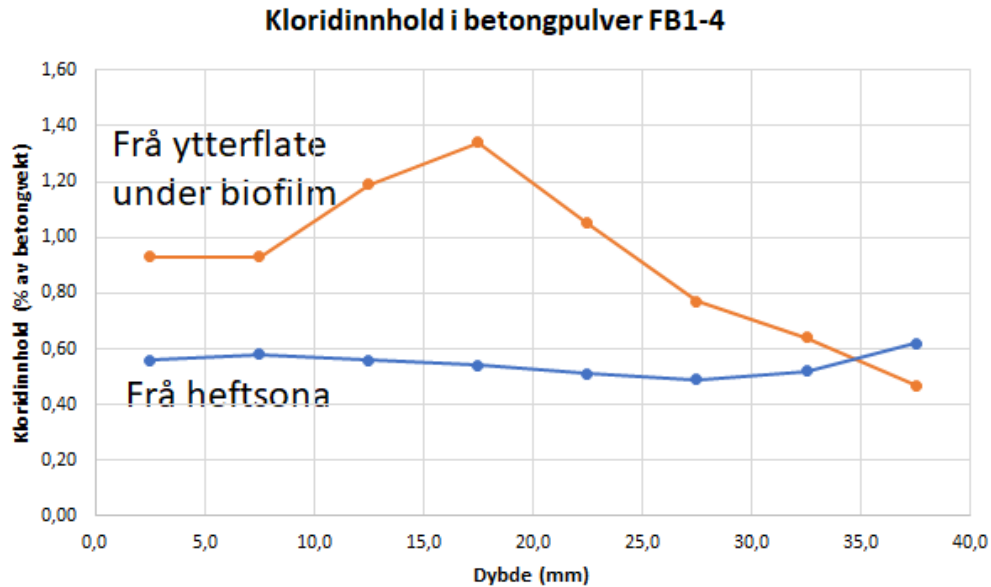
Figur 50: Felt 1, kjerne FB1-2 etter 5,5 års eksponering. Stålfiberen er intakt mot heftsona som har lys utfelling av $Mg(OH)_2$ og $CaCO_3$. Fiberen begynner å korrodere etter eksponering i luft etter utboring og kjem til uttrykk som spreidde ytre rustutfellingar på overflata.



Figur 51: Felt 1 2015; kjerne FB1-4 mot heftsona etter 5,5 års eksponering med sekundære korrosjonsprodukt utanpå overflata etter lufteksponering i laboratoriet. Omtrentleg plassering av kloridprofilen vist i Figur 53.



Figur 52: Felt 1 2015; kjerne FB1-4 mot ytterflate under biofilm etter 5,5 års eksponering. Sekundær fiberkorrosjon på overflata etter utboring og tilgang på luft dominerer i ytre del (venstre for linja) der kloridinnhaldet er høgst (sjå Figur 53). Omtrentleg plassering av ytre kloridprofil (brun). Litt lenger inn er stålfibrane alltid blanke utan sekundære korrosjonsprodukt (pilar).

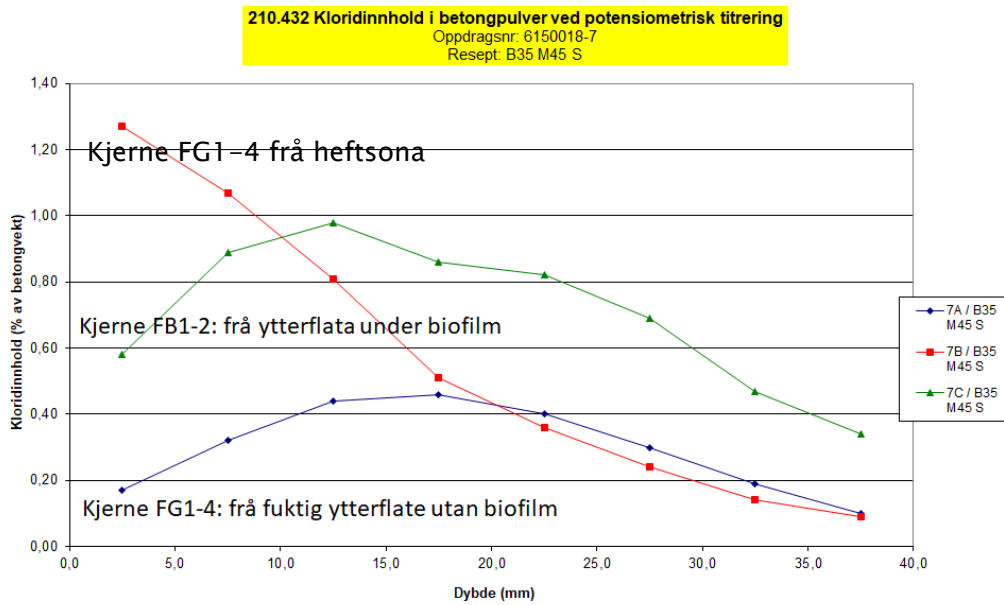


Figur 53: Kjerne FB1-4. Kloridprofilar frå overflata og frå heftsona. Ytterste ca. 2,5 mm blei kapp av og er ikkje analysert.



Figur 54: Felt 1 2015, kjerne FG1-4 (Lab nr 7A og 7B) viser svært lite fiberkorrosjon nær overflata (venstre bilde viser svart PP-fiber). Alle stålfibrar er intakte mot heftsona (høgre), trass i svært høgt kloridinnhald (> 1 %). Omtrentleg plassering av kloridprofilar er vist med same farge som i Figur 55.

Kloridinnhaldet i overflater og mot heftsoner er langt over 0,1 %. Samanlikning av profilane viser at det ikkje er nokon systematisk skilnad mellom førekomst av lekkasjar med biofilm og fuktige overflater utan biofilm. Kloridinntrenginga frå heftsona er ofte tilsvarande høg. Det er ingen opplagt samanheng mellom resept og kloridinntrenging: Overflatefuktig sprøytebetong M40S (Figur 63) har tilsvarande høg inntrenging som i M45S+P (Figur 53).



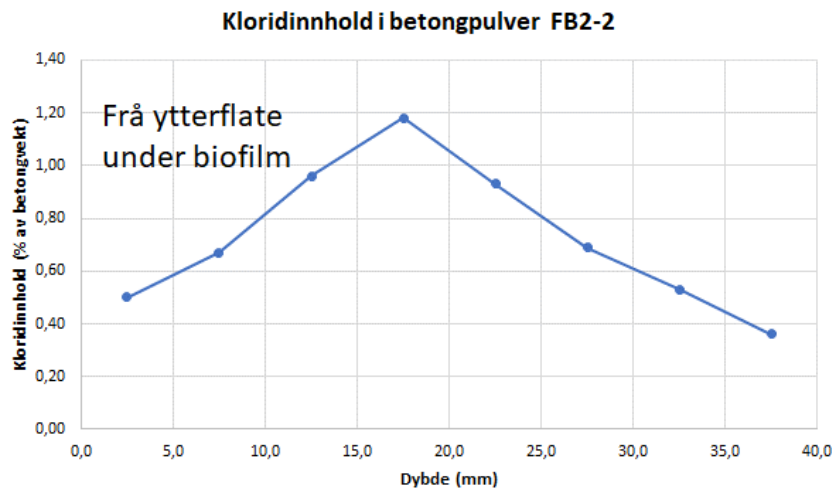
Figur 55: Felt 1-2015. Kloridprofilar frå ytterflata med biofilm og frå heftsona til kjerne FB1-4, samt kloridprofil frå ytre deler av kjerne FG1-2 utan biofilm. Ytterste ca. 2,5 mm blei kappet av og er ikkje analysert.



Figur 56: Felt 1-2015. Kjerne FB1-2 nesten utan fiberkorrosjon, med unntak av marginal korrosjon ytterst mot biofilm.



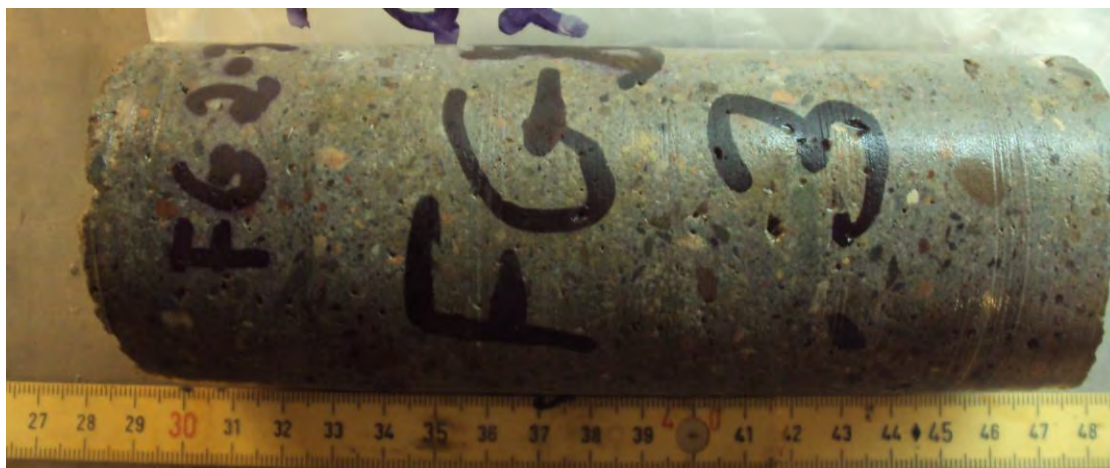
Figur 57: Felt 2-2015. Kjerne FB2-2 med PP-fiber. Overflate mot venstre utan fiberkorrosjon.



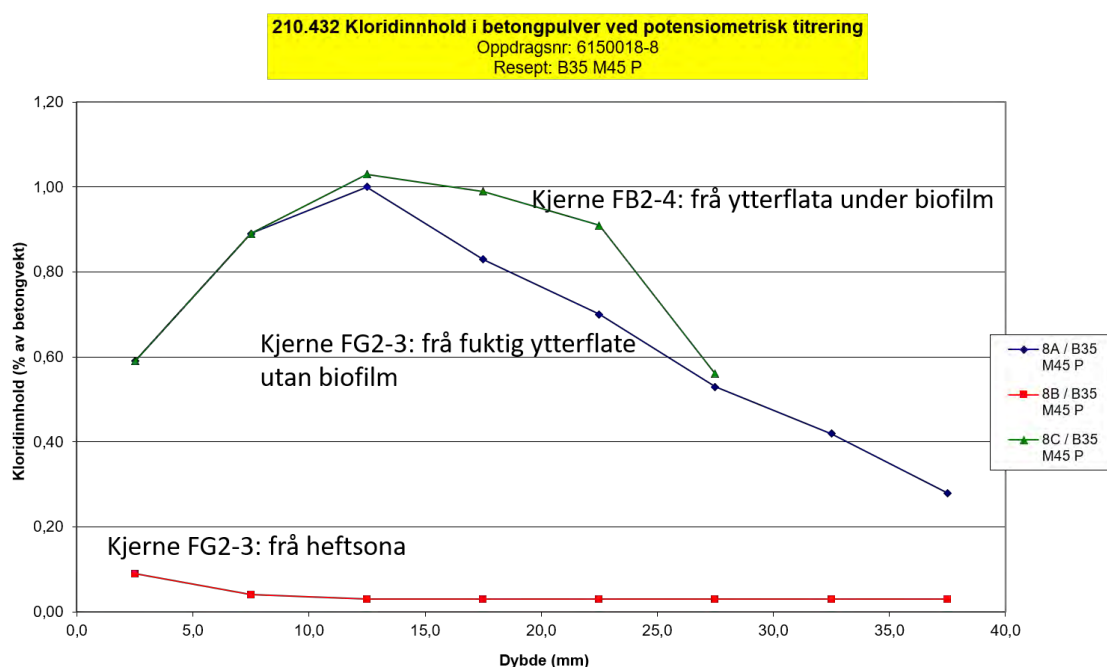
Figur 58: Felt 2-2015. Kloridprofil frå ytre delar under biofilm (kjerne FB2-2). Ytterste ca. 2,5 mm blei kappet av og er ikkje analysert.



Figur 59: Felt 2-2015. Kjerne FB2-4 med PP-fiber.



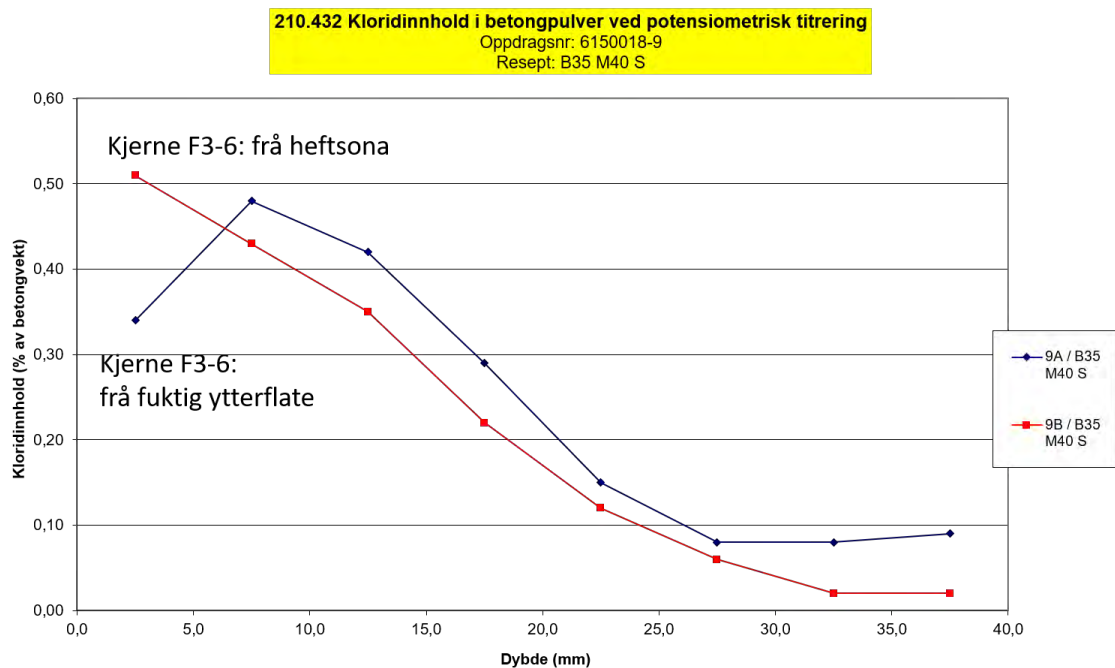
Figur 60: Felt 2-2015. Kjerne FG2-3 med PP-fiber.



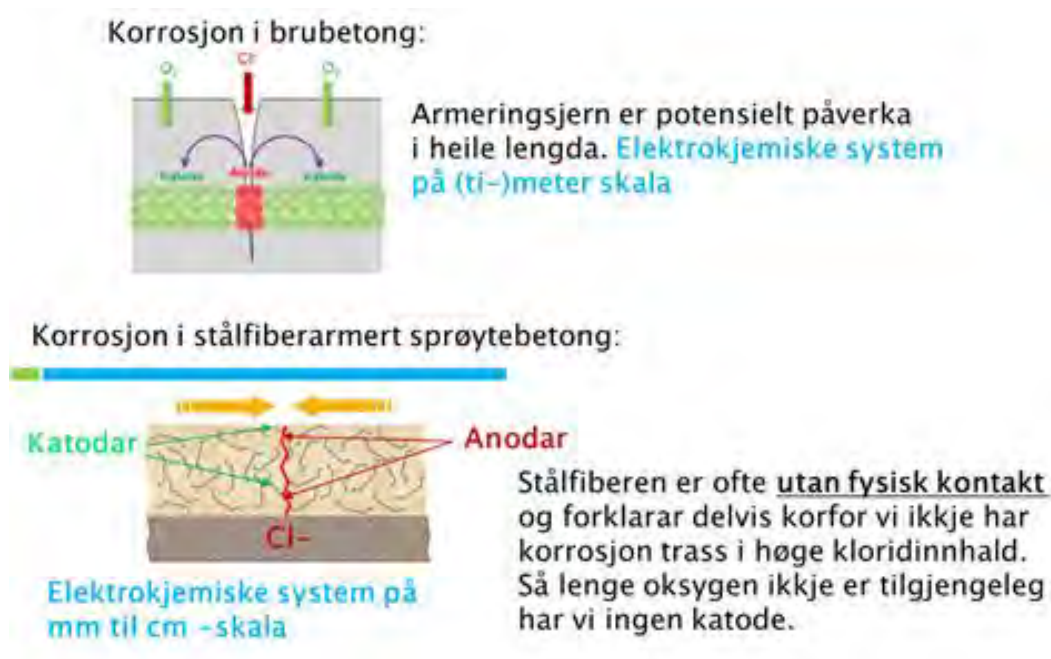
Figur 61: Felt 2-2015. Kloridinnholdet frå ytre deler av betongen mot biofilm (Kjerne FB1-4) samsvarer i grove trekk med kloridinnholdet frå ytre deler av Kjerne FG2-3 utan biofilm. Kloridinnholdet mot heftsona i Kjerne FG2-3 med god heft mot berg er lågt. Med unnatak av marginal korrosjon mot biofilm blei det ikkje observert fiberkorrosjon. Ytterste og inste del mot heftsona blei kappet av og er ikkje analysert.



Figur 62: Felt 3-2015. Kjerne F3-6. Utan spesielle teikn på primær fiberkorrosjon mot overflata (venstre) og elles med tydeleg intakt stålfiber (blanke).

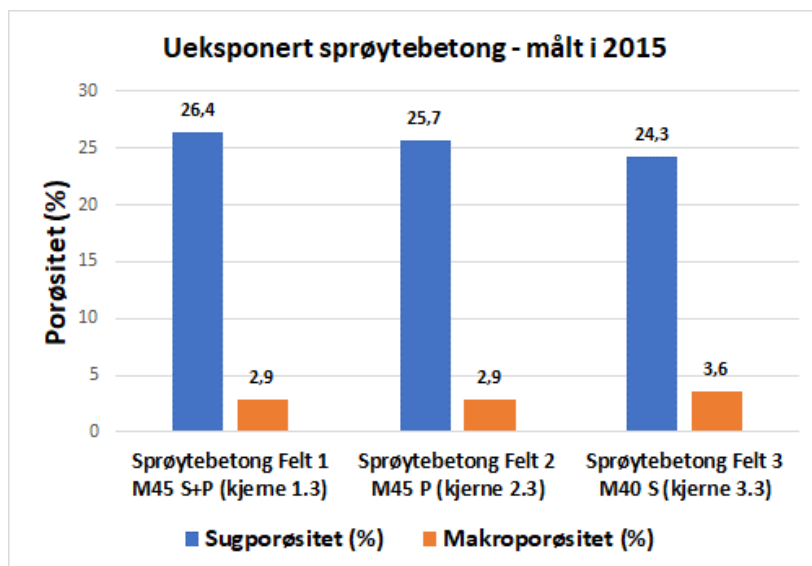


Figur 63: Kjerne F3-6, Felt 3 utan biofilm. Høgt kloridinnhald både i fuktige ytterflate (lab nr 9A, eksponert for tunnelluft) og mot heftsona (Lab nr 9B, påverka av salt grunnvatn). Det var teikn på sekundær fiberkorrosjon med utfelling av rust utanpå sylindrane etter utboring, men ingen tydelege teikn på primær fiberkorrosjon. Ytterste og inste del mot heftsona blei kappav og er ikkje analysert.



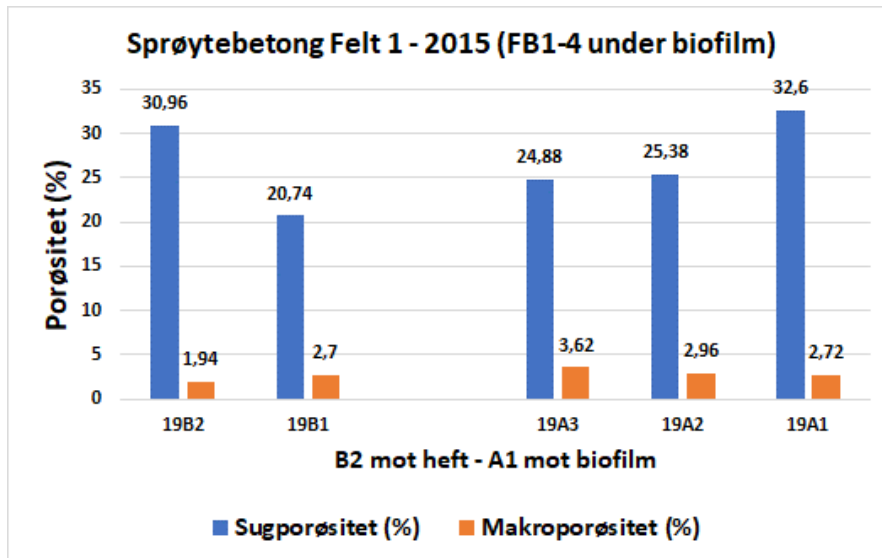
Figur 64: Omfanget av armeringskorrosjon i kloridinfisert betong er avhengig av tilgangen på oksygen. Omfanget av primær stålfiberkorrosjon i sprøytebetong er styrt av kontakt mellom fibrane og gasspermeabiliteten til sementpastaen.

3.3.6 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF metoden

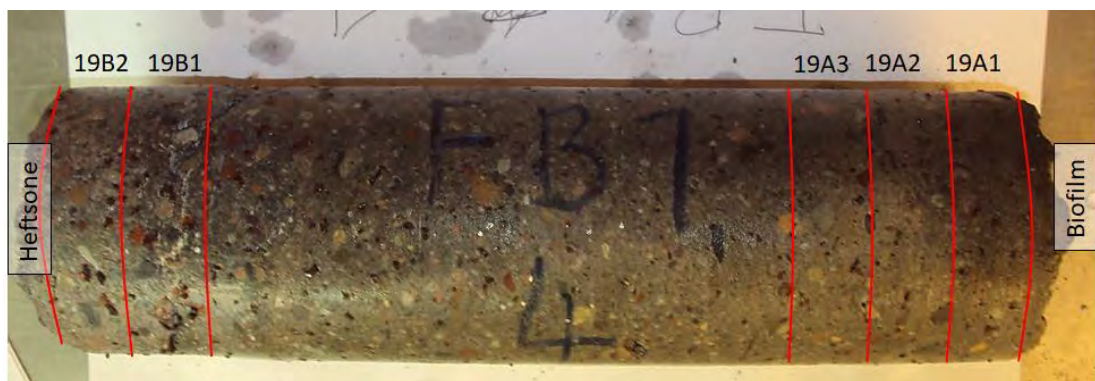


Figur 65: Sprøytebetong bora ut i 2010 og lagra i vatn på Sentrallaboratoriet til 2015.

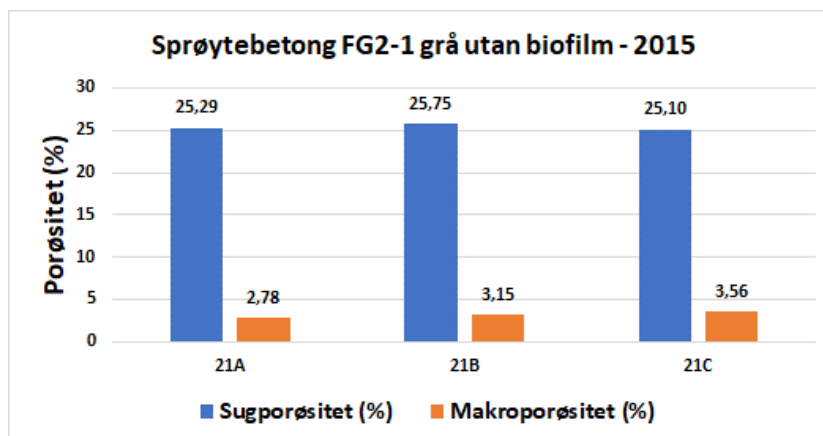
Figur 65 viser sugporøsitet og makroporøsitet i kjerner lagra på Sentrallaboratoriet til 2015. Sprøytebetong utan biofilm (Figur 68) har omtrent same sugporøsitet som ueksponert referanse. Til samanlikning har eksponert sprøytebetong under biofilm høgare sugporøsitet i ytre skive under biofilm (Figur 66 og 67). Dette tolkast som auka sekundærporøsitet påverka av bakteriar. Også nærmaste skive nær heftsona har høgare sugporøsitet enn referansen. Sjøtka i direkte kontakt med hhv biofilm og heftsona er av tekniske årsaker ikkje undersøkte.



Figur 66: Felt 1 Kjerne FB1-4. Sugporøsitet og makroporøsitet mot biofilm og mot heftsona (Figur 67).



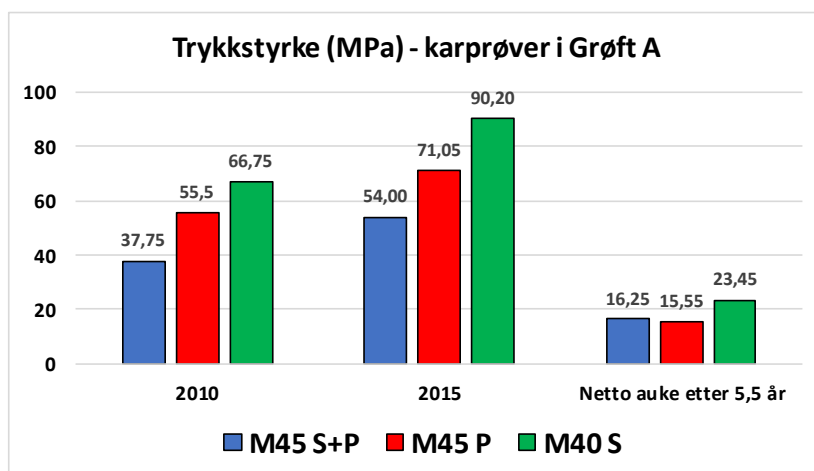
Figur 67: Felt 1 Kjerne FB1-4. Sugporøsitet og makroporøsitet mot biofilm og mot heftsona.



Figur 68: Felt 2, Kjerne FG2-1. Sugporøsitet og makroporøsitet i tre sjikt frå ytterflata.

3.4 Betonganalysar av støypte prøver eksponerte i Grøft A og Grøft B

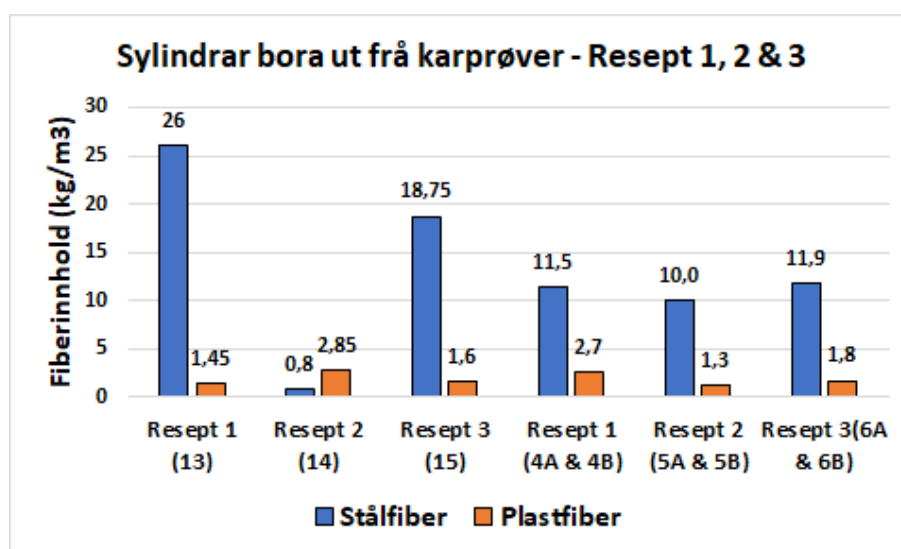
3.4.1 Trykkstyrke – karprøver



Figur 69: Sylindrefastheit i sylindrar bora ut frå ueksponerte karprøver i 2010 (94 døgn) og i sylindrar bora ut etter eksponering i 5,5 år. Middelerdiar av to parallelle prøver.

Prøvene frå 2010 blei bora ut frå ueksponerte karprøver prøver og trykte ved alder 94 døgn. Nye sylindrar blei bora ut frå karprøver eksponert til hausten 2015. Figur 69 viser resultatane. Trykkstyrken har auka frå 30–67 MPa i 2010 til ca. 55–90 MPa i 2015. Trykkstyrken til resept 3 (M40S) auka mest i forhold til 2010.

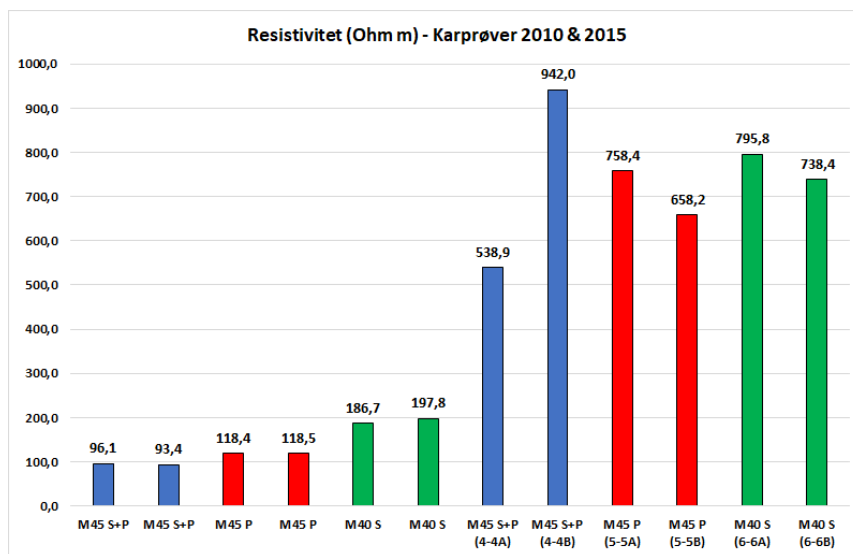
3.4.2 Fiberinnhald – karprøver



Figur 70: Fiberinnhald i prøver bora ut frå betong støypt ut plastkar. Middelerdiar av to prøver. Prøvene 13, 14 og 15 blei undersøkt i 2010, resten i 2015.

Det var delvis svært stor forskjell mellom parallelleprøvene med tanke på stålfiber (sjå Vedlegg 8). Gjennomsnittet av dei undersøkte karprøvene er stålfiberinnhaldet ligg lågare enn i sprøytebetongfeltene på tunnelveggen (sjå Figur 42). Årsaka kan vere ulike effektar av gravitativ separasjon.

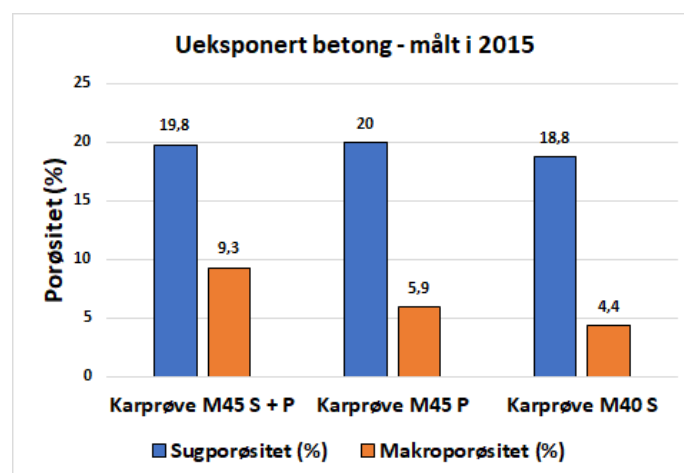
3.4.3 Resistivitet –karprøver



Figur 71: Resistivitet i sylindrar bora ut frå kar. Resistivitet ved 3 månader i laboratoriet (venstre) og resistivitet ved 5,5 år etter eksponering i Grøft A (prøvene 4–4A til og med 6–6B).

Resistiviteten i karprøvene auka med tida (Figur 71). Middelerdiene for kvar resept er 740 Ohm-m (M45 S+P); 708 Ohm-m (M45 P) og 767 Ohm-m (M40 S), som er mykje høgare resistivitet enn sprøytebetong med same reseptar (Felt 1, 2 & 3: Figur 43). Årsaker til forskjellane kan vere ulik grad av kompaktering eller at støypte prøver lettare oppnår ønska masseforhold. Eksponeringsmiljøet kan spele inn, men det aller meste av betongen var ennå upåverka av nedbryting.

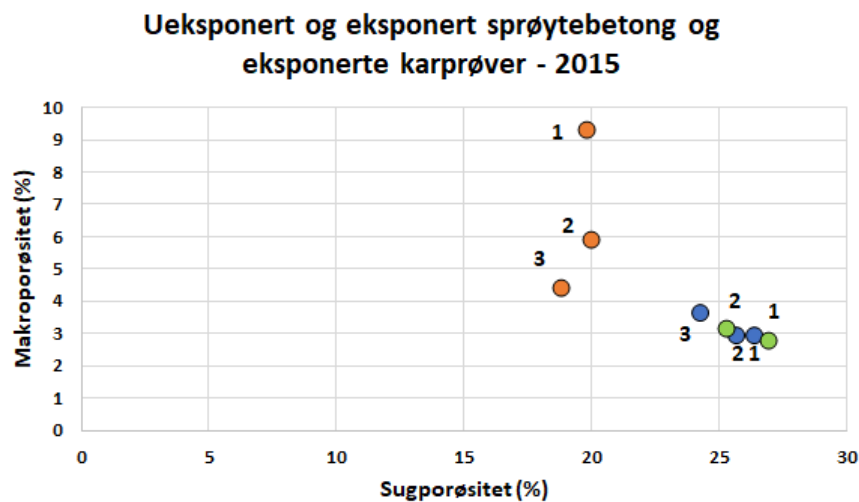
3.4.4 Kapillærsug og PF – karprøver



Figur 72: Sugporøsitet og makroporøsitet i avsaga bitar frå karprøver etter 5,5 års eksponering i ferskvatn i laboratoriet.

Figur 72 viser resultat frå på avsaga bitar av karprøver lagra frå 2010 i laboratoriet, og analysert i juni 2015. Det blei ikkje utført porøsitetsmålingar av karprøver etter eksponering i Grøft A. Sugporøsiteten i karprøvene er lågare enn i sprøytebetongen i Felt 1, 2 og 3 (Figur 73). Makroporøsiteten er derimot høgare enn i sprøytebetongen og lågast i Resept 3 (M40S).

Figur 73 viser også at makroporøsitet og sugporøsitet i eksponert og ueksponert sprøytebetong er ganske like. Resept 3 (M40 S) av sprøytebetong; bare undersøkt i ueksponert betong, har lågast sugporøsitet og høgst makroporøsitet.



Figur 73: Felt 1, 2 og 3: Blå = ueksponerte sprøytebetongsylindrar lagra i vatn ved Sentrallaboratoriet frå 2010 til 2015. Grøn = eksponert sprøytebetong bora ut frå eksponert sprøytebetong (grøn) i 2015.: Resept 3 i eksponert sprøytebetong blei ikkje undersøkt. Grøft A: Brun = avsaga bitar frå ueksponerte karprøver i 2015. Reseptane 1, 2 og 3 er vist med tal.

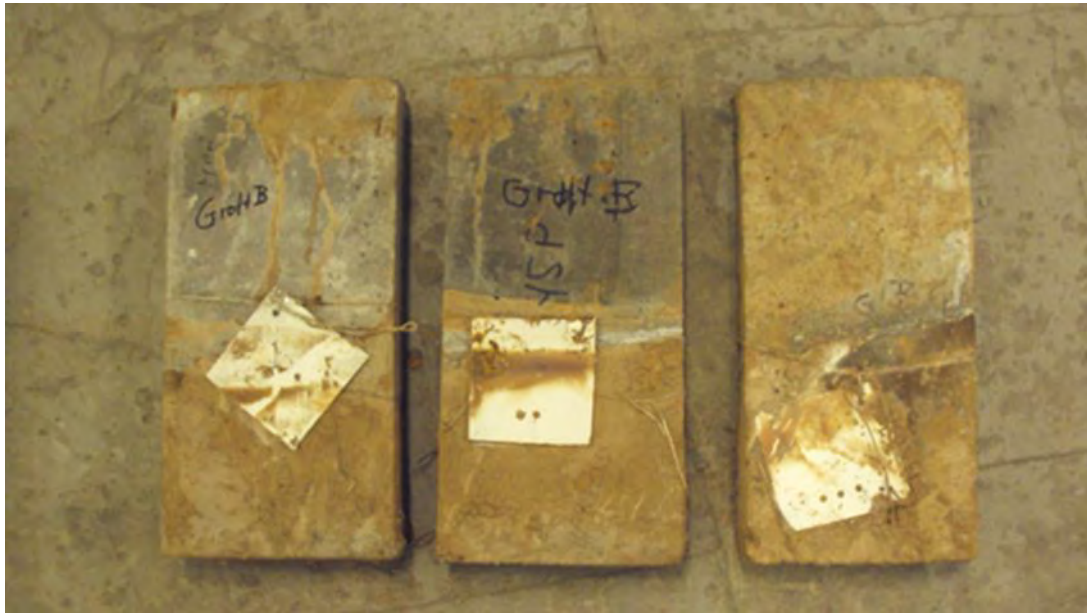
3.4.5 Plateprøver («A4»)

Plateprøvene blei undersøkt for porøsitet og kloridinntrenging. Det blei i tillegg preparert eit tynnslip frå kvar plate for undersøking av nedbrytingsreaksjonar (sjå kapittel 3.6). Figur 76 forklarar korleis prøvene blei preparert.



Figur 74: Plateprøver eksponerte i Grøft A frå mai 2010 til september 2015. Resept 1, 2 og 3 (venstre, midt, høgre). Prøvene sto på høgkant i grøfta og nivået på grøftevatnet varierte over tid. Neddykka nedre

delar står fram som reinare enn øvre delar med biofilm. Dei øvre endane stakk alltid opp over grøftevatnet.



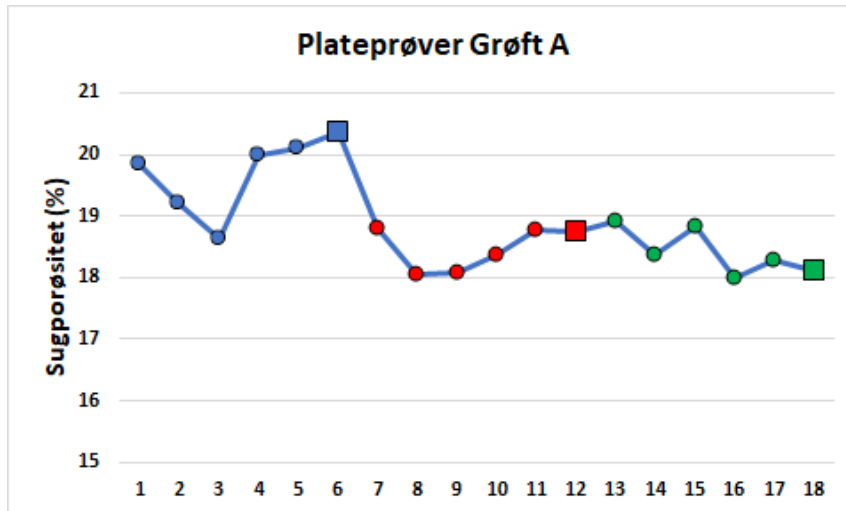
Figur 75: Plateprøver eksponerte i Grøft B frå mai 2010 til september 2015. Resept 1, 2 og 3 (venstre, midt, høgre). Prøvene sto på høgkant i grøfta og nivået på grøftevatnet varierte over tid. Nedre delar var neddykka i slam og vatn. Dei øvre endane stakk alltid opp over grøftevatnet.



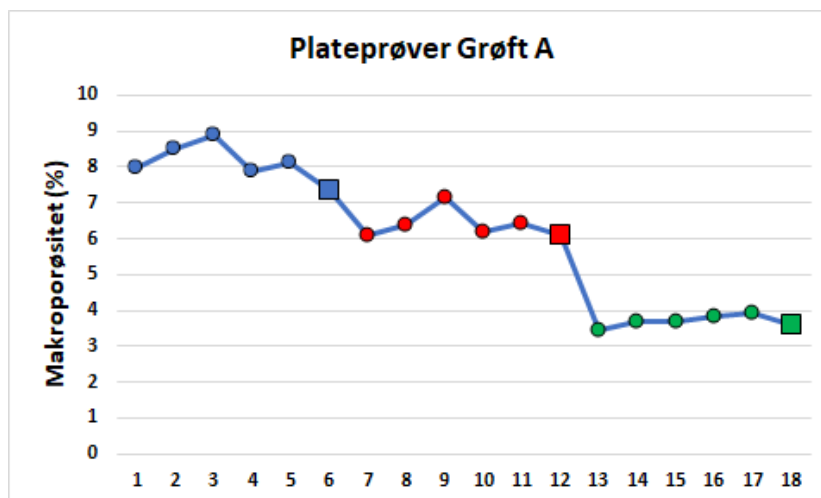
Figur 76: Øvst: Alle plateprøvene blei kapp opp på langs i tre parallelle delprøver. Den sentrale delen blei brukt for kloridinntrenging og ein annan del blei brukt for kapillærsug og porøsitet. Nedst: Delprøvene for samanlikning av kloridinnhald og porøsitet blei kapp opp i fem 50 mm terningar frå botnen av grøftene og 250 mm oppover, samt 50 mm terningar som referanse frå den ueksponerte toppen av kvar plateprøve. Dei siste delprøvene blei reservert for tynnslip av den nedste delen mot botnen av kvar grøft. Foto: Trond A. Lorentzen.

Figurane 77–79 viser gjennomsnittleg sugporøsitet, makroporøsitet og totalporøsitet i kvar 50 mm kube frå kvar resept frå Grøft A, og er samanlikna med gjennomsnittleg klordinnhald i like nivå (Figur 80). Tilsvarende resultat frå Grøft B er vist i figurane 81–84.

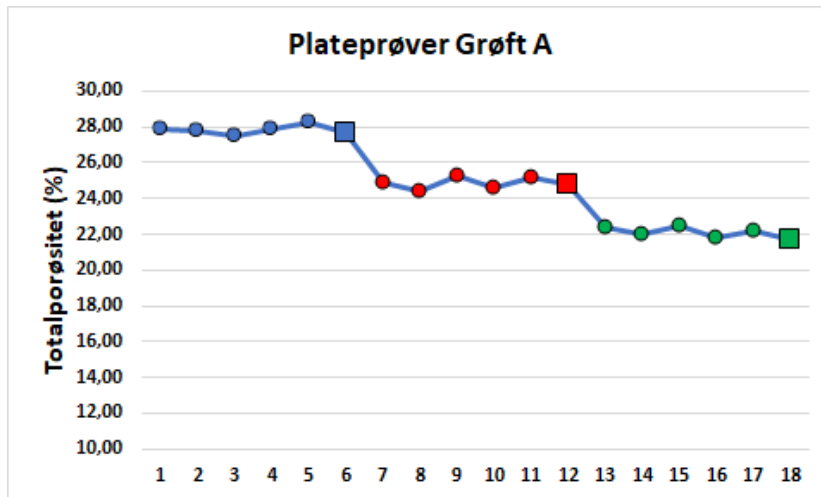
3.4.5.1 Grøft A



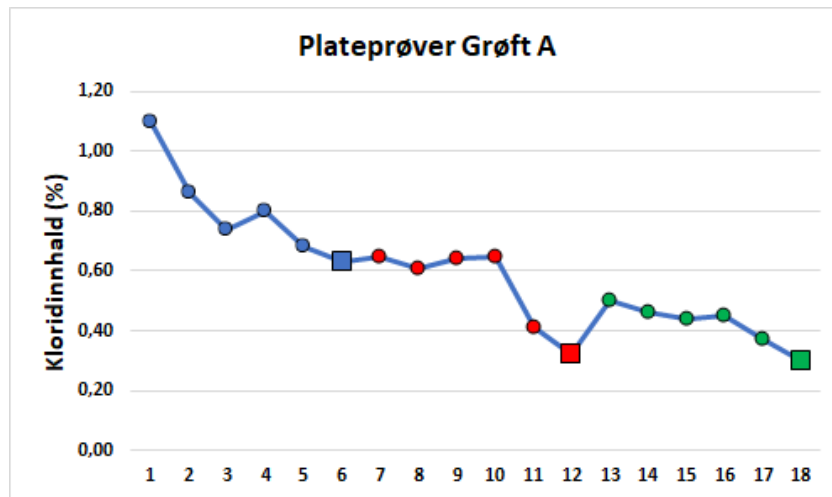
Figur 77: Sugporøsitet i seks 50 mm terningar frå kvar resept. Blå = M45S+P; raud = M45P og grøn = M40S. Diagrammet viser resultatata frå botnen av grøfta (lengst til venstre) og suksessivt oppover (mot høgre i diagrammet). Øvste del som stakk opp over grøftevatnet (referanse) er vist som kvadrat.



Figur 78: Makroporøsitet i seks 50 mm terningar av kvar resept. Symbol som i Figur 77.

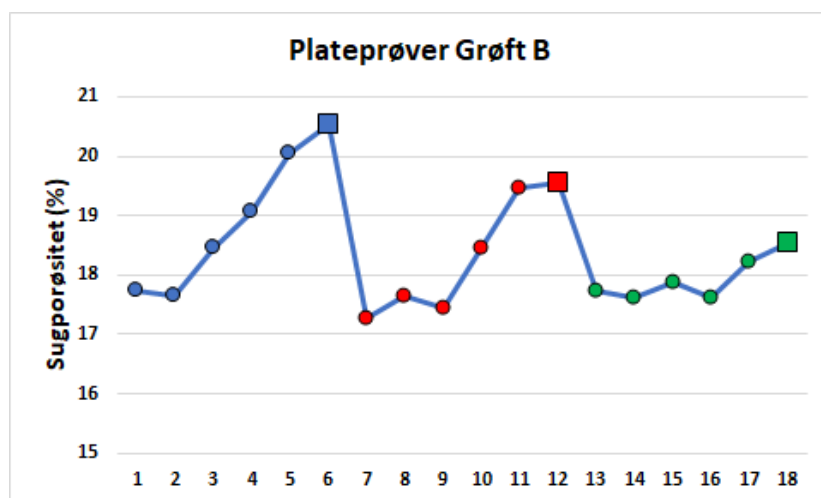


Figur 79: Totalporøsitet i seks 50 mm terningar frå kvar resept. Symbol som i Figur 77.

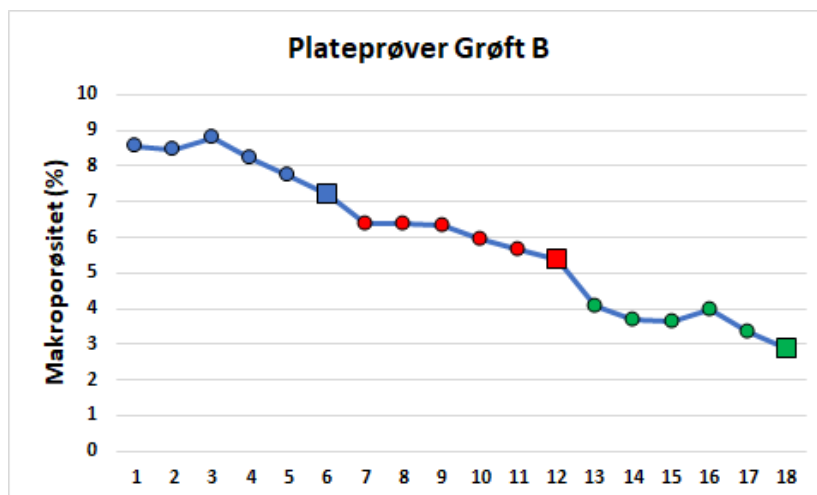


Figur 80: Kloridinnhald i seks 50 mm terningar frå kvar resept. Symbol som i Figur 77.

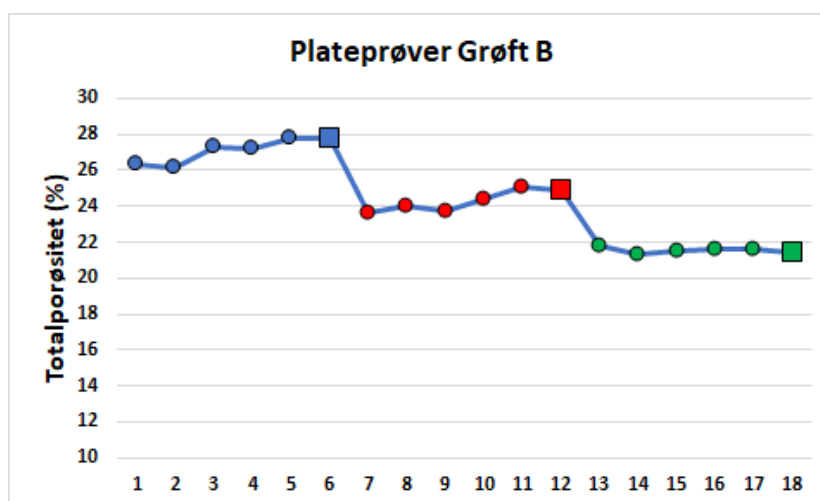
3.4.5.2 Grøft B



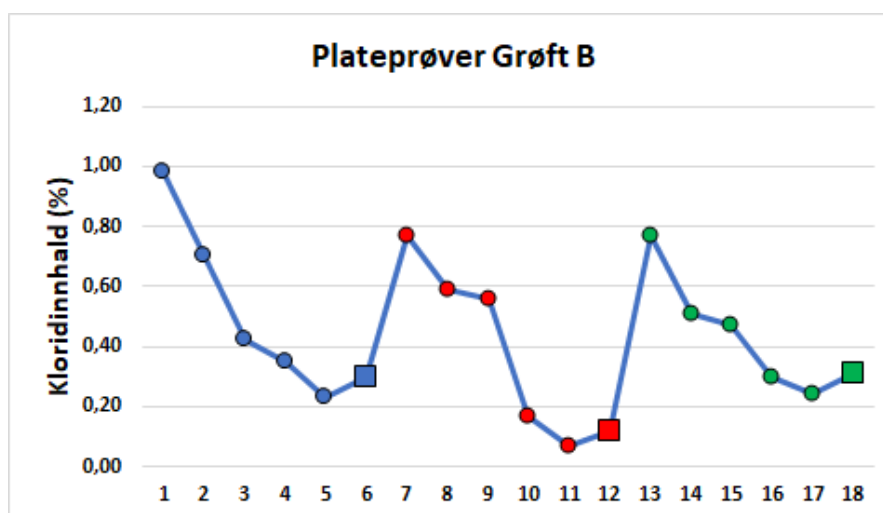
Figur 81: Sugporøsitet i seks 50 mm terningar frå kvar resept. Symbol som i Figur 77.



Figur 82: Makroporøsitet i seks 50 mm terningar av kvar resept. Symbol som i Figur 77.



Figur 83: Totalporøsitet i seks 50 mm terningar frå kvar resept. Symbol som i Figur 77.



Figur 84: Kloridinnhald i seks 50 mm terningar av kvar resept. Kloridinnhaldet aukar systematisk frå botn og oppover i kvar serie. Symbol som i Figur 77.

Det er generelt etablert at permeabilitetskoeffisienten til betong aukar eksponentielt i takt med sugporøsitet og at diffusjonskoeffisienten er nær lineært korrelert med sugporøsitet. Ein ventar derfor at kloridinntrenginga under elles likeverdige påverknad av saltvatn vil auke i takt med sugporøsiteten, men også i noko grad vere avhengig av makroporøsiteten og totalporøsiteten.

Resultata viser at det er tydelege forskjellar mellom reseptane, og også forskjellar mellom Grøft A og Grøft B. Vi kan ikkje sjå bort frå at graden av kloridinntrenging kan vere påverka av dei ulike lokale eksponeringsmiljøa (Kapittel 3.2). Utluting av Ca frå sementlimet vil kunne gje auka porøsitet (sekundærporøsitet) og høgare diffusjon. Ca-konsentrasjonen i vatn i Grøft B med stillestående vatn er svært høgt samanlikna med Grøft A (Figurane 18 og 23) og tyder på utluting av portlanditt. Også plateprøven i Grøft A kan ha blitt utluta i same grad som plateprøvene i Grøft B, men effekten vil vere kamuflerte ved stadig påfyll av rennande vatn frå Rør A med lågare Ca konsentrasjon. Ein eventuell innverknad av utluting med tanke på porøsitet og kloridinntrenging er sannsynlegvis ganske lik i begge grøftene.

Sugporøsiteten i plateprøvene i Grøft A viser at resept 3 (M40S) som venta er låg. M45P er nokså lik M40S, mens M45SP har høgare gjennomsnittleg sugporøsitet. Prøvene i Grøft A viser ingen opplagt samvariasjon mellom sugporøsitet og avstand frå botn av grøfta og oppover, og det er ingen klar samanheng mellom sugporøsitet og kloridinnhald: Kloridinnhaldet i plateprøvene frå Grøft A minkar frå botn til topps i kvar resept ($M45S+P > M45P > M40S$), utan korrelasjon med sugporøsitet, makroporøsitet og totalporøsitet.

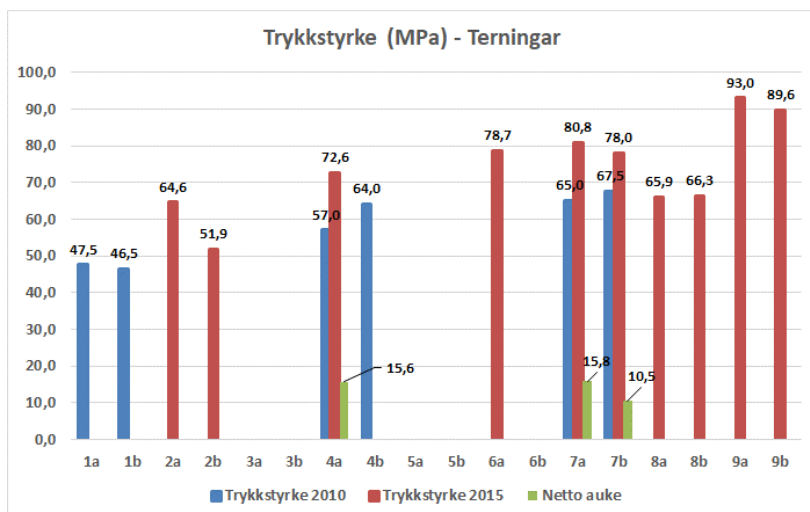
Prøvene frå Grøft B viser derimot eit anna mønster for alle reseptane. Sugporøsiteten aukar kraftig og systematisk frå delprøvene som låg mot botnen av grøftene og oppover til toppen av plateprøvene. Gjennomsnittleg sugporøsitet for M45S+P høgst og resept M40S er lågast, tilsvarende prøvene i Grøft A ($M45SP > M45P > M40S$). Kloridinnhaldet i plateprøvene frå Grøft B minkar systematisk frå botn til topps i alle reseptane ($M45S+P \geq M45P \approx M40S$). Alle reseptane viser har høgst kloridinnhald i botnen av grøftene med lågaste sugporøsitet, makroporøsitet og totalporøsitet og lågast i referanseprøvene (som alltid stakk opp over vassflata) som hadde høgste sugporøsitet, makroporøsitet og totalporøsitet.

3.5 Betonganalysar av terningar eksponerte i tunnelluft

På grunn av problem med prøvemerkinga som beskrive i kapittel 2.4 er det ikkje fullt klarlagt kva for reseptar dei enkelte terningane representerer. I 2015 viste det seg at også eit par terningar var blitt borte. Vi valte derfor å hente inn alle terningane og avslutte forsøket i 2015. Parallellprøvene 2a & b, 6a & b og 9a & b er sikkert identifiserte som hhv M45S+P, M45P og M40S.

3.5.1 Trykkstyrke

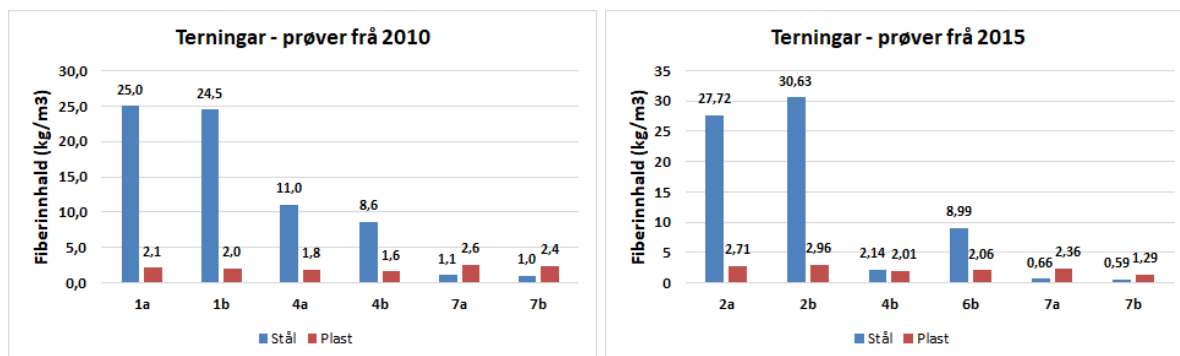
Ut frå trykkstyrke aleine er det ikkje muleg å sikkert avklare kva for resept dei enkelte laboratorieprøvene representerer. Figur 85 viser resultat frå dei enkelte prøvenummera. Prøvene 3a & b, 5a & b og 6b blei ikkje testa. Trykkstyrken auka generelt frå 2010 til 2015.



Figur 85: Trykkstyrke (tarningfastheit) – tarningar eksponert i tunnelluft.

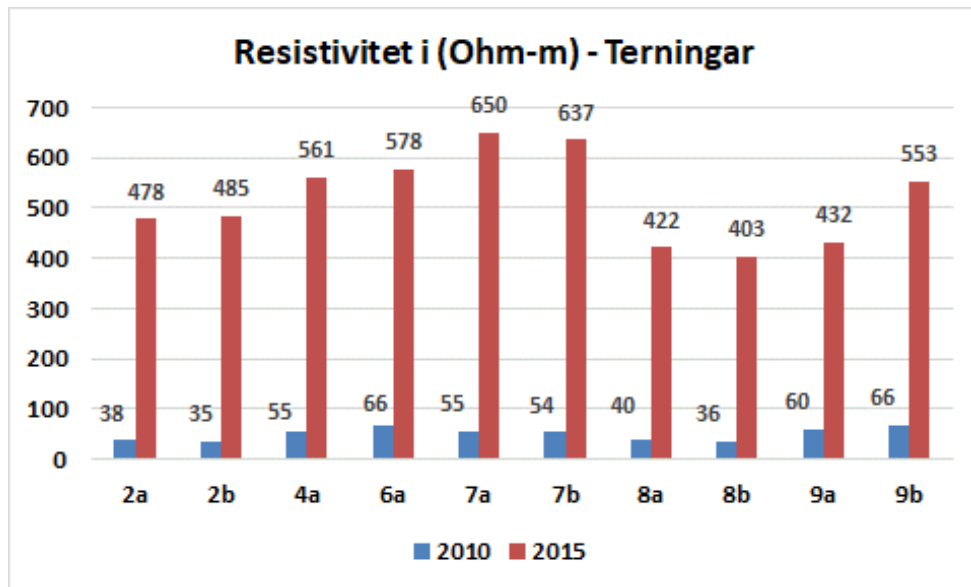
3.5.2 Fiberinnhald

Fiberinnhaldet (Figur 86) er nokså ujamnt fordelt, for eksempel i parallellprøvene 4a og 4b. Fiberinnhaldet i prøvene 1a & 1b og 2a & 2b samsvarer best med resept 1, men kan også vere resept 3. Prøvene 7a & 7b samsvarer med resept 2, medan prøvene 4a & 4b og 6b ikkje er sikkert definerte.



Figur 86: Fiberinnhald bestemt i enkeltertningar. Merk at lab-prøvenummera 4a og 4b i dei to diagramma er ulike prøver.

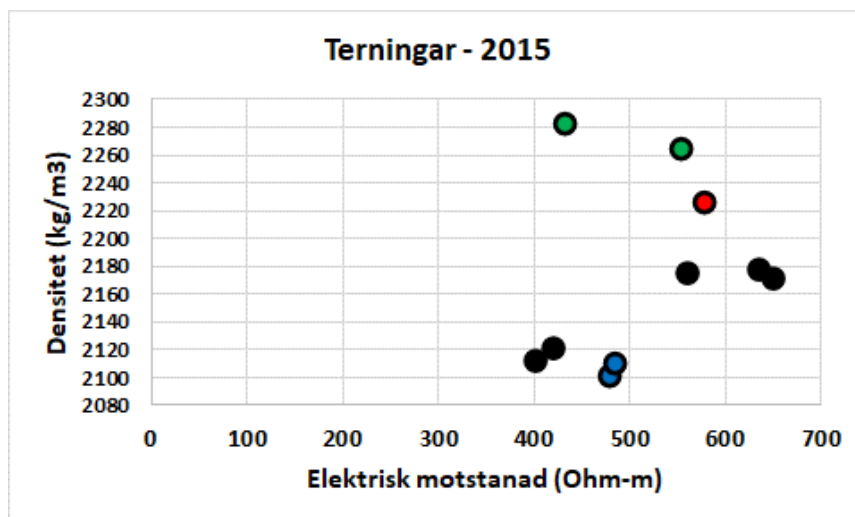
3.5.3 Resistivitet



Figur 87: Endringer i resistivitet i terningprøver fra 2010 til 2015.

Den elektriske motstanden i terningprøvene var i 2015 mellom 403 Ohm-m og 650 Ohm-m (Figur 87). Dette er litt lågare enn resistiviteten i karprøvene eksponert i Grøft A og Grøft B, som varierte mellom 540 Ohm-m og 940 Ohm-m etter eksponering til 2015. Eksponert sprøytebetongen varierte mellom 295 Ohm-m og 482 Ohm-m. Terningane hadde i 2010 vesentleg lågare resistivitet enn karprøvene, men var høgare enn sprøytebetongen på same tid (Figur 43 og Figur 71).

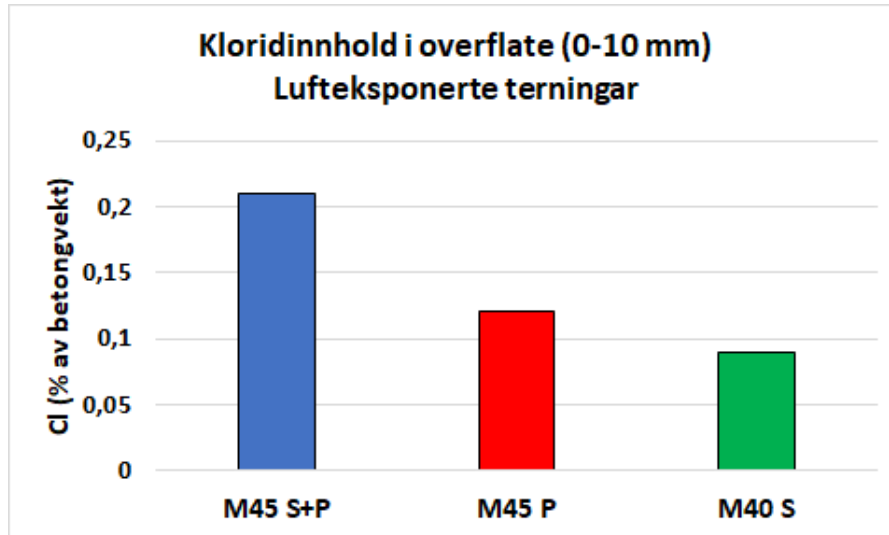
Figur 88 viser forholdet mellom densitet og resistivitet i dei same prøvene som i Figur 87. Dei identifiserte prøvene viser høgst densitet for resept 3 og lågast densitet for resept 1 med resept 2 mellom. Det er ingen generell samanheng mellom resistivitet og densitet.



Figur 88. Resistivitet plotta mot i resistivitet i terningprøvene. Blå = M45S+P, Raud = M45P, Grøn = M40S, Svart = ikkje sikkert identifiserte prøver.

3.5.4 Kloridinnhald

Figur 89 viser gjennomsnittleg kloridinnhald i *ytre 10 mm* i tre terningar. Sentrallaboratoriet vurderte desse til å representere all reseptane. Kloridinnhaldet er som venta lågast i resept 3 (M40S), som er terning 9a.



Figur 89: Kloridinnhald bestemt i ytterflata av tre terningar (hhv. terningane 2A, 6A og 9A).

Kapillærsug og porøsitet

Det blei *ikkje utført* analyse av kapillærsug og porøsitet på terningane.

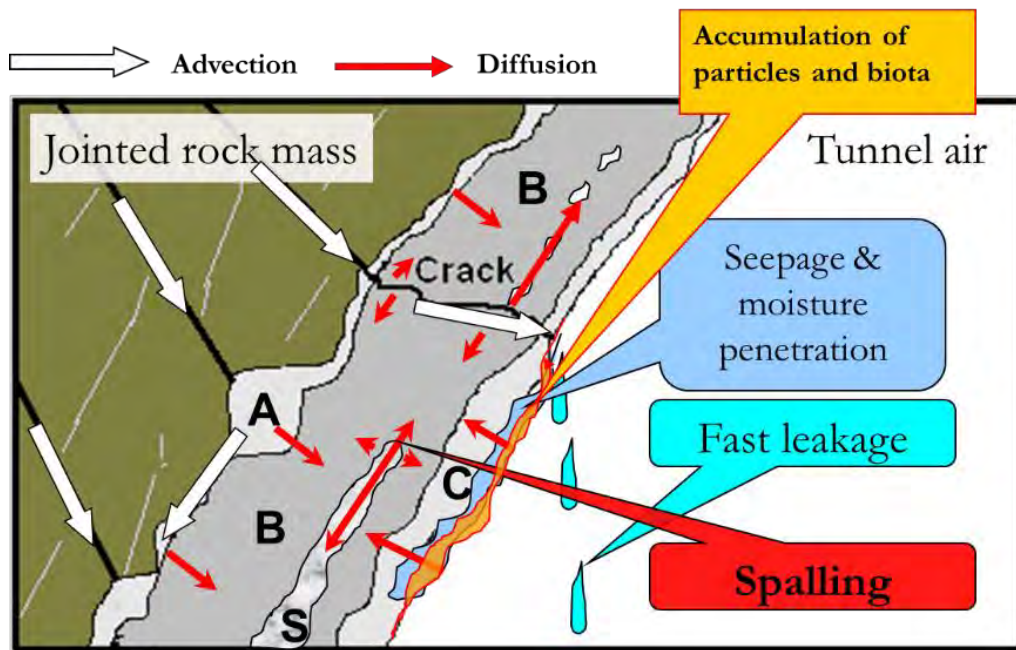
3.6 Petrografi, scanning elektronmikroskopi og røntgendiffraksjon

3.6.1 Sprøytebetong – Felt 1, 2 & 3

3.6.1.1 Nedbryting frå heftsona og frå overflata

I nyare vurderingar av tilstandsutvikling i sprøytebetong er det lagt vekt på tilstandsutviklinga i sprøytebetong mot heftsona (Sone A; Figur 90) og i overflata eksponert for fukt og lekkasjar, med og utan biofilm (Sone C). I undersjøiske tunnelar er omfanget av nedbrytingsreaksjonar bestemt av påverknaden frå salt grunnvatn og av forhold i overflata mot tunnelrommet. Diffusjon av aggressivt tunnelvatn kan trenge inn langs heftsona eller lag i sprøytebetongen og føre til avskaling (S) (Hagelia 2008a).

Det største omfanget av nedbryting i undersjøisk sprøytebetong er funne på stader der aggressivt vatn verkar frå både heftsona og frå overflater under biofilm. Det er registrert tilfelle der sprøytebetongen har blitt kraftig nedbroten etter mindre enn fem år. Dette gjeld særleg i relativt tynn sprøytebetong 50–60 mm under biofilm og der heftsona er opa og vassførande (< 1 mm opning). Undersjøisk sprøytebetong med god heft utan gjennomsettande riss og biofilm viser derimot lita eller inga nedbryting etter omkring 25 år (Hagelia 2007, 2011, 2018a, b).



Figur 90. Aggressivt vatn verkar frå bergmassen og overflata under biofilm. Nedbryting frå heftsona (Sone A) og frå overflata (Sone C) går på bekostning av intakt sprøytebetong (Sone B) og fører i blant til avskaling langs sjikt i betongen eller langs heftsona (S) (Hagelia 2008a).

Metodikken for undersøkingar av tynnslip i polarisert lys og SEM er utført med vekt på å identifisere eventuell nedbrytingsreaksjonar frå heftsona og frå overflate mot biofilm. Det blei valt ut ei kjerne frå kvar resept (Tabell 5) etter 5,5 år eksponering. Det blei preparert to tynnslip av kvar kjerne; eitt frå overflata og eitt frå heftsona. Kvar tynnslip strekker seg 30–35 mm inn i betongen og dekker ei flate på ca. 25 mm x 35 mm. Det blei også utført analyse av utfellingar ved røntgendiffraksjon (XRD) i 2010 til 2014.

3.6.1.2 Mikroskopering av tynnslip i polarisert lys

Undersøkinga blei utført på tynnslip av utvalde kjerner frå alle tre reseptane, bora ut i september 2015. Det blei ikkje laga tynnslip av sprøytebetong frå Felt 1 og Felt 2 utan biofilm. Tabell 5 gir ei oppsummering av nedbrytingsreaksjonar nær heftsona (Sone A) og nær overflata (Sone C). Tilslagspartiklane viste ingen skadeleg reaksjon med sementpastaen og må reknast som inerte. Bergartar med mikrokrySTALLIN kvarts blei observert utan at det var teikn på alkalireaksjonar. Det var ikkje synlege teikn på sulfidmineral.

Nedbrytingsreaksjonane i testbetongen er dei same som er observert i CEM I-basert sprøytebetong i Oslofjordtunnelen og andre undersjøiske tunnelar (Hagelia 2008a, 2011b, 2018a). Nedbrytinga hadde likevel ikkje stort omfang og var utan strukturell påverknad på Felt 1, 2 og 3 etter 5,5 års eksponering. Det er derimot nødvendig å monitorere utviklinga over fleire år for å avdekke langtidsegenskapane. Hefteegenskapane påverka nedbrytingsomfanget i Sone A.

Kjerne FB1-1 (tynnslipa FB1-1a og 1b) hadde permeabel heftsona (0,3 mm breidde), delvis med utfelt brucitt og kalsitt og viste nedbryting med litt thaumasitt sulfatangrep og indre karbonatisering i Sone A (Figur 91 og 92), Dette viser at denne resepten (M45S+P) er sensitiv

for innverknad frå salt grunnvatn sjølv der opninga mellom bergmasse og sprøytebetong er lita. På ytterflata var det utfelt ei tynn hinne med brunsvart biofilm og tynn utfelling av kalsitt og med litt lokal nedbryting av sementlimet til ikkje sementerande magnesium silikathydrat («MSH») med utfelt mikroskopisk kalsitt (Figur 93). I Sone B var det få luftporer, ingen utfellingsprodukt og svært få mikroriss. Dette viser at det var liten grad av vasstransport gjennom tverrsnittet. Men den tilsynelatande intakte sementpastaen var litt lys, noko som ofte blir tolka som teikn på svak utluting av Ca («depleted paste»).

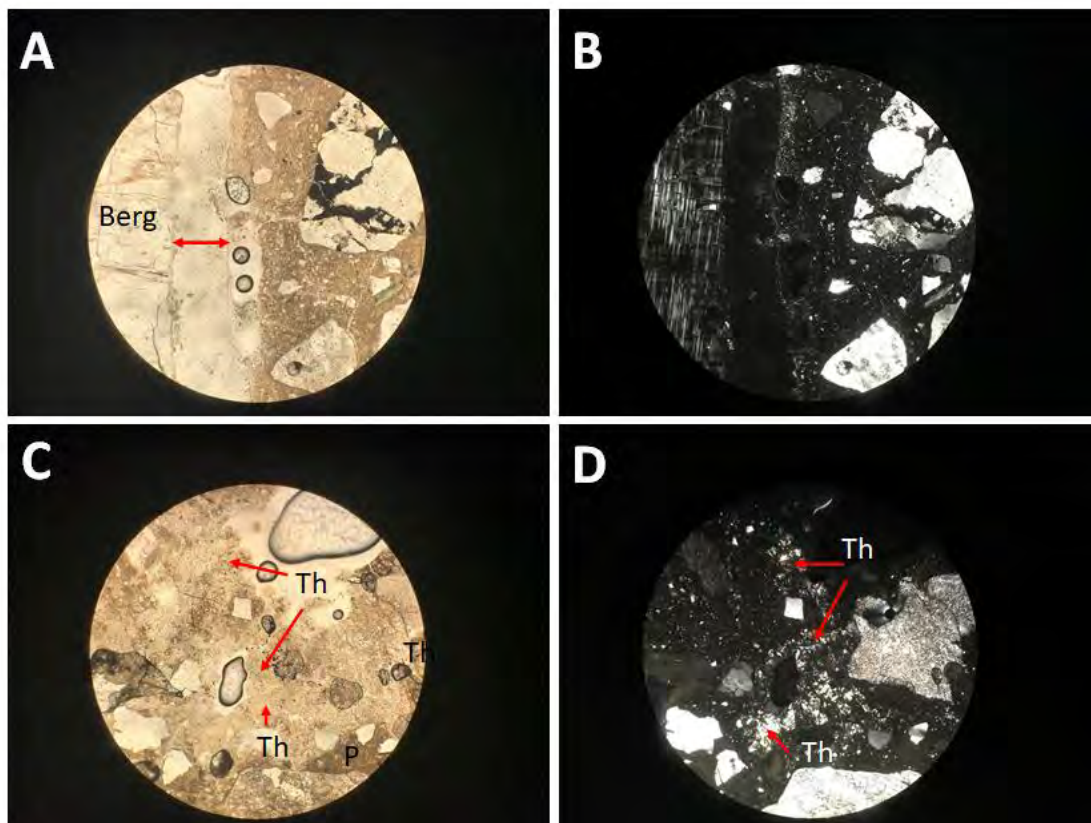
Kjerne FB2-1 (tynnslipa FB2-1a og 1b) hadde ganske god heft med intakt sementpasta rett ved. Sone A var ikkje utvikla i mangel av tilgang på salt grunnvatn. Sone B hadde få luftporer, ingen utfellingsprodukt og svært få mikroriss. Sone C var derimot tydeleg påverka 30 mm innover frå ytterflata, med utluta sementpasta og utfelling av brucitt (Figur 94) og kalsitt knytta til relativt store luftporer.

Kjerne F3-4 (tynnslipa F3-4a og 4b) hadde svært god heft med intakt sementpasta i kontakt med bergmassen (Figur 95). I Sone B var det få luftporer, ingen utfellingsprodukt og svært få mikroriss. Ytterflata var påverka av overflatekarbonatisering (OC) omkring 5 mm innover (Figur 96).

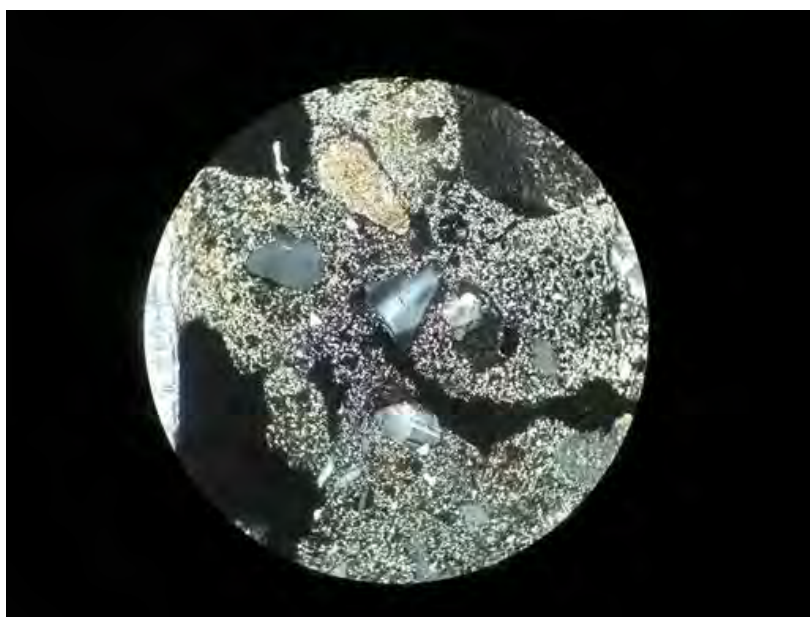
Stålfiber og PP-fiber. Stålfibrane var i hovudsak utan mikroskopiske teikn på korrosjon (Figur 96). I eitt tilfelle blei det observert mikroskopisk påvekst av mørke filament utan rustfarge i utluta og karbonatisert sementpasta (tynnslip FB1-1b, Figur 96B). Alle andre ståfibrar var frie for korrosjonsprodukt (Figur 96A og C). PP-fiber observert i tynnslipa frå Felt 1 og Felt 2 var tydeleg under stress og til var dels oppflisa (Figur 97). Sjå elles undersøkingar av PP-fiber ved XRD og SEM (kapittel 3.6.1.3).

Tabell 5. Oppsummering av petrografisk undersøkning av tynnslip frå tre utvalde kjerner av sprøytebetong. Betongalder 5,5 år. OC = ordinær luftkarbonatisering. PCD = karbonatisering pga. Ca-utvasking frå sementpasta. TF = thaumasitt utfelt i primære porer. TSA = thaumasitt sulfatangrep som erstattar sementpasta. MSH = magnesium silikathydrat, truleg med litt Ca. Br = brucitt (Mg(OH)₂), Cc = kalsitt (CaCO₃). *) lokal svært marginal fiberkorrosjon 22 mm frå heftsona (Figur yy). Omfanget av Sone B (intakt sementpasta) er oppgitt som mm av lengda til kvart tynnslip. Tykkelse av sprøytebetongsjikt er oppgitt som kjernelengde frå overflate til heftsona.

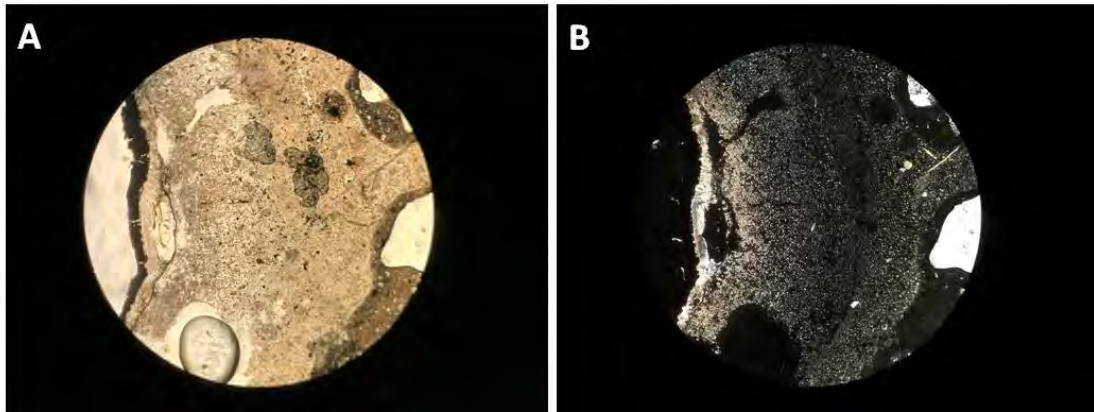
Tynnslip nr. - lokalisering - kjernelengde	Heftforhold Permeabel heftsona (µm)	Sone A (mm)	Sone B (mm)	Sone C (mm)	Ytre Sone C (µm)
FB1-1a (M45S+P) - Mot overflata under biofilm - 140 mm	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet	34 mm. Få luftporer: ingen utfellingar. Ingen fiber- korrosjon	0-1 mm: MSH m/Cc: Ingen fiber-korrosjon. PP-fiber under stress	Biominerale: 50 µm Cc utfelling: 50 µm
FB1-1b (M45S+P) - Mot heftsona - 140 mm	Litt dårleg heft Opning: 300 µm lokalt m/utfelling av Br og Cc	TSA/TF: 10 mm. PCD: 0-15 mm ved større luftporer: 1 eksempel på mikroskopisk stålfiberkorrosjon *) Mange stålfibrar utan korrosjon. Ingen PP-fiber i tynnslipet	23 mm. Få luftporer: ingen utfellingar. Ingen fiber- korrosjon Intakt sementpasta	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet
FB2-1a (M45P) - - Mot overflata under biofilm - 80 mm	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet	5 mm intakt sementpasta. Luftporer: ingen utfellingar. Ingen stål- fiberkorrosjon	30 mm: store luftporer m/ utfelling av Br og eller Cc: Utluta sement-pasta. Ingen stålfiberkorrosjon. PP-fiber under stress	Utfelling av Br: 10 µm. Dårleg overflate.
FB2-1b (M45P) - Mot heftsona - 80 mm	Ganske god heft.	Intakt sementpasta. (Sone A = 0 mm) Ingen fiber i tynnslipet	35 mm. Intakt sementpasta. Luftporer: ingen utfellingar. Ingen fiber- korrosjon	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet
F3-4a (M40S) - Mot overflata utan biofilm - 100 mm	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet	30 mm. Intakt sementpasta. Få luftporer: ingen utfellingar. Ingen fiber- korrosjon	Ingen fiber- korrosjon Intakt sementpasta	OC: 5000 µm Ingen fiberkorrosjon
F3-4b (M40S) - Mot heftsona - 100 mm	Svært god heft	Intakt sementpasta (Sone A = 0 mm). Ingen fiber i tynnslipet.	35 mm. Intakt sementpasta Få luftporer: ingen utfellingar. Ingen fiber- korrosjon	Ikkje representert i tynnslipet	Ikkje representert i tynnslipet



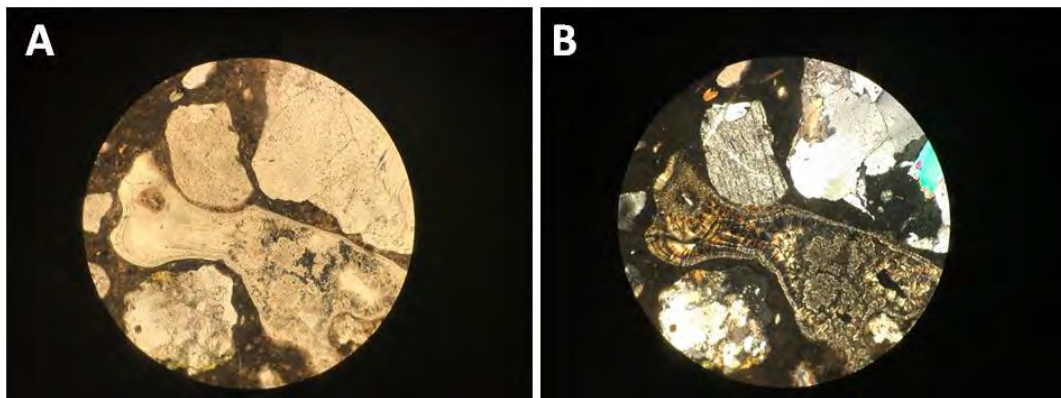
Figur 91. Tynnslip FB1-1b. A (planpolarisert lys): Heftsona mellom berg og sprøytebetong var permeabel med opning = 300 μm (pil). Sementpastaen i Sone A er lys og utvaska med mikrosprekker. B: same utsnitt i dobbelpolarisert lys. C & D (same utsnitt): Deler av sementpastaen nær heftsona var erstatta av thaumasitt (Th). Lokalt bevart intakt brun sementpasta (P). Diameter = 1,7 mm. Foto: Per Hagelia.



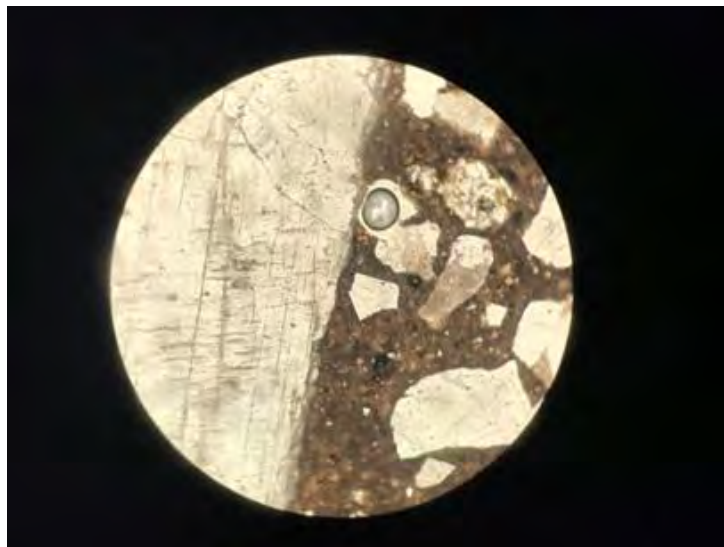
Figur 92. Tynnslip FB1-1b. Utfelling av Popcorn kalsitt (PCD) i Sone A, danne ved utvasking av kalsium frå sementpastaen og reaksjon med karbonat frå grunnvatnet. Dobbelpolarisert lys. Diameter = 1,7 mm. Foto: Per Hagelia.



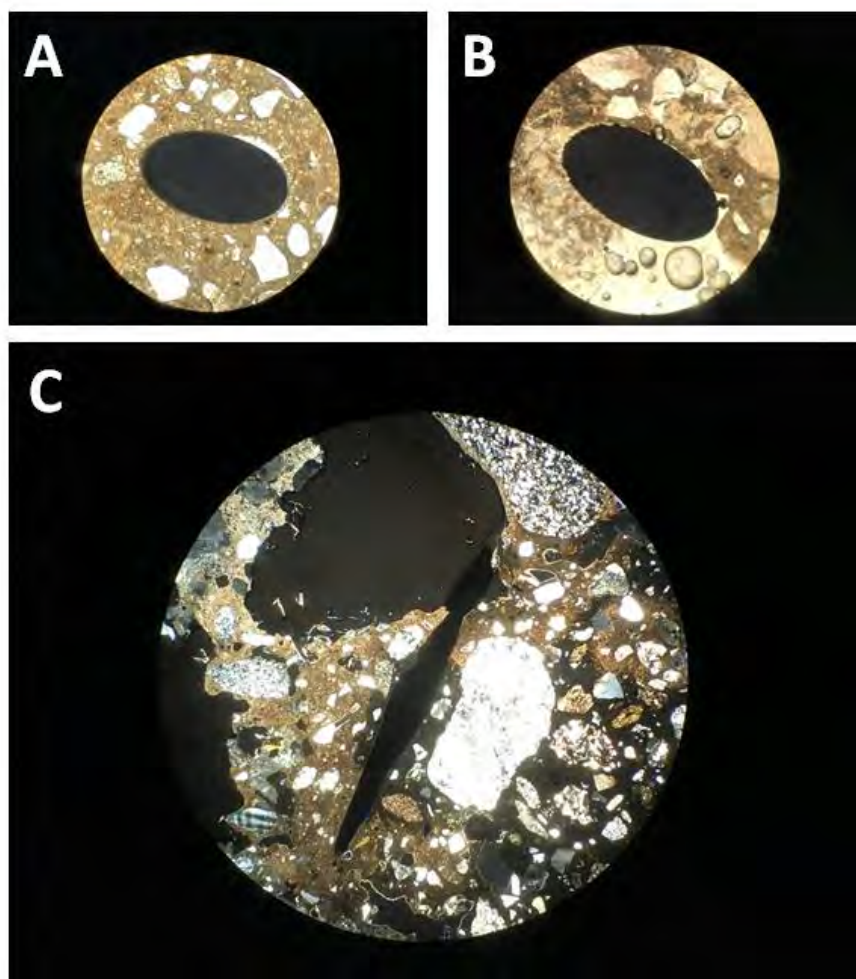
Figur 93. Tynnslip FB1-1a frå overflata og innover i sprøytebetongen mot høgre. A: i planpolarisert lys: med tynn ytre mørk Mn-Fe biofilm (venstre kant) og tynn utfelling av kalsitt utanpå nedbrutt lysebun sementpasta MSH. Mørk brune område er intakt sementpasta ved tilslagskorn av kvarts (høgre). B: i dobbelpolarisert lys, viser spetter av kalsiumkarbonat. Diameter = 1,7 mm). Foto: Per Hagelia.



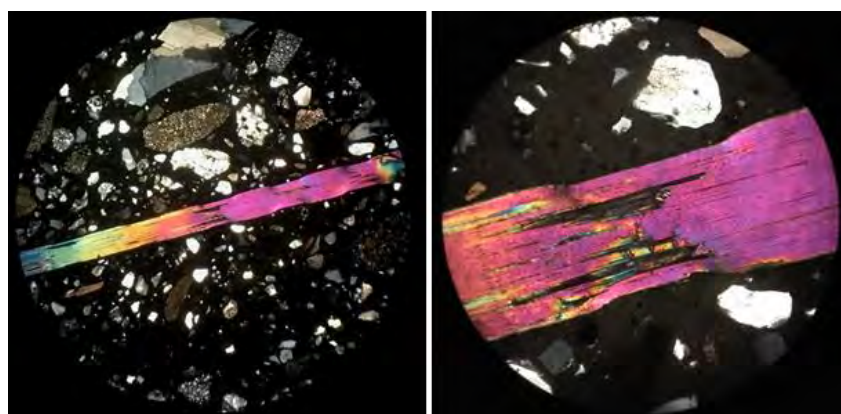
Figur 94. Tynnslip FB21-1a. Utfelling av brucitt ($Mg(OH)_3$) som fyller ei stor luftpore (midt i bildet). A i planpolarisert lys, B i dobbelpolarisert lys. Diameter = 1,7 mm. Foto: Per Hagelia.



Figur 95. Tynnslip F3-4b. Svært god heft mellom berg og sprøytebetong med upåverka brun sementpasta. Planpolarisert lys. Diameter = 1,7 mm. Foto: Per Hagelia.



Figur 96. A: Ukorrodert stålfiber i svakt utluta sementpasta 5 mm frå opa heftsone i tynnslip FB1-1b. B: lokalt svakt korrodert fiber i utluta og karbonisert område 1 mm frå heftsone (tynnslip FB1-1b). C: Tynnslip F3-4a med Intakt stålfiber i karbonisert sprøytebetong nær overflata. Foto A og B; polarisert lys, diameter = 1,7 mm. Foto C; dobbelpolarisert lys. diameter = 8,7 mm. Foto: Per Hagelia.



Figur 97. Makro-PP fibrane var delvis oppflisa og under stress, som vist ved interferensfargar i dobbelpolarisert lys. Tynnslip FB-1a frå Felt 1. Området er omkring 15 mm under overflata mot biofilm. Venstre bilde: diameter = 8,7 mm. Høgre bilde: diameter = 1,7 mm. Foto: Per Hagelia.

3.6.1.3 XRD og SEM-analyse av utfellingar på sprøytebetong og PP-fiber i 2010, 2014 og 2020

Alt i 2010 var det observert utfellingar på sprøytebetongfelta. Det blei samla inn små prøver for mineralogisk analyse ved XRD. Utfellingane er av same type som i andre delar av Oslofjordtunnelen og andre undersjøiske tunnelar, og er typiske for interaksjon mellom sprøytebetong og salt grunnvatn med og utan biofilm (Hagelia 2018a). XRD-resultata er oppsummerte i Tabell 6 og vist i Vedlegg 10.

Tabell 6. XRD utført på utfellingar etter etablering i 2010 og eksponering fram til 2014 eksklusive tilslagsmineral.

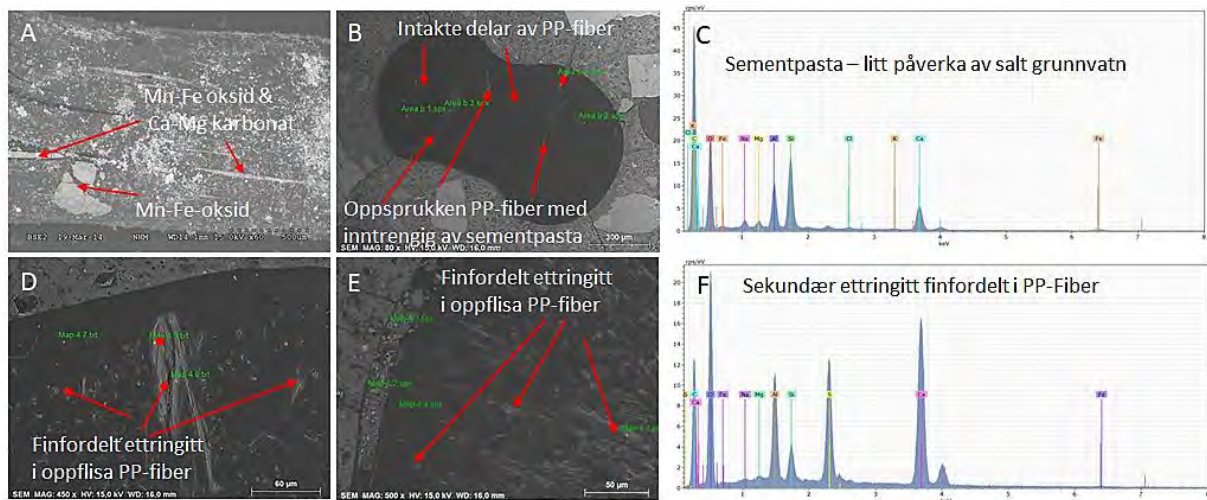
Felt & materialtype	Prøve ID	Årstal	XRD resultat	Merknad
Felt 2, mørk og rusta biofilm i blanding	OTS-mix	2010	Birnessitt, kalsitt, dolomitt & amorft	Mn(IV) biomineral; Ca-Mg karbonat & innslag av amorf Fe (III) fase (ferrihydritt?)
Felt 2, mørk >> rusta biofilm	OTS-black	2010	Amorft	Mn – bakteriar, lite omfang av biomineralisering
Felt 2 lys utfelling	OTS-white	2010	Mg-kalsitt, aragonitt & amorft	Marine karbonat & bakteriar (muleg innslag av amorf ferrihydritt).
Felt 3, kvit fast utfelling	Oslofjord testfelt felt 3	2010	Brucitt, aragonitt & kalsitt	Mg(OH) ₂ og marint karbonat
Felt 1, Mn-Fe biofilm på PP-fiber	Felt 1-1-14 mørk	2014	Kalsitt & amorft	Karbonat og Mn-Fe bakteriar med lite omfang av biomineralisering: muleg amorf ferrihydritt
Felt 1, svak sprøytebetong på PP-fiber	Felt 1-2-14 lys	2014	Kalsitt	Karbonatisert sprøytebetong
Felt 2, ytre sprøytebetong	Felt 2-1-2014	2014	Kalsitt	Karbonatisert sprøytebetong
Felt 3, Kvit utfelling på sprøytebetong	Felt 3 2014	2014	Hydrotalkitt, brucitt, aragonitt, dolomitt, ankeritt, kalsitt, Ca-Mg-Al-silikat & amorft	Mg(OH) ₂ og marine karbonat. Ankeritt (Fe førande karbonat) truleg påverka av fiberkorrosjon). Hydrotalkitt og Ca-Mg-Al silikat truleg danna frå sementhydrat.

Utfellingar på sprøytebetong. Mangan (Mn) – og jern (Fe) bakteriar utan mineralisering er i utgangspunktet amorfe og kan ikkje identifiserast ved XRD. Innslaget av amorft materiale står fram som høg bakgrunn på diffraktogramma, og mykje av det amorfe representerer biofilm. Biominalet birnessitt (Mn-oksid) blei identifisert på Felt 2. Karbonatminerala Mg-kalsitt, aragonitt og dolomitt dannast typisk i kontakt med sjøvatn og salt grunnvatn. Det er også muleg at nokre av karbonata er utfelt ved biokjemiske reaksjonar. Brucitt er danna ved kjemisk reaksjon mellom oppløyst Mg i salt grunnvatn og sementpasta. I Oslofjordtunnelen ved pumpeumpen hadde desse nedbrytingsprodukta ført til lokal svekking av sprøytebetongen etter mindre enn fem år (Hagelia 2007, 2011b).

Utfellingar knytta til PP-Fiber. PP-fiberen var ikkje alltid upåverka. Prøve «Felt1-1-14 mørk» av Mn og Fe biofilm samla i 2014 frå ein utstikkande PP-fiber i overflata bestod stort sett av amorft biofilm-materiale (høg bakgrunn) og kalsitt, i tillegg til kvarts og feltspat frå fint tilslagsmaterial. Lyse utfellingar på PP-fiber var kalsitt (Tabell 6). Det blei også utført SEM-analyse av utfellingar knytta til PP-fiber i 2014 og 2020 (Figur 98). Resultata viser at det er utfelt Mn-Fe oksid knytta til biofilm i utstikkande fiber, både på fiberoverflata og oppflisa fiber (saman med karbonat). PP-fiber internt i betongen viste ulike grader av oppflising, delvis med

omfattande vekst av finfordelt sekundær ettringitt. Vekst av sekundær ettringitt krev stor plass og har i prinsipp ein sprengande verknad som fører til ekspansjon og skade på betong. Det er muleg at finfordelt ettringitt i stressa PP-fiber kan føre til ytterlegare oppflising av PP-fiber i undersjøisk sprøytebetong. Tilstanden i PP-fiber med ettringitt vist i Figur 98D og E er ikkje alarmerande, men viser ein hittil ubeskrive nedbrytingsreaksjon.

Det er ikkje avklara om delaminering/oppflising, med eller utan utfellingar (Figur 97 og Figur 98), har innverknad på funksjonsevna til PP-fiberen i det lange løp. Det er derfor behov for å følgje opp med tynnslipundersøkingar og mekanisk testing på seinare tidspunkt.



Figur 98. Tilstanden til makro-PP fiber i SEM: A: handplukka fiber frå sprøytebetongoverflata (2014) viser oppflising med utfellingar av Mn-Fe oksid på fiberoverflata og tilsvarande med Ca-Mg karbonat langs interne sjikt i fiberen. B, D og E er av intern fiber i tynnslip som viser ulike grader av oppflising under stress internt i sprøytebetongen (prøve T2 M45P i 2020). B: Oppsprukken PP-fiber viser inntrenging av sementpasta på sprekker. C: EDS spektrum av sementpasta (analyse vist ved raudt punkt i B). D og E: Finfordelt sekundær ettringitt internt i oppflisa PP-fiber. F: EDS spektrum av ettringitt (analyse vist med raudt punkt i D). Foto: Hans-Jørgen Berg og Nélia Castro, UiO.

3.6.1.4 Undersøking av biofilm og tynnslip med Scanning elektronmikroskop i 2014 og 2015

2014.

Det blei også samla inn prøver av utfellingar for mikrokjemisk analyse ved SEM. Resultata er vist i Vedlegg 10 og oppsummerte i Tabell 7. Utfellingane er av same type som i andre delar av Oslofjordtunnelen og andre undersjøiske tunnelar (Hagelia 2018a).

Tabell 7. SEM-analyse av utfellingar på overflata av sprøytebetong og PP-fiber, Felt 1, Felt 2 og Felt 3.

Felt & materialtype	Prøve ID/Vedlegg	Årstal	SEM- resultat	Merknad - tolking
Felt 1, mørk og rusta biofilm i blanding	Felt 1/ Vedlegg V10.9	2014	O, Fe, C, Mn, Si, Na, Ca	Mn-substituert FeOOH (biomineral), Ca-karbonat, organisk materiale.
Felt 1, kuleforma utfelling i PP-fiber	Felt 1b/ Vedlegg V10.10	2014	O, C, Mn, Fe, Mg, Si, Al, Na, Cl, Ca, S, K	Mn-Fe-biomineral, brucitt, Mg-Ca-karbonat & organisk materiale, litt innslag av salt.
Felt 1, utfelling i PP-fiber	Felt 1c/ Vedlegg V10.11	2014	O, C, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, Si, Al, Cl, S, K	Mn-Fe-biomineral, Ca-karbonat, muleg brucitt & organisk materiale, litt innslag salt.
Felt 1, utfelling på utsida av PP-fiber (Figur 98)	Felt 1f/ Vedlegg V10.12	2014	O, C, Fe, Mn, Mg, Si, Al, Na, Cl, Ca, K, S	Mg-Ca karbonat, Mn-Fe biomineral, Litt innslag av salt. Muleg organisk karbon
Felt 2, utfelling med biofilm – totalkjemi	Felt 2 Område 1/ Vedlegg V10.13 & V10.14	2014	O, Si, C, Cl, Ca, Na, Al, Fe, Mg, S	Blanding av biofilm, karbonat og fint tilslag
Felt 2, utfelling - totalkjemi	Felt 2 Område 2/ Vedlegg V10.15	2014	O, Ca, Si, Al, Fe, Mg, Na, Ca, Cl, K.	Magnesitt (Mg-karbonat), salt og fint tilslag.
Felt 2, enkeltanalyse av mineralkorn	Felt 2/ Vedlegg V10.16	2014	O, Al, Si, Ca, Fe, Na, Cl, Mg, C, K, S	Uidentifisert mineral med salt
Felt 3, kvit utfelling	Felt 3+2014/ Vedlegg V10.8 & V10.17	2014	O, Cl, Mg, Na, Al, C, Si, S, Ca, K.	XRD (V10.8): Fe-Mg-Ca karbonatmineral, hydrotalkitt, brucitt, Ca-Mg-Al—silikat, amorge samt uidentifiserte, og salt.

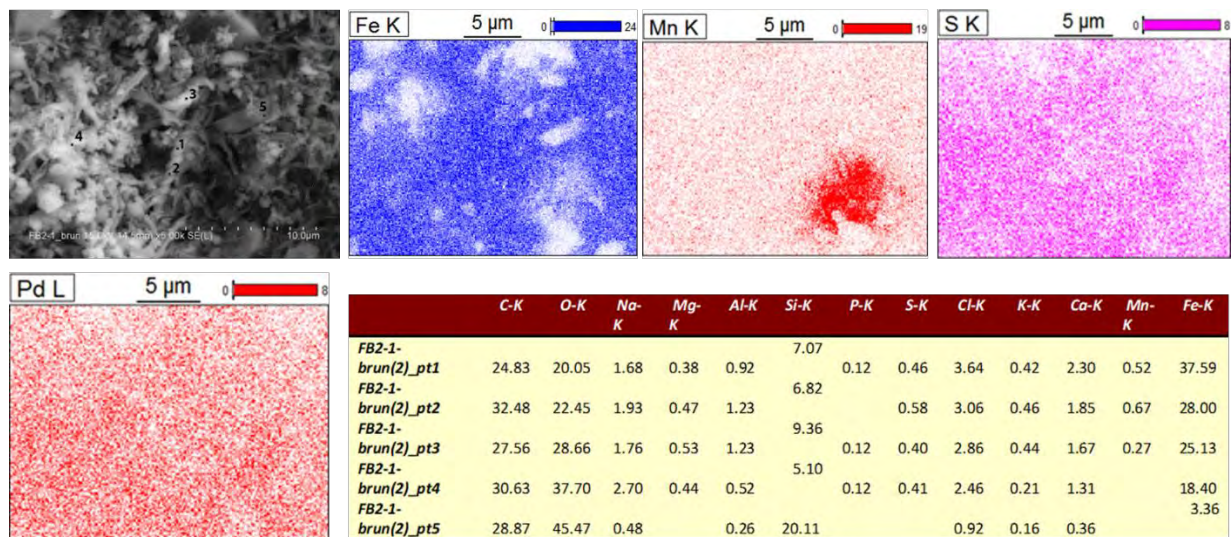
2015.

Institutt for energiteknikk (IFE) utførte eit ganske omfattande arbeid med undersøkingar i SEM på småprøver av biofilm og tynnslip av sprøytebetong etter 5,5 års eksponering. Det blei lagt vekt på elementfordeling (X-ray mapping, også kalla mikro-XRF) over mindre flater, samt nokre få kjemiske punktanalysar. Resultata blei etter avtale levert som rådata. Utvalde data er samanstilte i dette kapittelet.

Biofilm: To område av biofilm utanpå kjerne FB2–1 blei undersøkt i SEM av hhv. brun jernrik biofilm (Figur 99) og mørk manganrik biofilm (Figur 100).

Figur 99 viser elementfordeling av jern (Fe) og mangan (Mn) saman med svovel (S) og palladium (Pd). Det er lite Mn, med unnatak av eitt område med lite Fe. Dei fire punktanalysane i tabellen viser tydeleg innslag av salt grunnvatn (natrium, klor, svovel og magnesium). Det skrueforma filamentet er danna frå den jernoksiderande bakterien *Mariprofundus ferrooxidans*, som ved metabolisme oksiderer oppløyst toverdige jern (Fe^{2+}) til treverdige jern (Fe^{3+}) og feller ut rust som $Fe(OH)_3$ og evt. FeOOH (goethitt) som avfallsprodukt. Det er også silisium og aluminium i dette materialet. Fosfor i små mengder er truleg knytta til bakteriar. Punktanalysane 1 og 2

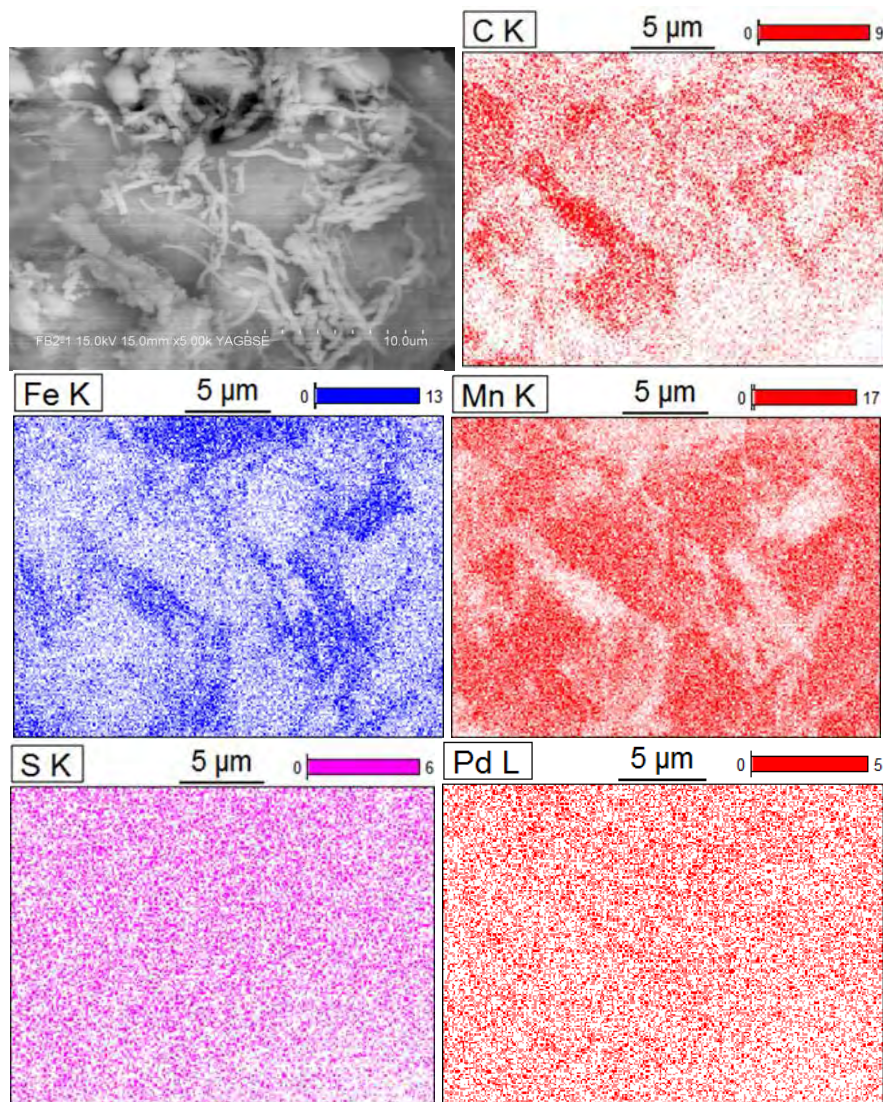
av bakteriefilamentet har låge O/Fe (0,53–0,8). Også dei relativt jernrike punkt 3 og 4 av biomineral har relativt låge O/Fe = 1,14–2,05. Til samanlikning har reint Fe³⁺ –hydroksid O/Fe = 3,00 og goethitt (punkt 4) O/Fe = 2. Dette viser at mykje av jernet i denne biofilmen er på redusert form. Detekterbart innhald av Pd er overraskande i vår samanheng, men det er kjent at Pd²⁺ blir redusert til elementært Pd av sulfatreduserande bakteriar (Lloyd mfl. 1998). Dette samsvarer med O/Fe forholda. Høgt innhald av organisk karbon gir alltid reduserande forhold og viser at Fe³⁺ utfelt ved bakteriell aktivitet igjen er blitt redusert. Analyse 5 er kvarts (tilslagspartikkel) med stort innslag av organisk karbon på overflata.



Figur 99. Felt 2. Jernrik biofilm med litt mangan. *Mariprofundus* sp. (jernoksidierende bakterie med skrueforma filament: analyse 1 & 2) og jernrike utfellingsprodukt (3 & 4) med organisk karbon. Analyse nr. 5 er kvarts. Basert på analysar utført av Trygve Furuset, IFE.

Figur 100 viser elementfordelinga i mørk del av biofilmen med mangan og jern. Karboninnhaldet i jernrike område er høgare enn i manganrike område. Svovel og palladium er jamt fordelt. Det blei ikkje utført punktanalysar, men førekomst av Pd tyder på at utfelt Fe og Mn delvis er redusert. Dette samsvarer med tidlegare resultat frå Mn-Fe biofilm i Oslofjordtunnelen, der det er vist at skiftande redoksforhold verkar inn på (Hagelia 2011b).

Bakterieinnhaldet i biofilmen kan ikkje identifiserast utan DNA teknikkar. Nye undersøkingar viser at samansetninga er svært kompleks med svært mange artar, som varierer i mengde over tid. Bakteriane har ulik rolle, der nokre fører til oksidasjon, andre til reduksjon og atter andre er utan verknad. *Mariprofundus* er ein ny art og blei tidlegare forveksla med *Gallionella* (Karačić mfl. 2019; Hagelia mfl. 2020). Det er vist at slike redoksreaksjonar styrer syrepotensialet i biofilmen, og skiftande redoksforhold fører til at syrepotensialet varierer over tid (Hagelia 2011b).



Figur 100. Felt 2. Biomineral dannet enzymatisk med jernrike utfellingar på *Mariprofundus* sp. og manganoksid frå uidentifisert manganbakterie. Redoks reaksjonar i Mn-Fe biofilm fører til forsuring av svakt alkalisk salt grunnvatn. Basert på analysar utført av Trygve Furusest, IFE.

Tynnslip. Det blei lagt vekt på elementfordeling («X-ray mapping») og mikroanalysar i utvalde område, både mot overflata og mot heftsona. Analysane av sprøytebetong blei avgrensa til tynnslipa FB2-1a & b (M45P) og F3-4a & b (M40S) for samanlikning av dei to sementane. Det er særleg Ca, Mg, S og Cl som er relevante med tanke på tilstanden til sementpastaen, og desse er samanstillt med SEM-foto (Figur 101 og 102). Høgste intensitet av Ca (grønt) viser sementpastaen og tilslagskorn med lyse to kvite område. Inntrenging av Mg, S og Cl frå salt grunnvatn (rosa) seier noko om motstand mot nedbryting.

Figur 101 (M45P) og Figur 102 (M40S) viser inntrenging av Mg, S og Cl i dei første 2 mm frå hhv. overflata og frå heftsona, og med kontrollområde 3 til 4 cm inne i betongen. Vedlegg 11 viser kor områda er plasserte på tynnslipa. Resultata viser at inntrenginga av Mg, S og Cl er ganske lik inntil ca. 4 cm, og utan opplagt skilnad mellom M45 og M40. Det er overraskande at tynnslipa frå Felt 3 (M40) med lite lekkasjevatn viser såpass tydeleg inntrenging av Mg og S, medan Cl er som venta (sjå også kloridprofilane i Kapittel 3.3.5).

Ein ser i ettertid at det hadde vore nyttig å ha laga tynnslip også av sprøytebetong lenger inn frå eksponeringsflatene for å avdekke kor langt inn Mg og S har trengt inn. Det er venta at inntrenginga av aggressivt Mg og sulfat vil auke på ettersom tida går, og at der er eit potensiale for utvikling av nedbrytingsreaksjonar i begge reseptane. Det generelle inntrykket er likevel at omfanget av nedbryting i dei utvalde prøvene etter 5,5 år ikkje kan seiast å ha strukturell betydning.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
FB2-1a (M45P) 0-1 mm under biofilm 1-2 mm under overflata 35-36 mm under overflata					
FB2-1b (M45P) 37-38 mm frå heftsona 1-2 mm frå heftsona Mot heftsona 0-1 mm					

Figur 101. Felt 2: Elementfordeling i kjerne FB2 (M45P) med tynnslip frå ytre del under biofilm og indre del mot heftsona. Basert på analysar utført av Trygve Furuset, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
F3-4a (M40S) 0-1 mm under overflata					
1-2 mm under overflata					
35-36 mm under overflata					
F3-4b (M40S) 36-37 mm frå heftsona					Manglar
1-2 mm frå heftsona					
Mot heftsona 0-2 mm					

Figur 102. Felt 3: Elementfordeling i kjerne F3 (M40S) med tynnslip frå ytre del under biofilm og indre del mot heftsona. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

3.6.2 Prøver i Grøft A og Grøft B

3.6.2.1 Mikroskopering av tynnslip i polarisert lys i 2015

Det blei preparert eitt tynnslip frå kvar plateprøve, totalt 6 stykker, frå nedste del av kvar plate, dvs. nær botnen av kvar grøft. Tynnslip blei plasserte slik at dei dekker område frå den eksponerte flate og ca. 25 mm innover. Alle tynnslipa blei undersøkt i polarisasjonsmikroskop for å velje ut representative område for undersøking i SEM (sjå kapittel 3.6.2.3).

Porestrukturen i plateprøvene var svært forskjellig frå sprøytebetongen, med mange sfæriske makroporer i Resept 1 og Resept 2, men med få sfæriske makroporer i Resept 3. Det var alltid karbonatisering omkring makroporene: omfattande karbonatisering i Resept 1, noko mindre grad av karbonatisering i Resept 2 og lite omfang av karbonatisering omkring makroporene i Resept 3. (muleg tabell her, men neppe viktig).

3.6.2.2 Røntgendiffraksjon (XRD) av utfellingar på prøver i grøftevatn i 2015

Det blei skrapa av og undersøkt nokre få prøver av utfelling på plateprøver for mineralidentifikasjon. Tabell 8 viser resultata og analysane er dokumenterte i Vedlegg 11. Minerala er stort sett dei same som vi ser på sprøytebetong under biofilm. Karbonata kalsitt, aragonitt og dolomitt er også vanlege i marint påverka betong, medan Mn-oksidd som for eksempel birnessitt og jernhydroksid (ferrihydritt) eller jern-oksyhydroksid (gøthitt mm) er danna frå biofilm. Det var også tilslagsmineral som kvarts og feltspat i utfellingane (sjå Vedlegg 11).

Tabell 8. XRD utfellingar på eksponerte plateprøver i grøftene 2015 eksklusive innslag av tilslagsmineral.

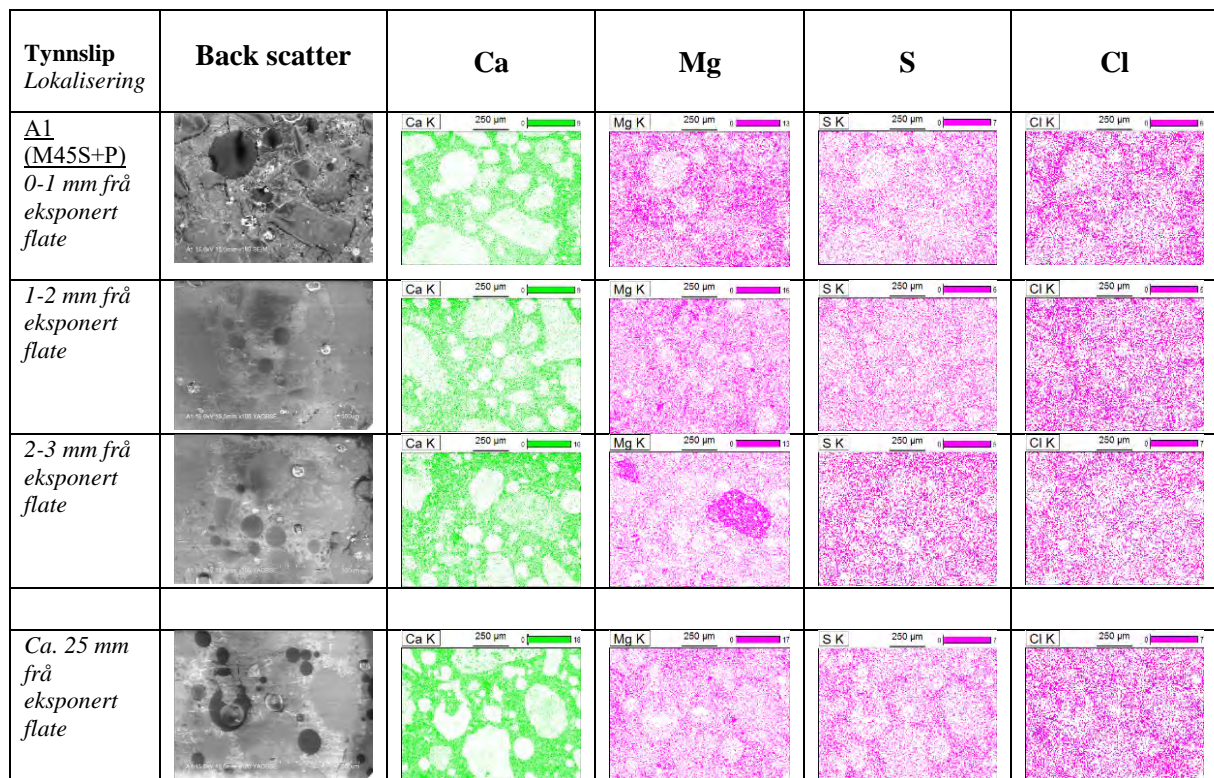
Prøvetype & materialtype	Prøve ID	Årstal	XRD resultat	Merknad
Plateprøve (resept 1) Grøft A, utfelling nedre del	P-GA1	2015	Kalsitt, aragonitt, dolomitt, halitt, birnessitt og gøthitt	Ca-karbonat, Ca-Mg karbonat, steinsalt, Mn (IV) biomineral, FeOOH & innslag av amorf Fe (III) fase (ferrihydritt?).
Plateprøve (resept 1) Grøft B, utfelling nedre del	P-GB1	2015	Kalsitt, dolomitt, gøthitt og birnessitt	Ca-karbonat, Ca-Mg karbonat, FeOOH & Mn (IV) biomineral
Karprøve (resept 3) Grøft A	K-GA3	2015	Kalsitt og birnessitt	Ca-karbonat & Mn (IV) biomineral

3.6.2.3 Undersøking av tynnslip med Scanning elektronmikroskop i 2015


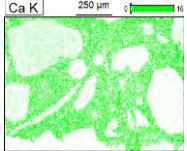
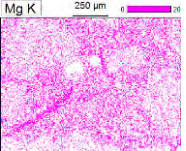
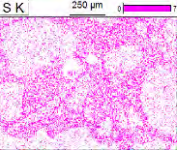
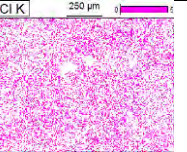

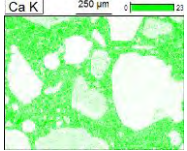
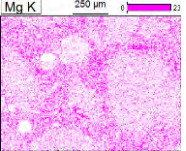
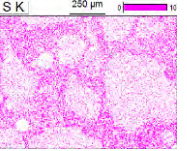
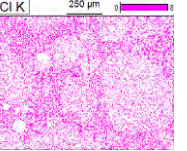
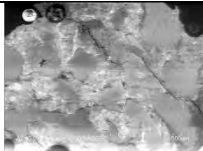
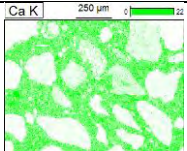
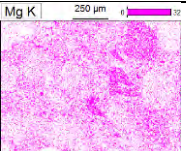
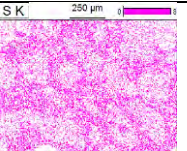
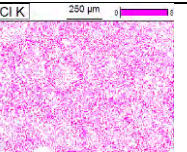
Det blei lagt vekt på elementfordeling («X-ray mapping») og mikroanalysar frå eksponert ytterflate og innover. Tynnslipa blei preparert frå plateprøver frå alle tre reseptane; hhv A1 og B1 (M45SP); A2 og B2 (M45P) og A3 og B3 (M40S) for samanlikning. Det er særleg Ca, Mg, S og Cl som er relevante med tanke på tilstanden til sementpastaen (Figurane 103 t.o.m. 109). Høgste intensitet av Ca (grønt) viser sementpastaen og tilslagskorn med lyse to kvite område. Inntrenging av Mg, S og Cl frå salt grunnvatn (rosa) seier noko om motstand mot nedbryting.

Analysestrategien var den same som for tynnslipa frå sprøytebetongen (Vedlegg 11). Samanlikninga av tynnslipa frå plateprøvene viser inntrenging av Mg, S og Cl i dei første 25 mm frå hhv. overflata og innover i alle prøvene. Det er overraskande at prøvene A3 og B3 (M40) tyder på omtrent same inntrenging av Mg og S som prøvene A1, A2, B1 og B2 (M45). Inntrenging av Cl er som venta (sjå også kloridprofilane i Kapittel 3.4.5).


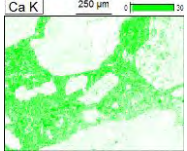
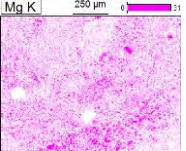
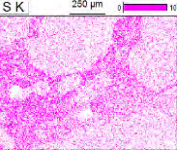
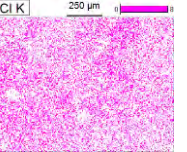
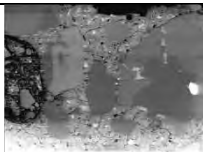
Figur 107 viser punktanalysar av sementpastaen i plateprøve B1 omkring 2mm frå eksponert flate. Sementpastaen har for det meste lågare Ca enn upåverka betong generelt, som vist ved at Ca-intensiteten (toppen) er lågare enn Si. Eitt punkt har meir normal C-S-H (Ca > Si). Punktanalysane viser også innslag av Mg, S og Cl.



Figur 103. Elementfordeling i ytre del av plateprøve A1. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
<u>A2 (M45P)</u> 0-1 mm frå eksponert flate					
1-2 mm frå eksponert flate					
Ca. 25 mm frå eksponert flate					

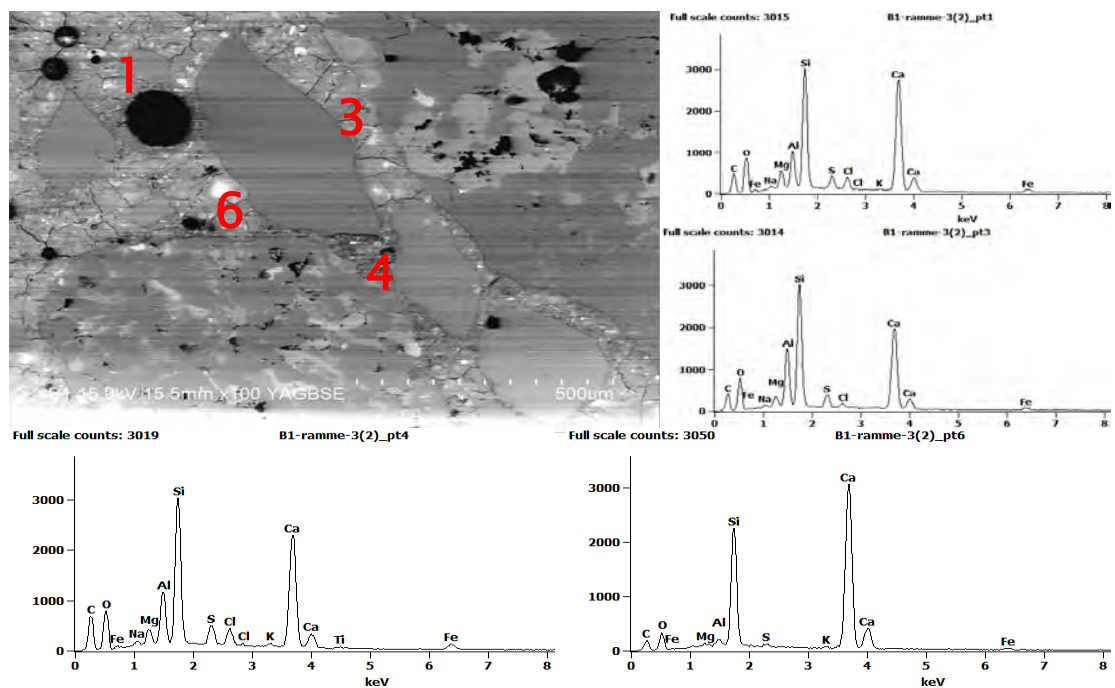
Figur 104. Elementfordeling i ytre del av plateprøve A2. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
<u>A3 (M40S)</u> 0-1 mm frå eksponert flate					
Ca. 25 mm frå eksponert flate		Ikkje analyse	Ikkje analyse	Ikkje analyse	Ikkje analyse

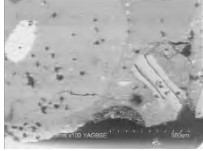
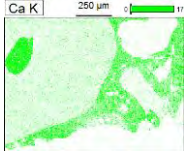
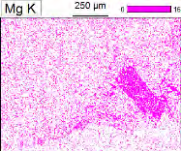
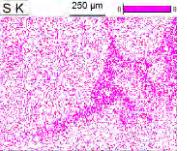
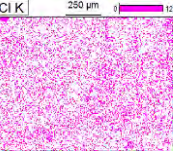

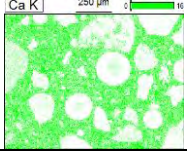
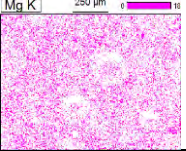
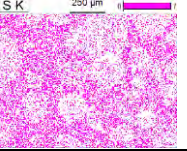
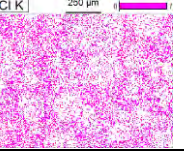
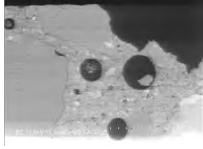
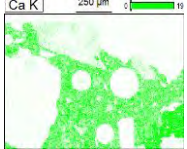
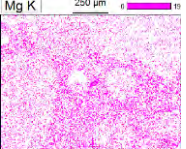
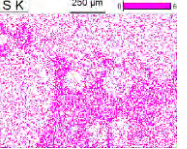
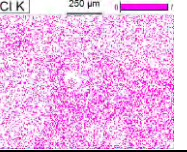
Figur 105. Elementfordeling i ytre del av plateprøve A3. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
B1 (M45S+P) 0-1 mm frå eksponert flate					
1-2 mm frå eksponert flate					
2-3 mm frå eksponert flate					
Ca. 25 mm frå eksponert flate					


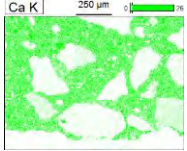
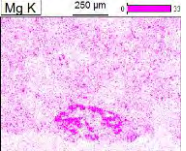
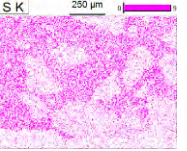
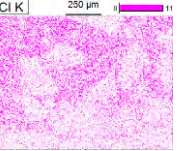

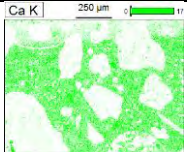
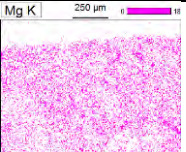
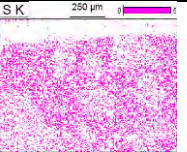
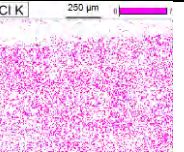
Figur 106. Elementfordeling i ytre del av plateprøve B1. Basert på analysar utført av Trygve Furuset, IFE.



Figur 107. Punktanalysar av prøve B1 (Grøft B), ca. 2mm frå eksponert flate. Analysepunkt 1, 3 og 4 har låge Ca i forhold til Si. Dette viser at noko Ca er vaska ut av C-S-H. Analysepunkt 6 av eit lite område med normal/upåverka C-S-H. Analysar utført av Trygve Furuset, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
B2 (M45P) 0-1 mm frå eksponert flate					
0-1 mm frå eksponert flate					
Ca. 25 mm frå eksponert flate					

Figur 108. Elementfordeling i ytre del av plateprøve B2. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

Tynnslip Lokalisering	Back scatter	Ca	Mg	S	Cl
B3 (M40S) 0-1 mm frå eksponert flate					
Ca. 25 mm frå eksponert flate					

Figur 109. Elementfordeling i ytre del av plateprøve B3. Basert på analysar utført av Trygve Furuseth, IFE.

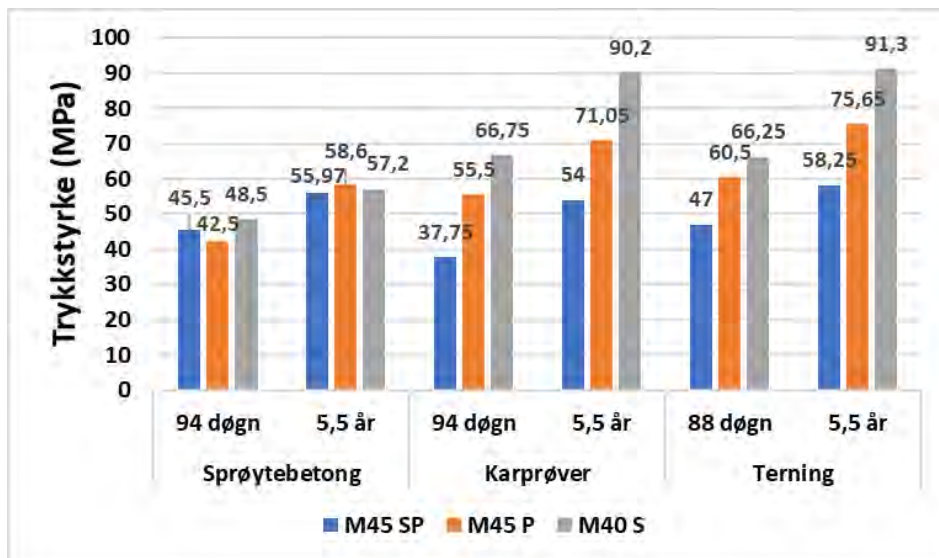
3.7 Samanlikning av sprøytebetong og utstøypte prøver

Det har interesse å samanlikne analyseresultata frå sprøytebetong med utstøypte prøver for å avklare om resultatane er uavhengige av prøvetype. Resultata frå Oslofjord testfelt viser tydelege skilnader mellom sprøytebetongane i Felt 1, 2 og 3 og dei utstøypte prøvene med tilsvarende reseptar. Analyseresultat basert på utstøypte prøver kan derfor ikkje utan vidare overførast til sprøytebetongen som bergsikring.

3.7.1 Trykkstyrke

Figur 110 viser at trykkstyrken til sprøytebetongen har utvikla seg forskjellig frå utstøypte prøver med same resept. Sprøytebetong og karprøver er oppgitt som sylinderfastheit, medan terningane er oppgitt som terningfastheit. Alle reseptar av sprøytebetong har hatt ei nokså lik utvikling over tid. Men trykkstyrken til karprøvene etter 5,5 års eksponering er for det meste høgare enn i sprøytebetongen: Både M45 P og M40 S er mykje sterkare enn sprøytebetongane med same reseptar. M45 SP er nokså lik sprøytebetongen etter 5,5 år. Terningane viser dei same relative forskjellane som karprøvene. Merk at det er litt usikkert om alle terningane blei riktig identifisert (sjå over).

Dette viser at utvikling av trykkstyrke i utstøypte prøver ikkje utan vidare kan samanliknast med utviklinga i sprøytebetong. Ein bør derfor ikkje trekke vidtgående konklusjonar om muleg utvikling av trykkstyrke i sprøytebetong basert på utstøypte prøver som tilnærming.

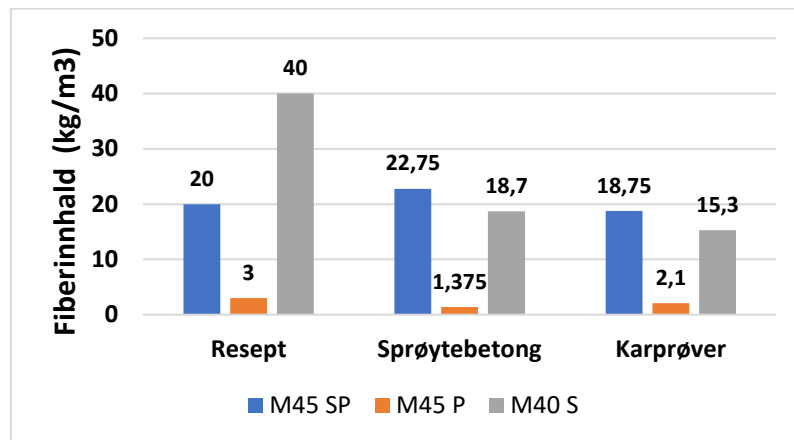


Figur 110. Trykkstyrke i sprøytebetong, karprøver og terningprøver. Gjennomsnitt av alle målingar.

3.7.2 Fiberinnhald

Figur 111 viser at fiberinnhaldet i sprøytebetong med resept M45 SP er nokså likt planlagt resept, men fiberinnhaldet er litt lågare for tilsvarende resept i karprøvene. Innhaldet av PP-fiber i M45 P er lågare enn resepten skulle tilseie. M40 S har mindre enn halvparten av planlagt stålfiber (40 kg/m³) i både sprøytebetong og karprøver. M45 SP blei også laga med PP-fiber, men er ikkje plotta her. Også M45 P og M40 S hadde eit lite innslag av hhv stålfiber og plastfiber som satt igjen i slangane. Desse tala går ikkje fram av Figur 111 (sjå Figur 46). Fiber

i terningane er ikkje plotta opp på grunn av usikkerheit med riktig identifisering av prøver: Prøvene som ligg til grunn for Figur 110 hadde svært låge innhald av fiber (Figur 42). Homogenitet med tanke på stålfiber og plastfiber er vanskeleg å oppnå, og særleg der det sprøytast med så små volum som i testfeltet.

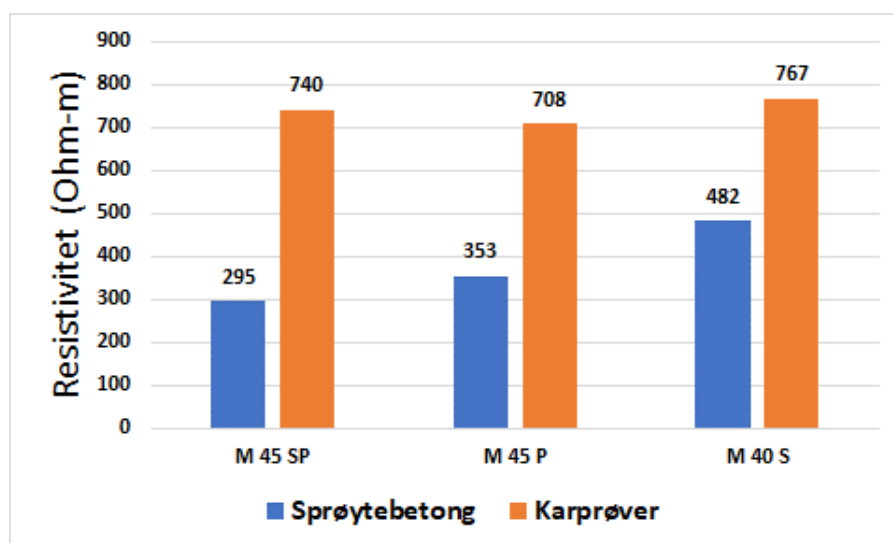


Figur 111. Fiberinnhald i sprøytebetong og karprøver samanlikna med planlagt resept. Blå og grå = stålfiber, oransje = PP-fiber. Gjennomsnitt av alle målingar (2010 og 2015).

3.7.3 Resistivitet

Figur 112 viser at det er svært stor forskjell mellom resistivitet i sprøytebetong og prøver utstøpte i kar. Resistivitetane i karprøvene basert på M45 er over dobbelt så høge som i sprøytebetongane med same resept og karprøvene basert på M40 S har omkring 58 % høgare resistivitet enn tilsvarende sprøytebetong. Terningar eksponert for tunnelluft på bankett gav var til samanlikning 403– 650 Ohm-m.

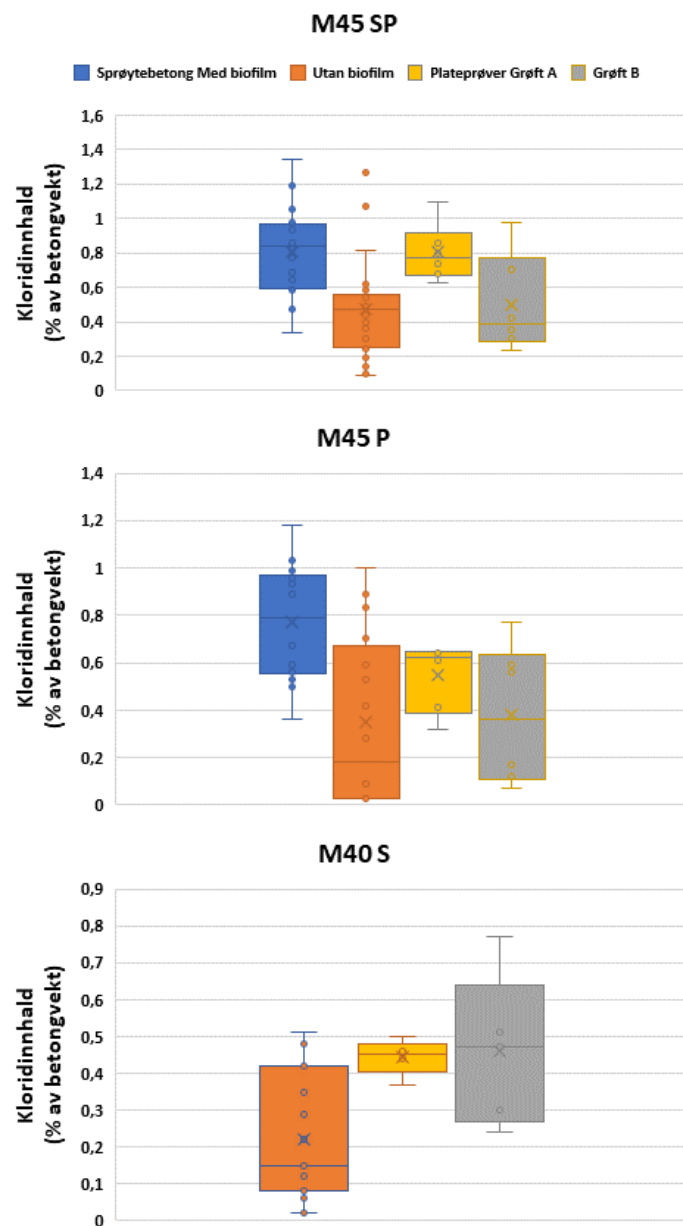
Dette viser at *resistivitet i utstøpte prøver ikkje kan samanliknast med same reseptar brukt som sprøytebetong til bergsikring. Ein bør derfor ikkje trekke vidtgående konklusjonar om muleg utvikling av resistivitet i sprøytebetong basert på utstøpte prøver som tilnærming.*



Figur 112. Resistivitet i sprøytebetong og karprøver etter 5,5 års eksponering (sylinderar). Gjennomsnitt av alle målingar i 2015.

3.7.4 Kloridinnhald

Kloridinntrenging varierer avhengig av materialeegenskapar i ulike deler av prøvene og er også påverka av varierende eksponeringsforhold og nedbryting. Resultata for sprøytebetong og plateprøver er vist i Figur 113. Alle enkeltmålingar er samla under fire kategoriar; 1) sprøytebetong med biofilm, 2) sprøytebetong utan biofilm, 3) plateprøver i Grøft A og 4) plateprøver i Grøft B. Sprøytebetongprøver utan biofilm representerer her både våt overflatenær betong og betong nær heftsoner, medan betong med biofilm bare er representert med overflatenær betong: Direkte eksponerte flater og ytterste sjikt (ca. 4–5 mm) er ikkje representert. Analyseresultata frå plateprøvene er derimot basert på pulver av 50x50x50 mm terningar og omfattar også direkte eksponerte flater.



Figur 113. Kloridinnhald i sprøytebetong og plateprøver etter 5,5 års eksponering.

Diagramma viser at sprøytebetong med biofilm har gjennomsnittleg høgare kloridinnhald enn tilsvarande utan biofilm i både M45 SP og M45 P. På detaljnivå er det vist at kloridinnhaldet i overflatenær sprøytebetong M45 SP ikkje er tydeleg forskjellig frå kloridinnhaldet mot heftsona. M45 P har derimot tydeleg høgare kloridinnhald mot ytterflata (ca. 1 %) enn mot heftsona (ca. 0,1 %) (sjå kapittel 3.3). Mest sannsynleg reflekterer dette forskjellar med tanke på ulik tilgang til saltvatn i desse to nokså like reseptane. Sprøytebetong med M40 S hadde ikkje biofilm, og viser litt lågare maksimum kloridinnhald enn dei to andre og lågast minimumskonsentrasjon av alle. Forskjellen mellom kloridinnhald mot ytterflata og mot heftsona er derimot svært liten (Kapittel 3.3).

Kloridinnhaldet i plateprøver med M45 SP i Grøft A ligg på same nivå som sprøytebetongen med same resept, og gjennomsnittet er høgare enn tilsvarande resept i Grøft B. Dei to andre reseptane viser overlappende verdier. M45 P eksponert i Grøft A har gjennomsnittleg høgare kloridinnhald enn i Grøft B. M40 S har likt gjennomsnittleg kloridinnhald, med liten variasjonen i Grøft A og stor variasjon i Grøft B.

Det er generelt vanskeleg å gje ei sikker drøfting av forskjellar mellom alle prøvene, fordi dei lokale eksponeringsforholda ikkje er identiske. Tilgangen på klorid i sprøytebetongen varierer, og variasjonen i plateprøvene er i alle fall delvis avhengig av varierende sugporøsitet. På grunn av ulike eksponeringsforholda er det ikkje sikkert at resultat frå testing av plateprøver eller andre utstøypte prøver også vil gjelde for sprøytebetong. *Ein bør ikkje trekke vidtgående konklusjonar om kloridinntrenging i sprøytebetong basert på utstøypte prøver som tilnærming.*

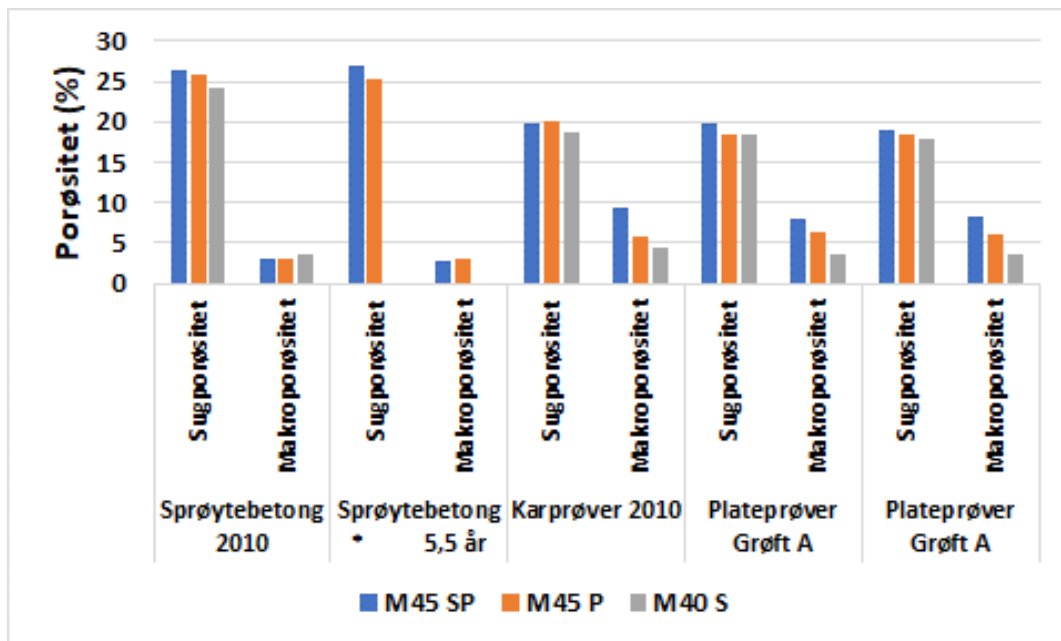
Trass i at kloridinnhaldet for det meste er mykje høgare enn 0,1 % er det mesta av stålfibrane ikkje korroderte.

3.7.5 Sugporøsitet og makroporøsitet

Figur 114 samanliknar sugporøsitet og makroporøsitet i sprøytebetong, karprøver og plateprøver med dei ulike reseptane. *Ueksponert sprøytebetong* (2010: lagra i laboratorievatn og undersøkt i 2015) og *eksponert sprøytebetong* (2015 etter 5,5 år) viser omtrent at lik sugporøsitet og makroporøsitet for M45 SP og M45 P. M40 S blei ved ein feil ikkje undersøkt i 2015, men resultatata frå ueksponert sprøytebetong viser at M40 S har litt lågare gjennomsnittleg sugporøsitet enn M45 reseptane. Makroporøsiteten til M40 S er litt høgare enn M45 reseptane.

Til samanlikning har både karprøvene og plateprøvene mykje lågare sugporøsitet enn sprøytebetong. Makroporøsiteten er derimot jamt over høgare enn i sprøytebetongen. Dette gjeld for alle reseptane.

Dette viser at *sugporøsitet og makroporøsitet i utstøypte prøver ikkje kan samanliknast med sprøytebetong til bergsikring. Ein bør derfor ikkje trekke vidtgående konklusjonar om muleg utvikling av sugporøsitet i sprøytebetong basert på utstøypte prøver som tilnærming.*



Figur 114. Sugporøsitet og makroporøsitet i sprøytebetong, karprøver og plateprøver. Sprøytebetong 2010 er uekspionert (lagra i laboratorievatn og undersøkt i 2015). Gjennomsnitt av alle målingar.

Til samanlikning har både karprøvene og plateprøvene mykje lågare sugporøsitet enn sprøytebetong. Makroporøsiteten er derimot jamt over høgare enn i sprøytebetongen. Dette gjeld for alle reseptane.

Dette viser at sugporøsitet og makroporøsitet i utstøypte prøver ikkje kan samanliknast med sprøytebetong til bergsikring. Ein bør derfor ikkje trekke vidtgåande konklusjonar om muleg utvikling av sugporøsitet i sprøytebetong basert på utstøypte prøver som tilnærming.

4 Samanlikning av Felt 1, 2 og 3 med sprøytebetong i hovudtunnelen: CEM II/A–V 42,5R versus CEM I

I dette kapittelet samanliknar vi resultat frå sprøytebetongen i Oslofjord testfelt med resultat frå undersøkingar av tilstandsutviklinga i sprøytebetongen elles i tunnelen. Sprøytebetongen frå 1999 i tunnelen er undersøkt etter eksponering i 5 år, 10 år og 16 år (Holm 2011c, Hagelia 2018a). Betongen i testfeltet er basert på Standard FA sement (CEM II/A–V 42,5R), medan sprøytebetongen elles i Oslofjordtunnelen er basert på CEM I (sjå Tabell 2). Betong med Standard FA sement tilsett silikastøv er hevda å vere meir bestandig mot aggressive miljø enn CEM I-baserte standard sementar med silikastøv.

Sprøytebetongen i Felt 1 og Felt 2 (hhv. M45 SP & M45 P, begge med $v/b = 0,43$ og 4 % silikastøv) blir samanlikna med sprøytebetongen i vegtunnelen (M45 S, $v/b = 0,42$ og 5 % silikastøv). I tillegg har vi eitt eksempel med sprøytebetong frå 2004 som erstatta nedbroten sprøytebetong frå 1999. Denne ståfiberarmerte betongen var basert på Standard FA laga med $v/b = 0,41$ og 5 % silikastøv. All reseptane er sprøyta med alkalifri akselerator.

Vi antar at v/b -tala i reseptane er nær reelle. Estimerte v/c -tal etter Powers ligg derimot for det meste mellom 0,50 og 0,6 (Vedlegg 8). Årsaka til denne forskjellen er ikkje klarlagt. Sugporøsitet og makroporøsitet i sprøytebetongane gir etter alt å dømme eit betre samanlikningsgrunnlag enn estimerte v/c -tal basert på Powers metode.

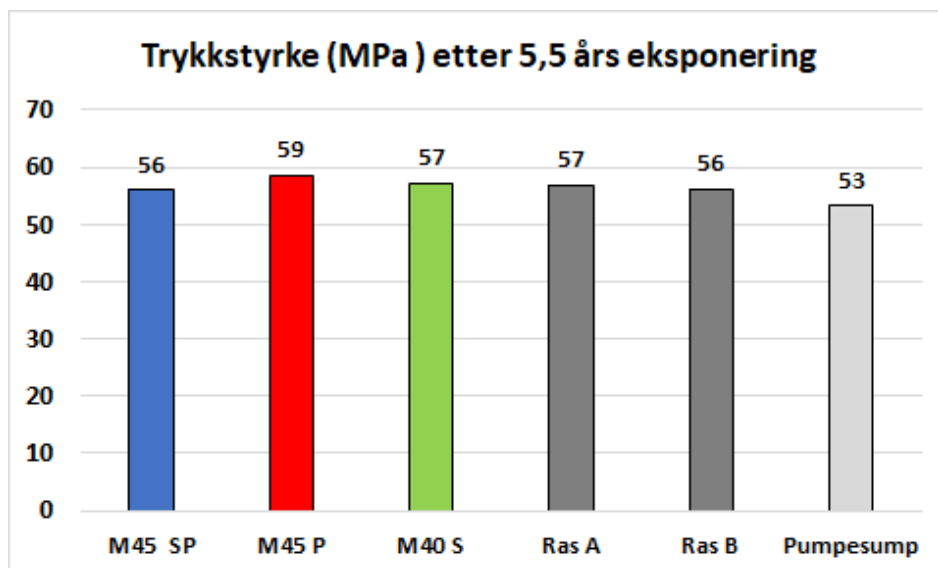
Norcem Standard FA hadde i følgje Norcem 18 % flygeaske og var utan kalkfiller i 2010, medan både Norcem Standard sement og Norcem industrisement blei i 1999 normalt produsert med 4–5 % kalkfiller (e-post 2021-11-12 frå Knut O Kjellsen, Vedlegg 3).

4.1 Betongeigenskapar

4.1.1 Trykkstyrke og fiberinnhald

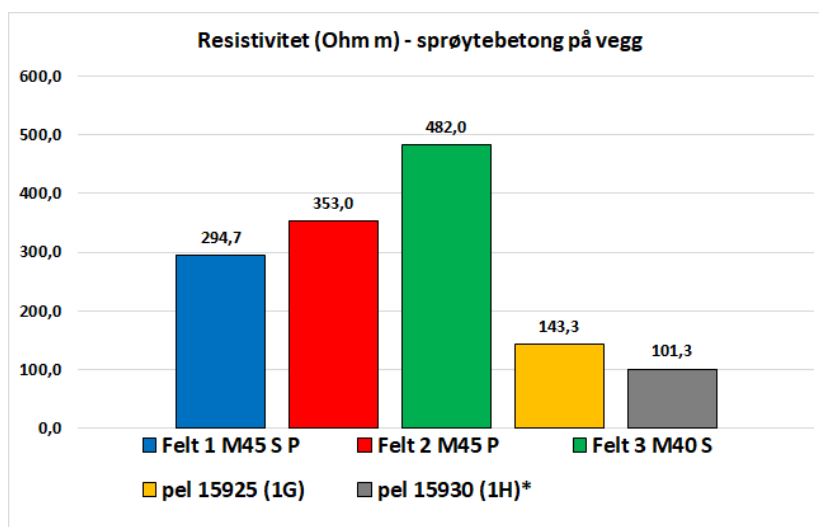
Gjennomsnittsverdiar for trykkstyrke er vist i Figur 115. Det er ingen vesentleg skilnad i sylindrefastheit mellom desse reseptane. Trykkstyrken til sprøytebetongen ved pumpesumpen (Standard FA) var i gjennomsnitt 53 MPa etter fem års eksponering. Dette er marginalt lågare enn gjennomsnittsverdiane frå Felt 1, 2 og 3 (Standard FA) og sprøytebetong frå to stader i hovudtunnelen der det gjekk ras i 2004 (Standard sementar basert på CEM I, Tabell 2).

Fiberinnhaldet varierte og det var ingen klar samanheng mellom trykkstyrke og fiberinnhald (sjå Kapittel 3.3 og Hagelia 2018a).



Figur 115: Samanlikning av gjennomsnittleg sylindrefastheit i testfeltet med sprøytebetong i tunnelen etter 5,5 år. Felt 1, 2 (M45 SP, M45 P) og 3 (M40 S) er vist saman med sprøytebetong i tunnelen ved Ras A, Ras B frå to ulike profilnummer, samt resultat frå pumpesump .

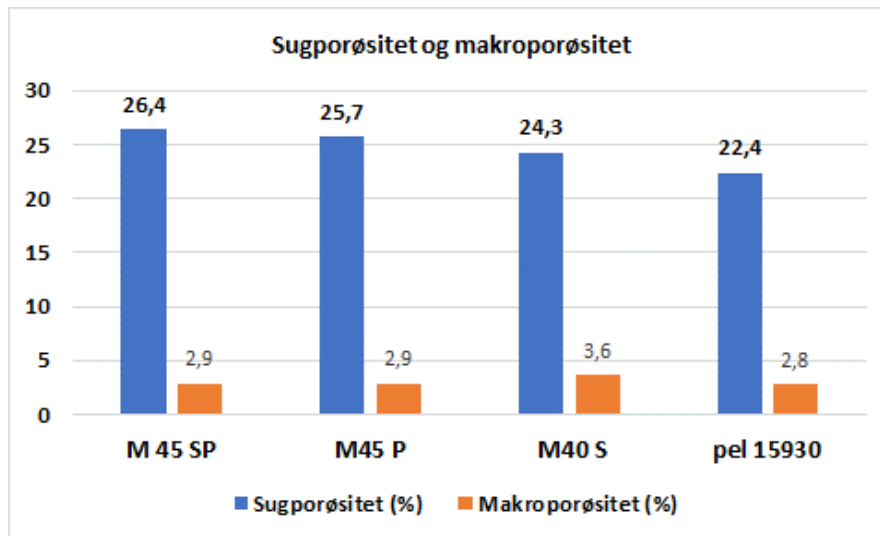
4.1.2 Resistivitet



Figur 116: Samanlikning av sprøytebetong frå testfeltet (alder 5,5 år) med sprøytebetong i hovudtunnelen (alder 16 år). Pel 15925 frå område med biofilm og pel 15930 utan biofilm ved Lok 2.

Figur 116 viser at resistivitetane etter 5,5 års eksponering av Felt 1 og 2 (M45) er meir enn dobbelt så høge som ved pel 15925 og 15930 (M45) frå Lok 2 (Figur 1) i hovudtunnelen (16 år). Det ligg ikkje føre resistivitetsdata frå 5 år for tunnelbetongen. Resistiviteten i testfeltet representerer intakt sprøytebetong frå indre deler av kvar kjerne. Sprøytebetongen på Lok 2 er derimot påverka av magnesium, sulfat og klorid, og i nokon grad omvandla gjennom tverrsnittet (Hagelia 2018a, Holm 2011c). Forskjellane i resistivitet med høgare resistivitet i FA betong er i lys av tidlegare erfaringar (Pedersen 2016) knytta til forskjellar mellom dei to sementtypane. Men sprøytebetongen ved pel 15926 og 15930 var i motsetnad til Felt 1 til 3 tydeleg omvandla gjennom deler av tverrsnittet, og har truleg også bidratt til låg resistivitet.

4.1.3 Kappillærsug og porøsitet

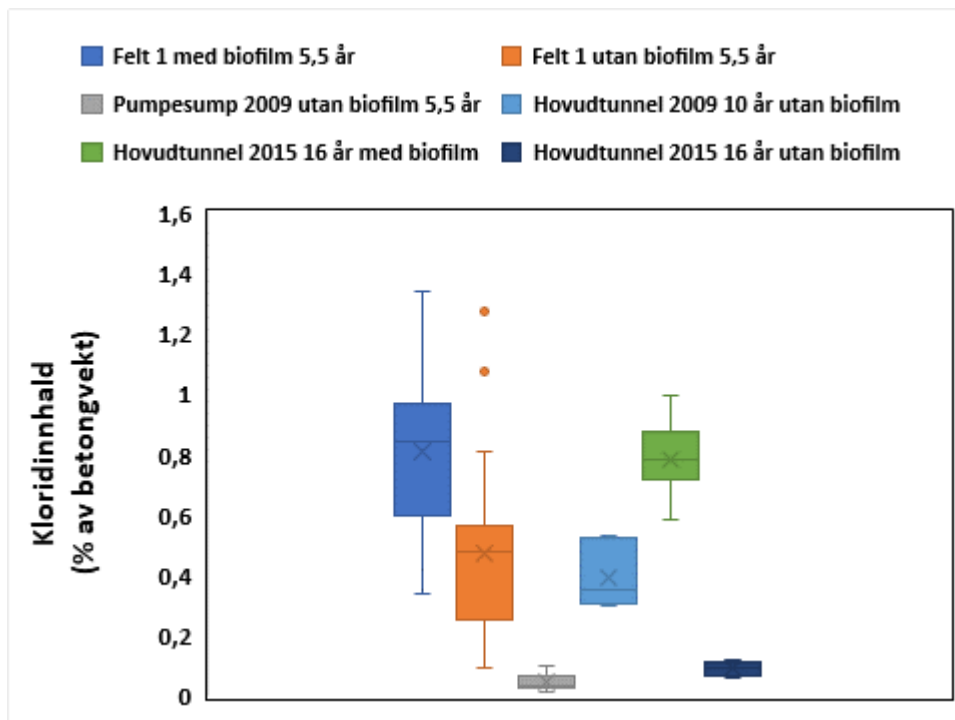


Figur 117: Samanlikning av sugporøsitet og makroporøsitet sprøytebetong i Felt 1, 2 og 3 (5,5 år) med pel 15930 ved Lok 2 i hovudtunnelen (10 år).

Sugporøsitet og makroporøsitet er framstilt i Figur 117. Sugporøsiteten er litt høgare i sprøytebetong frå Felt 1,2 og 3 (Standard FA) etter 5,5 års eksponering enn tunnelbetong utan biofilm ved pel 15930 (Standard sementar) etter 10 års eksponering (Holm (2011c). *Det ligg ikkje føre analysar av porøsitet frå 5,5 års eksponering av sprøytebetong i hovudtunnelen.* Med utgangspunkt i porøsitetsdata i Figur 117 ser det ut til at CEM 1 basert sprøytebetong kan vere minst like motstandsdyktig mot nedbryting som sprøytebetongen i testfeltet. Likevel har betongen ved pel 15930 svært låg resistivitet og var tydeleg påverka av magnesium, sulfat og klorid (Holm 2011c).

4.1.4 Klordinnhald

Resultata for sprøytebetongar med stålfiber er samanlikna i Figur 118. Sprøytebetongprøver *utan biofilm* representerer her både våt overflatenær betong og betong nær heftsoner, medan betong *med biofilm* bare er representert med overflatenær betong. Alle enkeltmålingar er samla under seks kategoriar. 1) Felt 1 med biofilm, 2) Felt 1 utan biofilm, 3) Pumpesump utan biofilm (alle eksponert i 5,5 år). Resten er frå Lok 2 i hovudtunnelen , med 10 års resultat utan biofilm (4) og 16 års resultat med og utan biofilm (5 & 6).



Figur 118: Samanlikning av kloridinnhald i stålfiberarmert sprøytebetong frå testfeltet, pumpesumpen og i hovudtunnelen (pel 15925 og pel 15930).

Kategoriene 1–3 er basert på Standard FA, medan kategoriene 4,5 og 6 er basert på blanding av Standard sement og Industrisement (sjå Tabell 2). Alle reseptane er M45, med muleg unnatak av Pumpesumpen med v/b = 0,41 som ligg nær M40. Det var tilsett 4–5 % silikastøv i alle desse reseptane.

Resultata frå Felt 1 og 2 tyder på at biofilm har bidratt til auka kloridinntrenging, medan same betong utan biofilm har lågare kloridinnhald. Undersøkingane frå hovudtunnelen viser også at sprøytebetong under biofilm har høgare kloridinnhald enn sprøytebetong utan biofilm.

Betongen frå pumpesumpen var ny i 2004 der store deler av sprøytebetong frå 1999 blei erstatta med Standard FA (v/b = 0,41). Etter 5,5 års eksponering låg kloridinnhaldet under 0,1 %. Denne sprøytebetongen var dominerande overflatetørr i 2009, men i åra etter har vi observert varierende fuktbelastning frå bergsida. Denne betongen er ikkje undersøkt seinare. Trass i at kloridinnhaldet for det meste er mykje høgare enn 0,1 % er det mesta av stålfibrane ikkje korroderte. Dette gjeld også sprøytebetongen ved pumpesumpen og hovudtunnelen (Holm 2011 b,c; Hagelia 2018a). Undersøkingane av kloridinnhald viser ingen opplagt forskjell mellom sprøytebetong basert på Standard FA og sprøytebetong basert standard sementar utan flygeaske. Men erfaring viser at det tar lenger tid for FA-betong å bygge opp same tettleiken, som standard sementar. Data ved 5,5 år er relativt tidleg i denne samanhengen, og det har derfor interesse å følgje den vidare utviklinga over lenger tid.

4.2 Nedbrytingsomfang og tykkelse av sprøytebetong

I dette kapittelet samanliknar vi grad av omvandling gjennom tverrsnittet av sprøytebetongen i testfeltet med tilsvarende data frå hovudtunnelen (Hagelia 2018a). Det er generelt stadfesta at nedbrytinga av sprøytebetong foregår både frå heftsona mot berg og frå tunnelsida (Figur 90). Omfanget er avhengig av kor det aggressive vatnet slepp til, dvs. i nokre tilfelle er nedbrytinga størst i sjiktet mot heftsona (Sone A) og i andre tilfelle mest frå tunnelsida (Sone C), men også frå begge sider. Dette fører iblant til avskaling langs heftsona mot berg eller internt i sprøytebetongen (Hagelia mfl. 2003, Hagelia 2008a, Romer 2003).

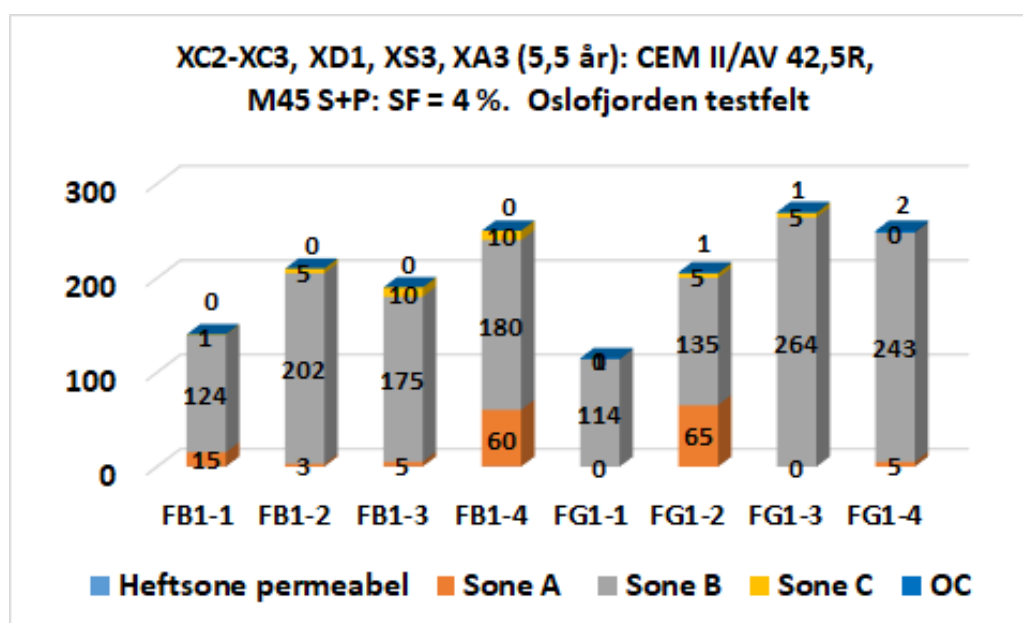
4.2.1 Resultat frå Oslofjord testfelt etter 5 ½ års eksponering

Tabell 9 oppsummerer estimerte gjennomsnitt av kvar sone etter 5 ½ års eksponering. Kvar enkelt kjerne blei visuelt undersøkt i laboratoriet og kvar sone blei målt opp med tommestokk til nærmaste millimeter. Det blei laga tynnslip av ytre og indre deler av betongen mot heftsona av ei prøve frå kvar resept. Estimata av opning langs heftsonene basert på mikroskopering av tynnslip er mest nøyaktige. Heftsonene for dei andre er estimert mindre nøyaktig ved hjelp av lupe (12x). *Data frå Tabell 9 er plotta i figurane 119 til 121: dei enkelte søylene i desse diagramma skal betraktast som skjematisk tverrsnitt av sprøytebetongsylindrane.* Nedbrytingsmekanismane er dokumentert i Kapittel 3.6.1.

Resultata frå Felt 1 (Figur 119) viser at omvandling under biofilm er lokalt litt meir omfattande enn i betong utan biofilm. Det er uansett ikkje snakk om betydelege forskjellar, og hovudinntrykket er at sprøytebetongen stort sett er fullt intakt (Sone B) etter 5,5 års eksponering. Omvandling frå heftsona og innover (Sone A) er som venta uavhengig av biofilm, der 60 til 65 mm er påverka i hhv FB1-4 (med biofilm) og FG1-2 (utan biofilm). Omvandling (begynnande nedbryting) i Sone A er mest utbreidd der heftsona er permeabel og ein liten opning ser ut til å vere nok. Det er likevel ikkje nokon tydeleg samanheng mellom oppmålingane og omfanget av nedbryting i Sone A. Dette har truleg samanheng med variasjonar i tilgang på aggressivt vatn og lokale variasjonar i betongpermeabilitet nær heftsona. Dei undersøkte kjernene frå Felt 1 representere sprøytebetong på mellom 115 mm og 270 mm (total tykkelse).

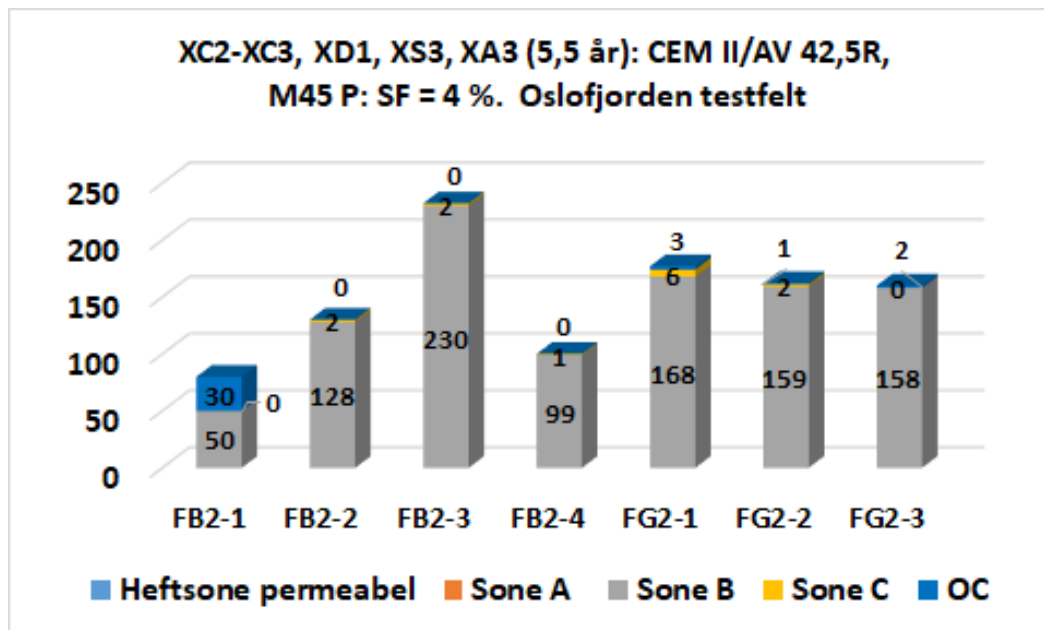
Tabell 9. Oversikt over heftforhold og omfang av omvandlingar i Sone A (mot heft), Sone C og OC (karbonatisering mot overflata) i kjerner frå Felt 1, 2 og 3 (sjå Figur 3.1). Prøver merka med * er også undersøkt i tynnslip. Total tykkelse vil gå fram av summen av alle soner. Brun = under våt biofilm. Grå = fuktig utan biofilm. Betongalder = 5,5 år.

Prøve nr.	Heftsone permeabel (mm)	Omvandling Sone A (mm)	Intakt Sone B (mm)	Omvandling Sone C (mm)	Omvandling OC (mm)
M45 S+P:					
FB1-1 *	0,3	15	124	1	0
FB1-2	0,1	3	202	5	0
FB1-3	0,2	5	175	10	0
FB1-4	0,2	60	180	10	0
FG1-1	0	0	114	0	1
FG1-2	0,1	65	135	5	1
FG1-3	0,1	0	264	5	1
FG1-4	0,1	5	243	0	2
M45 P:					
FB2-1 *	0	0	50	0	30
FB2-2	0	0	128	2	0
FB2-3	0,1	0	230	2	0
FB2-4	0	0	99	1	0
FG2-1	0	0	168	6	3
FG2-2	0,1	0	159	2	1
FG2-3	0	0	158	0	2
M40 S:					
F3-1	0,1	0	127	0	3
F3-2	0	0	159	0	1
F3-3	0	0	134	0	1
F3-4 *	0	0	95	0	5
F3-5	0	0	137	0	3
F3-6	0	0	167	0	3

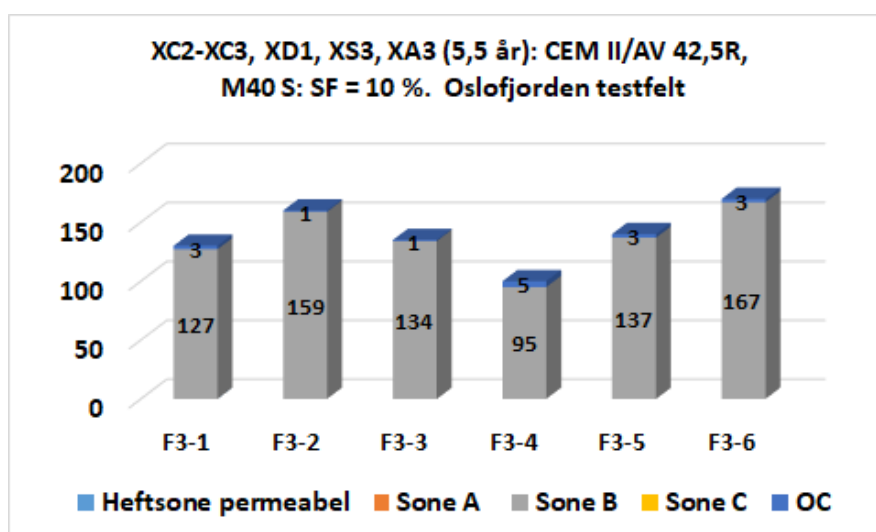


Figur. 119. Felt 1: Fordeling av omvandling (Sone A, Sone B, Sone C og OC) i sprøytebetong (mm). Prøvene FB = under biofilm. Prøvene FG = utan biofilm med fuktige overflater utan lekkasje. Betongalder 5,5 år.

Sprøytebetongen frå Felt 2 (Figur 120) viste liten forskjell mellom biofilmeksponert og fuktig lufteksponert sprøytebetong (utan biofilm). Hovedresultatet er at også resept 2 (Felt 2) er intakt etter 5,5 års eksponering. Omfanget av overflatekarbonatisering (OC) er lokalt størst i FB2-1 under biofilm (sett i tynnslip), medan dei andre kjernene under biofilm ikkje viste overflatekarbonatisering (visuelt vurdert). Vi har hittil ikkje utført test med fenolftalein fordi tidlegare erfaring har vist at luftkarbonatisering alltid har lite omfang i undersjøisk sprøytebetong (Hagelia 2018a). Det var elles god heft utan omvandling i Sone A og lite omfang av omvandling i Sone C under overflata. Dei undersøkte kjernene frå Felt 2 representere sprøytebetong på mellom 80 mm og 230 mm (total tykkelse).



Figur. 120. Felt 2: Fordeling av omvandling (Sone A, Sone B, Sone C og OC) i sprøytebetong (mm). Prøver FB var under biofilm og prøver FG var utan biofilm med fuktige overflater utan lekkasje. Betongalder 5,5 år.



Figur. 121. Felt 3: Fordeling av omvandling (Sone A, Sone B, Sone C og OC) i sprøytebetong (mm). Prøvene var utan biofilm med fuktige overflater utan nemneverdig lekkasje. Betongalder 5,5 år.

Sprøytebetongen frå Felt 3 (Figur 121) var luftekspionert med fuktige overflater utan biofilm. Hovudresultatet er at resept 2 (Felt 2) er intakt etter 5,5 års eksponering. Overflatekarbonatiseringa (OC) er ubetydeleg. Det var elles god heft utan omvandling i Sone A og Sone C. Dei undersøkte kjernene frå Felt 2 representere sprøytebetong på mellom 100 mm og 170 mm (total tykkelse).

4.2.2 Resultat frå Oslofjord testfelt etter 10 års eksponering

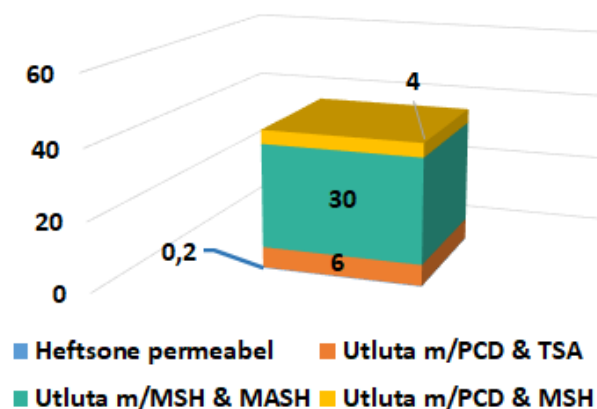
Planlagt oppfølging av testfeltet i 2020 fekk ikkje eiga finansiering og måtte derfor skrinleggast. Dette var i utgangspunktet nøye planlagt, og skulle også bidra med data inn i ein PhD ved Chalmers i Gøteborg i samband med FoU i E39 prosjektet.

Ei sentral problemstilling i Oslofjord testfelt og for doktorgradsarbeidet har vore å avdekke effekten av biofilm og aggressivt undersjøisk grunnvatn på relativt tynne sprøytebetongsjikt mindre enn 80 mm. E39 prosjektet valte å finansiere eit lite minimum av betongpetrografiske undersøkingar i samband med PhD arbeidet for å avklare langtidseffektar av biofilm på tidlegare undersøkte lokalitetar.

Frå Felt 2 (M45 P) blei det i september 2020 bora ut ei enkel betongkjerne («T2») av 40 mm sprøytebetong under biofilm etter vel 10 års eksponering. Det blei utført XRD-analyse av svak ytre betong, og tynnslip blei analysert i Scanning elektronmikroskop (Karačić 2021). Resultata viste stor grad av omvandling gjennom heile betongsjiktet (Figur 122). PP-fiberen var delvis oppsplitta på grunn av intern vekst av ettringitt (sjå Figur 98).

Nedbrytingsomfanget i kjerne T2, basert på Standard FA er ganske likt det vi har rapportert frå relativt tynne sprøytebetongsjikt (< 80 mm) i hovudtunnelen (sjå Figur 124). *Førebels konklusjonen er at reseptar tilsvarande M45 med Standard FA ikkje verkar meir motstandstandsdyktige mot nedbryting i undersjøisk miljø enn tidlegare reseptar basert på CEM 1.*

**XC2-XC3, XD1, XS3, XA3 (10 år): CEM II/AV 42,5R,
v/b = 0,43, SF = 5 %. Felt 2 under biofilm**



Figur. 122. Felt 2 eksponert i 10 år. Kjerne T2. Tynn sprøytebetong (totalt 40 mm) under biofilm (til 2020). Fordeling av omvandling observert i tynnslip viser omvandling gjennom heile tverrsnittet. PCD = Popcorn kalsitt, TSA = thaumasitt sulfat angrep, MSH = magnesium silikat hydrat. MASH = magnesium aluminium silikat hydrat. Utført i samarbeid med PhD ved Chalmers (Karačić 2021).

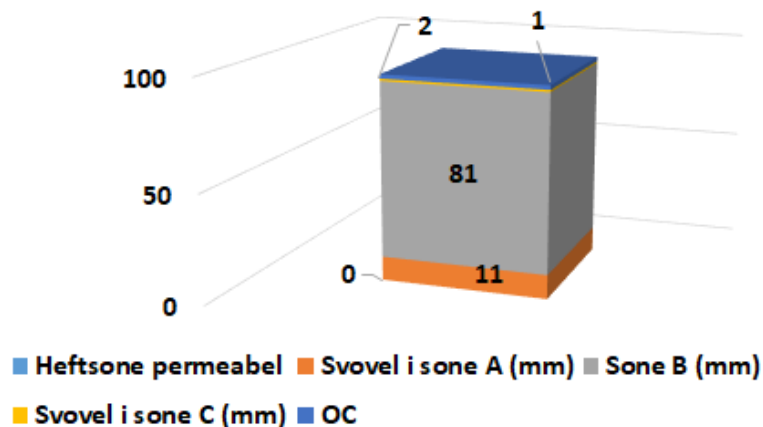
4.2.3 Resultat frå servicetunnelen/pumpesumpen etter 5 ½ års eksponering

Sprøytebetongen frå 1999, i servicetunnelen på høgre side ned til pumpesumpen, var tydeleg nedbroten etter fem år og blei erstatta våren 2004 med resept basert på Standard FA (Vedlegg 3). Årsaka til nedbrytinga var høgt fuktnivå med inntrenging av magnesium, klorid og svovel frå heftsona med finfordelt kalsiumkarbonat (Prøve H-2004: Hagelia 2011b). Påverknad frå salint grunnvatn hadde ført til omvandling av C-S-H til M-S-H og omfattande fiberkorrosjon. Betongen hadde eit kvitt forvittra preg og var utan innverknad frå biofilm (Hagelia 2008a, 2018a).

Den nye sprøytebetongen frå 2004 blei undersøkt i 2009 etter 5,5 års eksponering (Holm 2011b). Analysar av tynnslip med Scanning elektronmikroskop viste inntrenging av svovel (sulfat), klorid og magnesium frå heftsona (Sone A i Figur 123). Den undersøkte sylindern var totalt 95 mm tjukk.

Sprøytebetongen i dette området ved pumpesumpen var i 2020 fortsatt upåverka av biofilm.

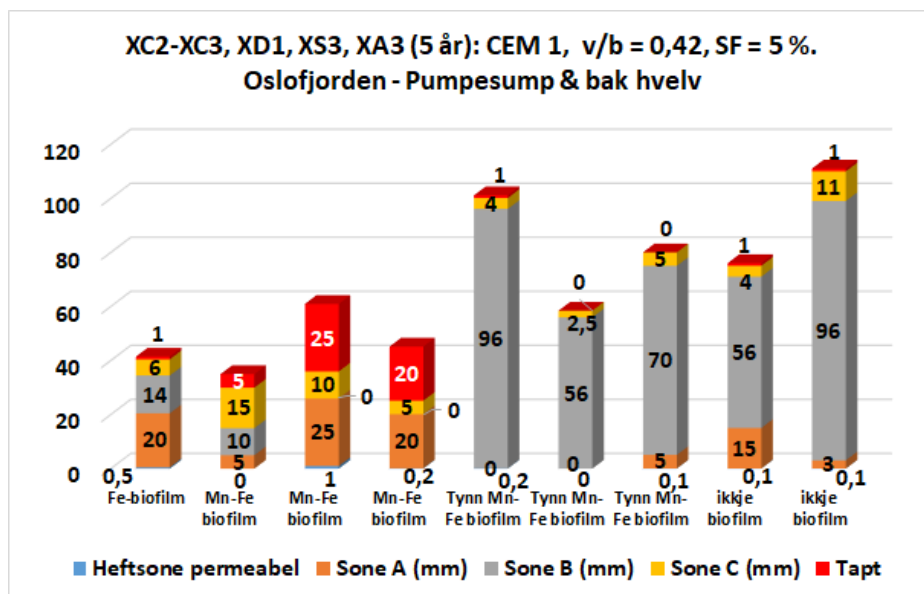
XC2-XC3, XD1, XS3, XA3 (5 år): CEM II/AV 42,5R, v/b = 0,41, SF = 5 %. Oslofjorden - Pumpesump



Figur. 123. Fordeling av omvandling i sprøytebetong frå servicetunnelen til pumpesumpen i 2004. Betongalder og resept Standard FA er omtrent lik betongen i testfeltet. Data frå undersøking ved Scanning elektronmikroskop er samanstilt frå kjerne «ok10» i rapport frå Holm (2009b). Betongalder 5,5 år.

4.2.4 Resultat frå hovudtunnelen etter 5, 10 og 16 års eksponering

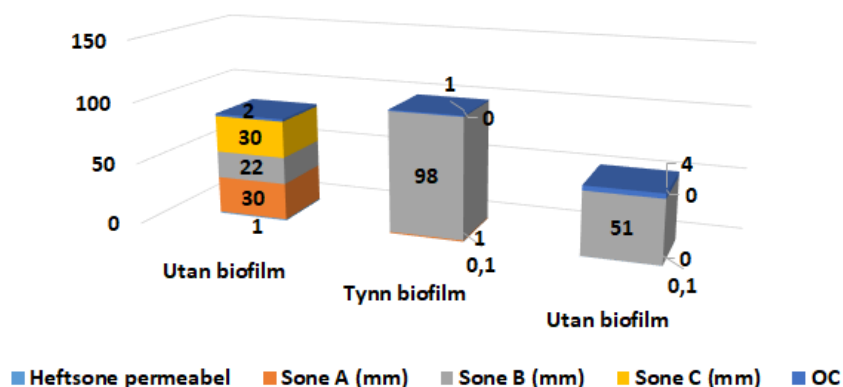
Statens vegvesen rapport 566 (Hagelia 2018a) omfattar fleire undersjøiske tunnelar, med 5, 10 og 16 års resultat frå Oslofjordtunnelen. Det er tydeleg at omvandling med utvikling av nedbrytingsreaksjonar er mest avhengig av variasjonar med tanke på eksponeringsforhold og tykkelsen til sprøytebetongen. Relativt tynnare betong med lokal påverknad av biofilm og lekkasjar er mindre motstandsdyktig enn tykkare sprøytebetong. Relativt tørr sprøytebetong med god heft er for det meste upåverka.



Figur. 124. Fordeling av omvandling i sprøytebetong etter 5 års eksponering basert. Dei fire mest omvandla prøvene (venstre) er frå lokalt område ved pumpeumpen med tjukk biofilm på Lok 1. Resten er frå Lok 2 i område med tynn biofilm (pel 15925) og område med fuktig betong utan biofilm (pel 15930). Data frå Hagelia (2018a).

Det ser ut til at betong dekt med tykk biofilm er meir skadeleg enn betong med tynnare biofilm. Temperaturen på dei to lokalitetane er konstant heile året (13 °C ved pumpeumpen Lok 1 og 8–9 °C ved Lok 2). pH har historisk sett variert frå (5,5), 6,5 til 7,5 i den tykke biofilmen i pumpeumpen og gitt stor grad av nedbryting med oppsmuldring og lokalt tap av ytre 5–25 mm. Sprøytebetongen ved Lok 2 (pel 15925 – 15930) med tynn biofilm og utan biofilm har mindre grad av nedbryting. Men fleire undersøkte kjerner her hadde tydeleg innslag av omvandling, med magnesium- og sulfatangrep, utluting av kalsium og kloridinntrenging etter vel 5 års eksponering (Hagelia 2011a, 2018a).

XC2-XC3, XD1, XS3, XA3 (10 & 16 år): CEM 1, v/b = 0,42, SF = 5 %.
Oslofjorden - Bak hvelv



Figur 125. Fordeling av omvandling i sprøytebetong ved Lok 2. 1: pel 15930 utan biofilm etter 10 års eksponering (Holm 2011c), 2: pel 15925 med tynn biofilm og 3: pel 15930 utan biofilm, begge etter 16 års eksponering (Hagelia 2018a).

Ny prøvetaking av fuktig sprøytebetong utan biofilm basert på tynnslip og scanning elektronmikroskopi (Lok 2 pel 15930) i 2009 etter 10 års eksponering viste tydeleg påverknad av svovel, magnesium og klor fleire cm inn i sprøytebetongen frå begge sider (Figur 125). pH har ligge ganske konstant omkring 7–7,5 (Hagelia 2011a, Karačić 2021). Prøvetaking og tynnslipanalyse av same område etter 16 års eksponering viste liten grad av omvandling i dei nye prøvepunktta (Figur 125).

Det er generelt store variasjonar med tanke på nedbryting innan kvart avgrensa område. Dette reflekterer varierende tilgang på salint grunnvatn og ulike effektar av tykk og tynn biofilm. Effekten av lokale eksponeringsforhold er mykje meir viktig for tilstandsutviklinga enn betongalder (Hagelia 2019).

4.3 Fiber

4.3.1 Stålfiber

Det blei utført ei rangering av korrosjonsomfanget i sonene A, B, C og OC for kvar undersøkt prøve (Tabell 10). Hovudmålet var å undersøke samanhengar mellom korrosjonsomfanget og tykkelsen til sprøytebetongen. Rangeringa bygger på mikroskopering av tynnslip og visuell undersøking av kjerneprøver etter følgjande klassifisering:

- Klasse 0 = Ingen fiberkorrosjon
- Klasse 1 = Svært marginal fiberkorrosjon, bare synleg i tynnslip og med lupe
- Klasse 2 = Fiberkorrosjon, destruktiv i ytre deler med intakt indre fiber, synleg på makroskala
- Klasse 3 = Destruktiv fiberkorrosjon, omfattande til total nedbryting

$$\text{Vekta karakter} = (A/T \times Ka) + (B/T \times Kb) + (C/T \times Kc) + (OC/T \times Koc)$$

A, B, C & OC = breidda til dei respektive sonene (mm)

T = total tykkelse (mm)

Ka, Kb, Kc & Koc = karakterar gitt dei respektive sonene (0, 1, 2, 3)

Korrosjonsomfanget er uttrykt med ein vekta karakter for kvar prøve etter formelen i ramma over og er vist i diagram som vekta karakter plotta mot tykkelse. Vekta karakterar er vurdert på følgjande måte:

Karakter 0–0,1 = **ingen korrosjon (blå)**

Karakter 0,1–1 = **svært marginal korrosjon (gul)**

Karakter 1–2 = **tydeleg korrosjon (oransje)**

Karakter 2–3 = **omfattande korrosjon delvis destruktiv (raud)**

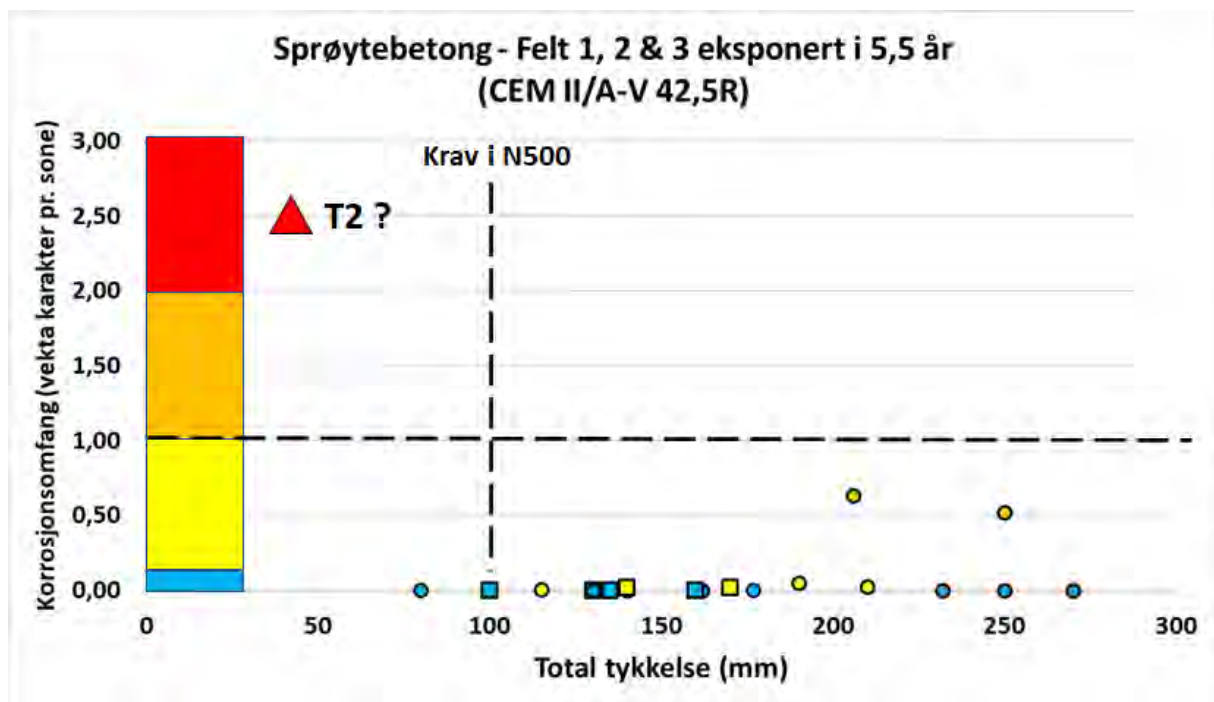
Resultata frå testfeltet (Figur 126, plotta frå Tabell 10) er samanlikna med tidlegare resultat frå Oslofjorden og fleire andre undersjøiske tunnelar (Figur 127). Karaktersystemet er vist med fargekodar langs y-aksen, som gjeld vekta tilstand for kvar heile kjerne. Kvar kjerne er i tillegg vist med fargekode for høgste grad av korrosjon (ikkje vekta klasse).

Tabell 10 Omvandling av kjerner bora ut frå Felt 1, 2 og 3 september 2015 med informasjon om fibertilstand i dei enkelte sonene (A, B, C og OC). Brun = kjerner med biofilm. Grå = kjerner utan biofilm. Resultata er plotta med fargesymbol i Figur 126. Det er lite stålfiber i FB2 og FG2 (Felt 2), men ingen eksempel viste korrosjon.

Prøvenr/tykkelse	Heftsoner per Permeabel	Omvandling Sone A	Fiberkorrosjo Sone A	Relativt intak Sone B	Fiberkorrosjo Sone B	Omvandling Sone C	Fiberkorrosjo Sone C	Omvandling OC	Fiberkorrosjo OC	Vekta karakter
FB1-1*/140	0,3	15	0	124	0	1	0	0	0	0,00
FB1-2 /210	0,1	3	0	202	0	5	1	0	0	0,02
FB1-3 /190	0,2	5	0	175	0	10	1	0	0	0,05
FB1-4 /250	0,2	60	2	180	0	10	1	0	0	0,52
FG1-1 /115	0	0	0	114	0	0	0	1	1	0,01
FG1-2 /206	0,1	65	2	135	0	5	0	1	1	0,64
FG1-3 /270	0,1	0	0	264	0	5	0	1	0	0,00
FG1-4 /250	0,1	5	0	243	0	0	0	2	0	0,00
FB2-1*/80	0	0	0	50	0	0	0	30	0	0,00
FB2-2 /130	0	0	0	128	0	2	0	0	0	0,00
FB2-3 /230	0,1	0	0	230	0	2	0	0	0	0,00
FB2-4 /100	0	0	0	99	0	1	0	0	0	0,00
FG2-1 /177	0	0	0	168	0	6	0	3	0	0,00
FG2-2 /162	0,1	0	0	159	0	2	0	1	0	0,00
FG2-3 /160	0	0	0	158	0	0	0	2	0	0,00
F3-1 /130	0,1	0	0	127	0	0	0	3	0	0,00
F3-2 /160	0	0	0	159	0	0	0	1	0	0,00
F3-3 /135	0	0	0	134	0	0	0	1	0	0,00
F3-4 */100	0	0	0	95	0	0	0	5	0	0,00
F3-5 /140	0	0	0	137	0	0	0	3	1	0,02
F3-6 /170	0	0	0	167	0	0	0	3	1	0,02

*) tynnslip av ytre (Sone OC-C og B) og indre (sone B, A og heft)

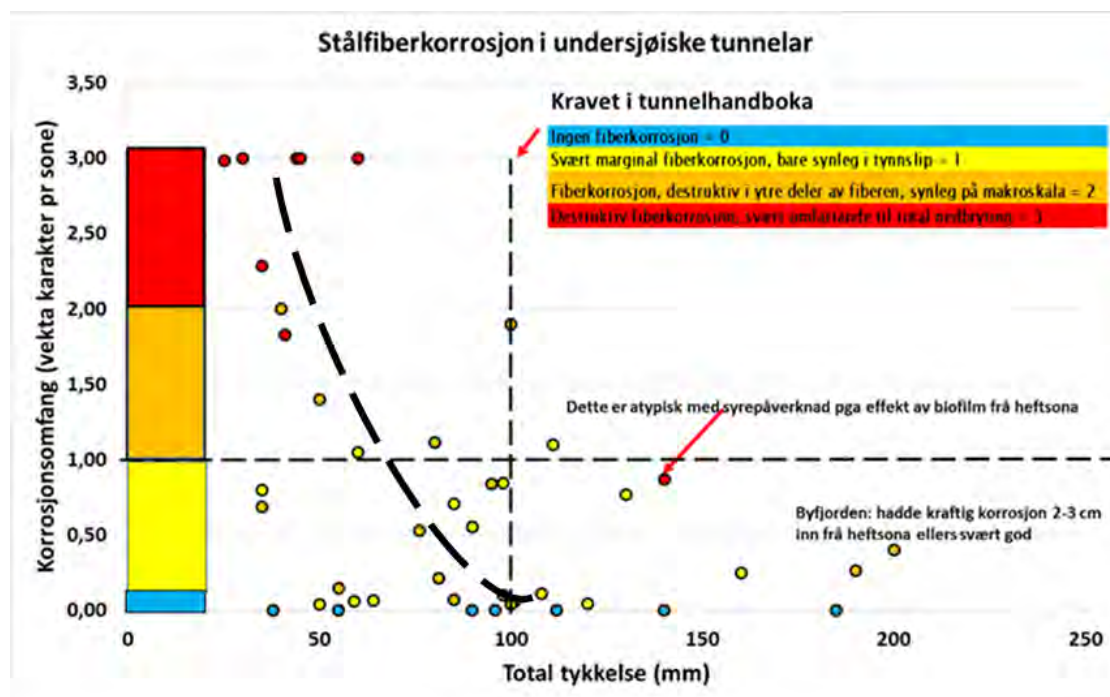
Figur 126 viser resultata samla. Vekta karakterar viser praktisk talt ingen stålfiberkorrosjon. Tykkelsen til sprøytebetongen varierte frå 80 til 270 mm, og viser at omfang av stålfiberkorrosjon er uavhengig av variasjonar innan dette intervallet.



Figur 126. Standard FA viser nesten ikkje stålfiberkorrosjon etter 5,5 års eksponering. Korrosjonsomfang er vist med fargar. Sirkulære symbol er sprøytebetong laga med M45, dvs. både Felt 1 og Felt 2 ($v/b = 0,43$). Kvadratiske symbol er M40, Felt 3 ($v/b = 0,39$). Dei to oransje symbola representerer litt høgt korrosjonsomfang i Sone A (begge frå Felt 1). Plassering av kjerne T2 frå Felt 2 (10 år) er drøfta i teksten.

Nokre kjerner hadde innslag av svært marginal korrosjon i ytre deler av betongen, vist med gule symbol. To kjerner frå Felt 1 hadde meir kraftig fiberkorrosjon (oransje) i Sone A i begge tilfelle knytta til litt opne heftsoner. Diagrammet tyder på at resept 3 (M40 S) er mest motstandsdyktig mot stålfiberkorrosjon. Resept M45 P (FB2 og FG2) viste ikkje stålfiberkorrosjon i dei få tilfella ein kunne observere på kjernematerialet. Tynnslip FB2-1a viste ein enkelstålfiber heilt utan korrosjon litt under ytre overflate mot biofilm, som bekreftar inntrykket.

I tillegg er *kjerne T2 frå september 2020* plotta inn. Denne tynne sprøytebetongen var sterkt omvandla ved utluting av kalsium, utfelling av kalsiumkarbonat (Popcorn kalsitt) og infiltrasjon av magnesium, klorid og svovel (thaumasitt sulfatangrep), men var utan stålfiber (Kapittel 4.2.2, Karačić 2021). Omfanget og nedbrytingsmekanisme i T2 er identisk med nedbrytinga i den opphavlege sprøytebetong i servicetunnelen til pumpesumpen, som hadde omfattande stålfiberkorrosjon og blei erstatta med ny betong etter bare 5 år (Kapittel 4.2.3). Det er tilstanden i sementlimet som avgjer om stålfiberen er inert eller kan korrodere: Prøve T4 er derfor tentativt plotta inn i område med destruktiv stålfiberkorrosjon.



Figur. 127. Korrosjonsomfanget i sprøytebetong basert på CEM 1 med silikastøv i hovudtunnelen , saman med resultat frå andre undersjøiske tunnelar, alle designa som M45. Diagrammet viser at sprøytebetongsjikt tynnare enn ca 100 mm er utsett for stålfiberkorrosjon (Hagelia 2018a). Stipla tjukk linje viser hovudtrenden for Oslofjordtunnelen i 2004 ved betongalder 5 år; v/b = 0,42-0,45 og 5 % silikastøv.

Samanlikninga viser at sprøytebetong i testfeltet har mykje mindre omfang av stålfiberkorrosjon enn erfaringa basert på reseptar med CEM I (sjå SVV rapport 566). Den undersøkte sprøytebetongen i Oslofjord testfelt er for det meste tykkare enn 100 mm. I lys av den kraftige omvandlinga i kjerne T2 er det ikkje opplagt at sprøytebetong basert på Standard FA kan utførast med slakkare krav til tykkelse enn dagens designreglar (N500). Men det er nødvendig å avklare desse forholda nærmare med fleire prøver over lenger tidshorisont.

4.3.2 PP-fiber

Hughes (2012, 2013) har vist at PP-fiber i marine konstruksjonar i Storbritannia er under nedbryting på grunn av algar og fotosyntetiske mikroorganismar. Biofilmene på sprøytebetong i Oslofjordtunnelen er ikkje fotosyntetiske, og erfaringa frå Storbritannia kan neppe overførast til norsk sprøytebetong direkte. Men det er truleg for tidleg å konkludere med at eigenskapane til PP-fiber er fullstendig upåverka av biofilm.

Undersøkingane av PP-fiber i sprøytebetong viste at dei er utsett for stress som truleg er resultat av sprøyteoperasjonen (sjå Kapittel 3.6.1, Figur 97 & 98). Dette har ført til intern oppflising av fiberen med utfelling av mineral:

- PP-fiber ut mot tunnelrommet viste vekst av biomineral og karbonat både på fiberoverflater og internt i oppflisa fiber.
- PP-fiber internt i sprøytebetongen viste inntrenging av sementpasta og vekst av potensielt sprengande ettringitt, i blant i heile tverrsnittet til fiberen (ved betongalder 10 år).

Det er ikkje utført nokon systematisk studie av dette fenomenet, og vi veit ikkje ennå i kva grad det vil kunne påverke eigenskapane til PP-fiber i det lange løp. *Ein kan derimot konkludere med at PP-fiber i blant er påverka av mineral som dannast internt i fiberen.* I miljø der sulfatangrep foregår er det muleg å tenke seg ei fysisk svekking av fibrane over tid ved ekspansiv intern vekst av ettringitt.

Resultata frå analysen av PP-fiber kan tyde på at også andre fibertypar samansett av mange finare fibrar, som for eksempel basaltfiber (ein glasfiber basert på basalt som råmateriale), vil vise liknande påverknad av intern mineralvekst eller ved inntrenging av sementpasta. Dersom ein slik mekanisme er utbreidd i basaltfiber vil det kunne føre til auka kontakt med høg pH i porevatnet som generelt fører til oppløysing av glas.

Eventuell skade ved oppflising av kunstfibrar vil generelt vere styrt av a) fysisk påverknad under sprøyteoperasjonen (stressnivået i fibrane), b) permeabiliteten til sement pastaen (motstand mot inntrenging av aggressivt vatn), c) pH i sementpastaen og d) molarvolumet til mineral som blir utfelt internt i fiberen: jo større molarvolum jo større potensiell sprengande effekt.

5 Oppsummering og tankar om testfeltet

Denne rapporten oppsummerer etableringa av Oslofjord testfelt for sprøytebetong i aggressivt undersjøisk miljø og gir ei detaljert samanstilling av alle analysane som er utført frå 2010 fram til 2015 etter 5,5 års eksponering. Testfeltet omfattar tre reseptar basert på Standard FA sement: 1) M45 SP med stålfiber og PP-makrofiber, 2) M45 P med PP-makrofiber og 3) M40 S med stålfiber. Testreseptane er brukte til sprøytebetong på tunnelvegg som bergsikring og i utstøypte prøver for eksponering i grøftevatn.

Feltet blei planlagt for monitorering over ti år med uttak av prøver for analyse etter 5 og 10 års eksponering. På grunn av manglande finansiering for 2020 blei ikkje 10 års testen realisert.

Testfeltet er også brukt av Chalmers i Gøteborg i samband med ein PhD-studie med vekt på mikrobiologiske undersøkingar av biofilmen (Karačić 2021).

Hovudmålet med denne rapporten har vore å få fram data knytta til betongen, påverknad frå ulike miljølaster og å påvise omfang av nedbryting og fiberkorrosjon over tid. Dette er samanlikna med resultat frå eldre sprøytebetong i Oslofjorden.

Resultata gir oss ein førebels innsikt med tanke på design av sprøytebetong i aggressivt undersjøisk miljø. Men det er for tidleg å trekke vidtgående konklusjonar, som bør bygge på lenger tids monitorering.

5.1 Oppsummering av resultatata

5.1.1 Eksponeringsforhold

Klassifisering etter NS-EN 206 viser at testfeltet stort sett ligg i Eksponeringsklasse XA3. Men eksponeringsforholda varierer reelt svært mykje meir. Omvandling og utvikling av nedbrytingsreaksjonar er i stor grad avhengig av variasjonar i dei lokale miljølasterne som verkar på betongen. Dersom ein ser vekk frå dette vil det i praksis vere uråd å avdekke årsakssamanhengane mellom miljøbelastning og nedbrytingsmekanisme.

Sprøytebetongoverflatene var delvis påverka av biofilm knytta til saltvasslekkasjar og delvis bare påverka av fuktig tunnelluft. Tilgang på salt grunnvatn frå heftsona varierte også. Dei utstøypte prøvene i grøftene var i hovudsak neddykka i biofilmrikt vatn, medan terningar eksponerte i tunnelluft tilsvarar eksponeringsforholda for sprøytebetong.

Analysar frå testfeltet viser at den kjemiske samansetninga til vatn og partiklar varierer over tid. pH i vatnet på sprøytebetongen og i grøftevatna har for det meste variert mellom 6 og 7,5. Det er vidare konstatert at deler av biofilmane på sprøytebetongfelta har begynt å tørka. Dersom dette fortsetter vil truleg effekten av mikrobiell nedbryting vil minke, men det vil fortsatt vere muleg å undersøke fenomenet.

Vatn og partiklar i grøftene viser seg å innehalde toksiske element (arsen, krom, uran mfl.). I samband med vedlikehald av Oslofjordtunnelen er det i blant nødvendig å blåse reint og fjerne tettande biofilm frå dren. Ein bør derfor ha eit auka fokus på dette med tanke på miljømessig riktig deponering.

5.1.2 Betonganalysar

Det er utført analyse av trykkstyrke, fiberinnhald, resistivitet, kloridinnhald og porøsitet. Gjennomsnittlege resultat etter eksponering 5 ½ år i Oslofjord testfelt viser at:

- Trykkstyrken i sprøytebetong er omtrent lik i alle reseptane (56–59 MPa), medan trykkstyrken i karprøvene auka frå M45 SP via M45 P til M40 S (hhv. 54 MPa; 71 MPa og 90 MPa). Terningprøvene hadde omtrent same trykkstyrke som karprøvene.
- Fiberinnhaldet i M45 SP er omtrent i samsvar med resepten, medan M45 P hadde litt lågt innhald av PP-fiber. M40 S hadde under halvparten av stålfiber samanlikna med resepten. Dette gjeld både for sprøytebetongen og utstøpte prøver.
- Resistiviteten i sprøytebetong skil klart mellom dei tre reseptane; med høgast elektrisk motstand i resept M40S og minst i M45 SP. Resistiviteten i karprøvene og terningane er høgare enn i sprøytebetong og skil ikkje tydeleg mellom reseptane.
- Kloridinnhaldet i sprøytebetongen er i gjennomsnitt mykje høgare enn 0,1 % av betongvekta og varierer avhengig av eksponeringsforholda på overflata mot tunnelrommet og tilgangen på salt grunnvatn frå heftsona. Det er i gjennomsnitt høgare kloridinnhald i sprøytebetong under biofilm enn betong utan biofilm. Plateprøvene i Grøft A med rustbrun biofilm og rennande vatn har i gjennomsnitt høgare innhald av klorid enn plateprøvene i grøft B med mørk biofilm og stagnant vatn, men variasjonen er stor. Kloridinnhaldet i terningar eksponert i tunneluft er 0,21 % i resept M45 SP som er omtrent dobbelt så høgt som i dei to andre reseptane. M40 S er lågast (0,09 %).
- Sugporøsiteten i sprøytebetong basert på 5 år gamle prøver lagra i vatn på laboratoriet omtrent lik for alle reseptar (24,3 til 26,5 %) med lågaste verdi for M40 S). Tilsvarande verdiar blei målt i sprøytebetong utan biofilm. Men sprøytebetong under biofilm og saltvasspåverka betong frå heftsona har sugporøsitet omkring 31–33 % (sekundærporøsitet). Makroporøsiteten ligg mellom 2–3,6 %. Karprøvene har lågare sugporøsitet (18,8 – 19,8 %) og høgare makroporøsitet enn sprøytebetong (1,4– 9,3 %), der M40 S har lågast totalporøsitet. Sugporøsiteten i plateprøvene eksponert i dei to grøftene varierer sterkt, men er i gjennomsnitt lågast i resepten med M40 S.

5.1.3 Petrografi, Scanning elektronmikroskopi (SEM) og røntgenanalyse (XRD)

Undersøking av betong i polarisert lys, SEM og ved XRD gir grunnlag for å identifisere skademekanismar og skadeomfang. Resultata frå Oslofjord testfelt er summert i kapittel 3.6 med vedlegg. Nokre viktige funn:

- Alle typiske skademekanismar vi kjenner frå undersjøiske tunnelbetong er observert i testfeltet.
- Skadeomfanget etter 5,5 års eksponering er ikkje stort, men er typisk for det ein ofte ser i ung undersjøisk sprøytebetong.
- Det er avdekt stor grad av omvandling og nedbryting av sementlimet i 40 mm tykk sprøytebetong etter 10 års eksponering under biofilm (Felt 2). Reseptar tilsvarande M45 med Standard FA ser ikkje ut til å vere meir motstandstandsdyktige mot nedbryting i undersjøisk miljø enn tidlegare reseptar basert på CEM 1.

- Basert på SEM analysar er inntrenging av klorid, sulfat og magnesium, frå eksponerte flater og 25–40 mm innover, omtrent på same nivå både i sprøytebetong og plateprøver, uavhengig av resept.

5.1.4 Kan testing av utstøypte prøver erstatte testing og monitorering av sprøytebetong?

Samanlikning av prøvene i Oslofjord testfelt har vist at analysar på utstøypte prøver for det meste indikerer betre kvalitet enn same reseptar brukt i sprøytebetongen. Ein bør derfor ikkje trekke vidtgående konklusjonar om sprøytebetongreseptar og bestandigheit basert på utstøypte prøver som tilnærming.

5.1.5 Samanlikning av Standard FA og eldre resept i Oslofjordtunnelen

Samanlikning av resultat frå testfeltet og hovudtunnelen tyder ikkje på at det er veldig store forskjellar mellom reseptar tilsvarende M45 med tanke på tilstandsutvikling. I følgje dagens regelverk skal sprøytebetong til bergsikring i undersjøisk miljø tilfredsstillende M40S. Uheldigvis var Felt 3 med denne resepten mindre påverka av saltvatn enn Felt 1 og Felt 2 (begge M45). Felt 3 var heller ikkje påverka av biofilm. Det vil vere nyttig og fortsett samanlikne tidlegare brukte reseptar i undersjøiske tunnelar med Standard FA baserte reseptar eller andre reseptar med ulike masseforhold. Utvikling av sprøytebetong under biofilm med $v/b = 0,40$ i Frøyatunnelen bør inngå i det vidare arbeidet (Hagelia 2018a).

5.1.6 Stålfiber versus PP-fiber

Resultata frå undersøkingane i Oslofjord testfelt viser at stålfiberkorrosjon har svært lite omfang, trass i dominerande høgt kloridinnhald. Dette forholdet er rapportert frå fleire undersjøiske tunnelar (Holm 2011a, b c; Mannvit 2015a,b,c, Mannvit 2016, Hagelia 2018a), og er grunnlaget for at Statens vegvesen ikkje lenger bruker PP-fiber i våre prosjekt.

Årsaka til dette er liten/ingen tilgang på oksygen (katode) i kloridholdig (anode) sprøytebetong samt at stålfibrane stort sett ikkje er i galvanisk kontakt (sjå Figur 64). Føresetnaden er likevel at ein unngår design med tynne sprøytebetongsjikt (< 100 mm) i undersjøiske delstrekningar som gir større fare for omfattande korrosjon.

Undersøkingane av sprøytebetong i Felt 2 har nå vist at makro PP-fiber har ein tendens til å flise seg opp på langs ofte med utfelling av mineral innimellom. SEM analysar viste at mineralet ettringitt vekser til dels tett i tett internt i PP-fiber. Ettringitt dannast etter kontakt med sulfate frå sjøvatnet og er kjent for å for sterk sprengande effekt. *PP-fiber er derfor ikkje fullstendig inert i fysisk forstand.* Det er ikkje ennå teikn på at PP-fiberen blir kjemisk svekka av undersjøisk biofilm, men i lys av resultata til Hughes (2012) er det for tidleg å avskrive ein slik langtidsverkande mekanisme.

Det er behov for lenger tids monitorering av PP-fiber i undersjøisk tunnelmiljø. Det er også muleg at basaltfiber kan bli påverka av liknande reaksjonsmekanismer.

5.2 Vidare undersøkingar

Statens vegvesen er langtidseigar og samfunnsøkonomisk ansvarleg for alle tunnelar på riksvegnettet. Vidare utvikling av betongreseptar og design med tanke på varig sikring av tunnelar (100 års levetid) og optimal ressursbruk må bygge på dokumentasjon og tilstandsutvikling over lang tid. Forvaltning og utvikling av denne kunnskapen vil bli svært viktig i åra framover.

Oslofjord testfelt bør derfor følgjast opp med testing av sprøytebetong og dei utplasserte prøvene som var planlagt gjennomført i 2020. Testfeltet har også stort potensiale for vidare utvikling. Det er fullt muleg å følgje opp dei eksisterande sprøytebetongfelta utover planlagt tid. Testfeltet kan med fordel også nyttast for å teste nye reseptar, både ved etablering av nye sprøytebetongfelt og med tanke på andre bruksområde for betong.

Første oppfølging av Oslofjord testfelt bør komme innan 1–2 år og omfatte:

- Oppfølging av eksponeringsmiljøet, med nye pH-målingar i felt, kjemisk analyse av vatn og med oversikt over akkumulering av biofilm på sprøytebetong og i grøfter. Dette kan med fordel starte opp eit år før uttak av betongprøver.
- Analyseprogrammet for gjenverande betongprøver må vere tilsvarende som utført i 2015, inklusive testing av energiabsorpsjon (sjå Tabell 3).
- Dersom ein har tilgang til CT-scannar med høg oppløysing (eksempel i Vedlegg 14) vil det vere muleg å utføre fiberteljing av både stålfiber og PP-fiber digitalt.
- Ein bør legge vekt på analyse av representative tynnslip (inklusive SEM-analyse), av for å dokumentere den vidare utviklinga av nedbryting, og spesielt undersøke om ettringitt internt i PP-fiber kan føre til sprenging og skade.

Følgjande hovudproblematikk med tanke på sprøytebetong og levetid bør følgjast opp over lenger tid:

- Langtidsmonitorering og analyse over fleire ti-år, etter modell av Alunskiferutvalget (Bastiansen mfl. 1957).
- Undersøke soner med dårleg heft mot bergmassen og om nedbrytinga fortsetter, samt evt. teste ut materialar som kan gi betre hefteegenskapar.
- I lys av bl.a. ny mikrobiologisk forskning avklare korleis ein i framtida kan minske omfanget av biofilm.
- Teste ut nye miljøvennlege sementar ved å etablere nye sprøytebetongfelt.
- Betydninga av sprøytebetongtykkelse og undersøke om nye reseptar kan gi langtidsbestandigheit i aggressivt undersjøisk miljø også med tynnare sprøytebetongsjikt enn dagens krav

Takkens ord:

Oslofjord testfelt kom ikkje av seg sjølv. Reidar Kompen († 2021) hadde ei spesielt viktig rolle med tanke på både design av testfeltet, tilrettelegging og gode kontaktar. Jan Erik Hetlebakke (E-Service) skaffa betong og sto ansvarleg for sprøytinga. Elin Morgan (NGI) utførte Lidar scanning av feltet. Både E-Service og NGI gav svært gunstige prisar for oppdraga. Per Sydsæther, Trond Lorentzen, Knut Kjøl, Bente MacGonnell og Ferhat Tasmin Khan (Statens

vegvesen) utførte betonganalysane ved Sentrallaboratoriet. Jan Viggo Holm (†) (Norconsult) bidrog med faglege samtalar og undersøkingar i Oslofjordtunnelen. Lars Kirksæther og Trygve Furuseth (†) (Institutt for energiteknikk) utførte hhv tynnslippreparering og SEM-analyse. Hans-Jørgen Berg (†), Nélia Castro og Øyvind Hammer (Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo) har på ulike tidspunkt bidratt med analysar. Synnøve Myhren og Alf Kveen (SVV) skal ha takk for god betong- og tunnelfagleg leiing av etatsprogrammet Varige konstruksjonar. Bård Pedersen (SVV) las gjennom rapporten og gav konstruktiv tilbakemeldingar.

6 Referansar

- Bastiansen O, Moum og Rosenqvist (1957): Bidrag til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifere. NGI Publikasjon nr. 22, 72 sider.
- Berrocal CG (2017): Corrosion of steel bars in fibre reinforced concrete: Corrosion mechanisms and structural performance. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. 69pp + Appendices.
- Bertron A. (2014): Understanding interactions between cementitious materials and microorganisms: a key to sustainable and safe concrete structures in various context. Mater Struct. 47:1787-1806.
- Davik KI (1997a): Riktig bruk av sprøytebetong i tunneler, Del B Undersjøiske tunneler. Statens vegvesen, 66 sider.
- Davik KI (1997b): Riktig bruk av sprøytebetong i tunneler, Sluttrapport. Statens vegvesen, 46 sider.
- Davik KI (1998): Proper use of sprayed concrete in tunnels. Nordic Road and Transport Research 1998-1, 16-17.
- Engelsen CJ, van der Sloot HA, Wibetoe G, Justnes H, Lund W, Stoltenberg-Hansson E (2010): Leaching characteristics and geochemical modelling of minor and trace elements released from recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Research, 40, 1639-1649.
- Franzén T, Garshol KF and Tomisawa N (2001): ITA/AITES Accredited Material. Sprayed concrete for final linings: ITA working group report. Tunnelling and Underground Space Technology 16, 295-309.
- Hagelia P, Sibbick RG, Crammond NJ, Larsen CK (2003): Thaumasite and secondary calcite in some Norwegian concretes. Cement and Concrete Composites, 25, 1131-1140.
- Hagelia P (2007): Sprayed concrete deterioration influenced by saline ground water and Mn-Fe biomineralisation in subsea tunnels. In: B. Jamtveit (ed.), Mechanical Effects on Reactive Systems. The 20th Kongsberg Seminar, Physics of Geological Processes (PGP), University of Oslo, page 26.
https://www.researchgate.net/publication/322715776_Sprayed_concrete_deterioration_influenced_by_saline_ground_water_and_Mn-Fe_biomineralisation_in_subsea_tunnels
- Hagelia P (2008a): Deterioration mechanisms and durability of sprayed concrete in Norwegian tunnels. In: K.Berg, C.Hauck, R.Kompen (Eds.), 5th International Symposium on Sprayed Concrete - Modern Use of Wet Sprayed Concrete for Underground Support, Lillehammer, Norway, pp 180-197.
- Hagelia P (2008b): Does the EN 206-1 Exposure Classification Apply to Tunnel Concrete? In: E.V. Sørensen, D.H. Bager (Eds.), Nordic Exposure Sites - Input to revision of EN 206-1, Workshop Proceedings from a Nordic Miniseminar, Hirtshals, Denmark, pp 241-263.
- Hagelia P (2011a): Sprayed concrete in aggressive subsea environment - the Oslofjord test site. In: T.Beck, O Woldmo, S Engen (Eds.), 6th International Symposium on Sprayed Concrete - Modern Use of Wet Sprayed Concrete for Underground Support, Tromsø, Norway, pp 161-175.
- Hagelia P (2011b): Deterioration Mechanisms and Durability of Sprayed Concrete for Rock

- Support in Tunnels. PhD Thesis, Technische Universiteit Delft, Nederland. 205p + Appendices. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:d64b8ff8-8d68-4eea-a320-73148e9f1b15?collection=research>
- Hagelia P (2013): Interaction of abiotic and biochemical reactions and their role in concrete deterioration. *Concrete*, Vol. 47, No 6, pp 49–51.
- Hagelia P (2016): Miljøbelastningar i vegtunnelar – oppsummering. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015. Statens vegvesens rapport 577.
- Hagelia P (2018a): Oppsummering av tilstandsutvikling i sprøytebetong som bergsikring i ulike tunnelmiljø. Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015. Statens vegvesens rapport 566.
- Hagelia P (2018b): Durability of sprayed concrete for rock support – A tale from the tunnels. In: S Engen, T Beck, S Myren (Eds.), 8th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Sprayed Concrete for Underground Support, Trondheim, Norway, pp 172–187.
- Hagelia P (2019). Durability development in sprayed concrete for rock support; Is it possible to establish a basis for modelling? *HERON* 64, ½, 75–96.
- Hagelia P, Karačić S, Haverkamp THA, Persson F & Wilén B-M (2020): Biodeterioration of sprayed concrete in subsea tunnels. Investigations into the role and nature of Mn – Fe biofilm over 17 years. *Microorganisms–Cementitious Materials Interactions*, Chapter 4.2, RILEM TC 253–MCI State-of-the-Art-Report, Springer (in press). [\(19\) \(PDF\) Chapter 4.2 Biodeterioration of sprayed concrete in subsea tunnels. Investigations into the role and nature of Mn –Fe biofilm over 17 years \(researchgate.net\)](#)
- Hansen BO (1996): Utvikling og tilstand i Flekkerøytunnelen. Sprøytebetong i undersjøiske tunneler. Rapport fra temadag i Ålesund 12–14 august. Produksjonsteknisk kontor, 04.10–1996.
- Holm JV (2011a): Moderne vegtunneler – Freifjordtunnelen. Sprøytebetong. Norconsult, Oppdragsnummer 5013053. 10 sider m/vedlegg fra SINTEF.
- Holm JV (2011b): Moderne vegtunneler – Oslofjordtunnelen. Sprøytebetong fra passeringstunnelen. Norconsult, Oppdragsnummer 5013053. 10 sider m/vedlegg fra SINTEF.
- Holm JV (2011c): Moderne vegtunneler – Oslofjordtunnelen. Sprøytebetong over fryseseonen. Norconsult, Oppdragsnummer 5013053. 10 sider m/vedlegg fra SINTEF.
- Hughes P (2012): A new mechanism for accelerated degradation of synthetic fibre reinforced concrete. *Concrete*, Vol. 46, No 9, pp 18–20.
- Hughes P, Fairhurst D, Sherrington L (2013): Microscopic examination of a new mechanism for accelerated degradation of synthetic fiber reinforced marine concrete. *Construction and Building Materials*, 41, 498–504.
- Karačić S, Hagelia P, Persson F & Wilén B-M (2016): Microbial Attack on Subsea Sprayed Concrete. RILEM–MCI seminar, TU–Delft Juni 2016, 13 s. <http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/10/c8f6d6950a6653e01c62471bb5efe1a2.pdf>
- Karačić S (2018): Microbially induced concrete degradation in subsea tunnels. Community structure of biofilms from sprayed reinforced concrete in the Oslofjord tunnel. Thesis for the degree of Licentiate of Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 84 s.

- Karačić S, Hagelia P, Haverkamp THA, Persson F & Wilén B–M (2018): Biodeterioration of reinforced sprayed concrete in subsea tunnels. Final Conference of RILEM TC 253–MCI: Microorganisms–Cementitious Materials Interactions, Vol. 1 Issue PRO 123 p. 209–221, Toulouse, France, France, 2018.
- Karačić S, Wilén B–M, Suarez C, Hagelia P & Persson F (2019): Subsea tunnel reinforced sprayed concrete subjected to deterioration harbours distinct microbial communities. *Biofouling*, 34–10, 1161–1174.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927014.2018.1556259>
- Karačić S (2021): Microbial biofilm communities associated with degradation of sprayed concrete in subsea tunnels. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sverige. <https://www.avhandlingar.se/avhandling/dd54aa2049/>
- Klemetsrud K (2016): Korrosjonsforsøk på bolter i Oslofjordtunnelen. *Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015. Statens vegvesens rapport 466.*
- Kompen R (2008): How the use of fibres has developed in Norway. In: K Berg, C Hauck, R Kompen (Eds.), *5th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support*. Lillehammer, pp. 245–249.
- Lloyd JR, Young P, Macaskie LE (1998): Enzymatic recovery of elemental palladium by using sulfate–reducing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 64–11, 4607–4609.
- Mannvit (2015a): Tilstandskontroll sprøytebetong. Sløverfjordtunnelen. Mannvit rapport MV–2015–007. 125 sider.
- Mannvit (2015b): Tilstandskontroll sprøytebetong. Frøyatunnelen. Mannvit rapport MV–2015–011. 117 sider
- Mannvit (2015c): Tilstandskontroll sprøytebetong. Flekkerøytunnelen. Mannvit rapport MV–2015–015. 226 sider
- Mannvit (2016): Tilstandskontroll av sprøytebetong i sju tunneler. *Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012–2015. Statens vegvesen rapport nr. 475.*
- Miljødirektoratet (2016): Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder M–608.
- Myren S, Hagelia P, Bjøntegaard Ø (2018): The ban of polymer fibre in FRSC in Norwegian road tunnels. In, S Engen, T Beck, S Myren (Eds.), *8th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Sprayed Concrete for Underground Support*, Trondheim, Norway, pp 257–260.
- Norwegian Geotechnical Institute (2015): Using the Q–system. Rock mass classification and support design. Handbook.
- Pedersen B (2016): Sementer med flygeaske og slagg: Lab– og felterfaringer. Statens vegvesen rapport nr. 517.
- Romer M (2003): Detachment of shotcrete linings due to long–term interaction with ground water. *International Seminar: The Thaumassite Form of Sulfate Attack*. University of Sheffield.
- Statens vegvesen: Håndbok N500 Vegtunneler.
- Statens vegvesen (2007): Håndbok R025 Prosesskode 1.
- Statens vegvesen (2015): Håndbok R761 Prosesskode 1.
- Steindel FR, Galan I, Baldemann A, Sakoparnig M, Briendl L, Juhart J, Thumann M, Dietzel M,

- Röck R, Klusterle W, Mittermayr F (2020): Sulfate durability and leaching behaviour of dry- and wet-mix shotcrete mixes. *Cement and Concrete Research*, 137, 106180.
- Van der Sloot HA (2000): Comparison of the characteristic leaching behaviour of cements using standard (EN 196-1) cement mortar and an assessment of their long-term environmental behaviour in construction products during service-life and recycling. *Cement and Concrete Research*, 30-7, 1079-1096.

Vedlegg 1

Planar for etablering av testfeltet

Vedlegg 1 - Planar for etablering av testfeltet

Sprøytebetong prøvelfelt i Oslofjordtunnelen

Referat fra møte for planlegging av arbeidene

Sted : Vegdirektoratet

Tid : Tirsdag 23. februar 2010 kl. 1330

Tilstede : Jan-Erik Hetlebakke, Tore Thorsheim, Hans, Entreprenørservice AS

Elin Morgan, NGI

Reidar Kompen, Vegdirektoratet, TMT-avd., Tunnel- og betong seksjonen

Arbeidene anslås å kunne utføres i løpet av tre netter umiddelbart etter hverandre.

Prøvefeltet anslås 9-10 m bredt, ca. 4-5 m høyt på en tunnelvegg rett innenfor V/F-sikringen for trafikkunnelen. Tre betongresepter, 3 x ca. 2,5-3 m brede, 4-5 m høye prøvelfelter ved siden av hverandre, tykkelse ca. 5 cm på øverste halvpart, ca. 10 cm på nederste halvpart.

Natt 1 : Rigge opp stillas, begynne vannmeisling. Anslår 40 – 50 m², ca. 2,5 m³ gammel sprøytebetong.

Natt 2 : Gjenstående vannmeisling, scanne bart rengjort berg

Natt 3 : Sprøyte, scanne betongoverflate, rive stillas og rigge ned

Arbeidet starter med å legge presenninger over grøft på den siden prøvelfeltet er. Evt grøften på motsatt side også. Formål : redusere forurensning av miljøet i grøftene pga vannmeisling og betongsprøyting mest mulig. Når første presenning er lagt, kan reising av stillas starte. Flere presenninger kan legges samtidig med at stillas bygges. E-service tar med tilstrekkelig med presenninger.

Stillasmontør har sett plassen, Jan-Erik sjekker at de vet at det er skrått der stillaset skal stå og at de har med utstyr for å kunne fundamentere stillaset slik det er på stedet. Stillaset kan stå med ca 1,5 m avstand fra bergveggen. Stillasbredde ca 2 m. Stillaset bestilles med knekter på framsiden, slik at scannerens fot kan settes nærmere berget.

E-service tar med bormaskin og min 6 stk syrefaste ekspansjonsbolter som kan settes i berget som fastpunkter etter at vannmeislingen er utført. Bolteplater settes på bolteplatene. Elin må være tilstede og anwise hvor boltene kan stå. For Elins del holder det med 3 bolter, men Vegdir ønsker flere bolter i tilfelle noen skulle gå tapt i løpet av årene.

Vannmeisler kommer fra ferie mandag 1. mars, lander på Gardermoen kl. 1700. Hvis vi er heldige kan man bli ferdig med vannmeislingen i løpet av første natten. I så fall kan 2. natt starte med scanning av rengjort berg, og betongsprøyting kan utføres umiddelbar etterpå. Elin gjør oppmerksom på at ved rennende vann får man refleks og ”hull” i scanningen. Elin må varsles om status av arbeidene på dagen mellom første og 2. natt.

Innmåling av bolter kan gjøres når som helst seinere, Elin er ikke avhengig av slik innmåling.

Sprøyting.

Det benyttes tre ulike resepter. For hver resept ett lass a 2 m³.

Første lass: M45 med PP-fiber, Std-FA sement, 4 % silika

Andre lass : M45 med stålfiber, Std-FA-sement, 4 % silika

Tredje lass : M40 med stålfiber, Std-FA sement, 10 % silika

Første lass med PP-fiber for å unngå forurensning med stålfiber.

Første og andre lass er egentlig samme resept, det er kun fiberen som er forskjellen. Pga tynn slange og håndsprøyting presser vi ikke opp fiberdoseringen til noe som kan gi problemer.

3 kg/m³ PP-fiber og 20 kg/m³ stålfiber. E-service har liggende 18 mm EE-fiber, tar med dette (til sammen 80 kg) og tilsetter på bil, 40 kg pr 2 m³ lass. Tar også med Barchip plastfiber, 6 kg. (Hmmm, trengs det reservefiber, hvis noe lass må kasseres ???)

Det benyttes skruepumpe, alkalifri akselerator.

E-service bestiller betong og tar fakturaen i første omgang (Inngår i fakturaen til Vegdir.)

Benytter ”Standard sprøytebetongresepter”. Ingen blanderier har nattåpent for tiden. Unicon Vinterbro har Std-FA på silo, Jan-Erik kontakter Heimdal for å få levert derfra. Bestiller kun en betongbil som tar alle tre lassene. Første lass bestilles til kl 23-24. Jan-Erik: Be om å få dataene for faktisk innveide mengder for hver av reseptene. Betongtrommelen MÅ tømmes godt før neste lass. Dette er viktig dokumentasjon for ettertiden.

E-service tar med tre Ø600 mm plater, sprøyter en plate pr resept. Om det skulle sprøytes flere plater trengs det en mann til, og det kan spøke for at man ikke rekker alt på en natt. Platesprøyting og prøvebehandling er tidkrevende. SVV sørger for former for å kunne støpe prøvestykker.

Scanning etter sprøyting kan også gjøres etter at stillaset er rigget ned og fjernet. Det er ikke kritisk å få med denne operasjonen siste natt.

Reidar har sendt e-post til Freddy Ilbråten med spørsmål om å få stenge tunnelen de tre nettene 2-3, 3-4 og 4-5 mars for å kunne utføre arbeidene da. Stenging starter kl. 2200, tunnelen må være ryddet før kl. 0600. Reidar sjekker om det er svar på dette i morgen 24 februar og meddeler til E-service.

Telefonnummere :

Jan-Erik Hetlebakke 959 90 936

Thorsheim 977 13 590

Hans ... 901 44 417

Elin 996 22 202

Reidar 480 85 862

Prøvestykker

Tre eksponeringsforhold :

1. Referanse, oppå betongfundament
2. I svart bekk (grøft h.side nedover, fra spr.btg. veggfelt)
3. I brun bekk (grøft v. side nedover)

Prøvestykker for hver resept :	Referanse	Svart bekk	Brun bekk
A. Sprøytebetongplate Ø600x100 mm, 1 stk		x	
B. Støpt plate Ø600x100 mm, 1 stk		x	
C. Støpt plate ca.325x156x48 mm, 5 stk	x	2x	2x
D. Terninger 100x100x100 mm, 6 stk for måling av trykkfasthet og densitet etter 28 dg, 3 år og 10 år	6 x		

- A. E-service tar med former. Plata settes delvis neddykket i svart bekk. Nedbryting sammenlignes med sprøytebetong på vegg.
- B. Former fra Sentrallab. Plata settes delvis neddykket i svart bekk. Nedbryting sammenlignes med sprøytebetongplata A.
- C. Former lages av en 75x150 cm finerlem og 1x2” trelekter. Finerlemmen deles på tvers i fire biter på 37,5x75 cm. På hver bit skrur fast forskaling for fire prøvestykker med dimensjon ca. 156 x 325 x 48 mm. For de to første reseptene støpes 5 stk plater, for tredje resept støpes 6 stk plater. En av platene legges som referanse på betongfundamentet. De 4 andre platene settes delvis neddykket i bekkene, to i hver bekk. Disse skal tjene som ”observasjonsplater” for visuell inspeksjon av nedbrytning. Sammenlignes med prøveplate B (effekt av tykkelse) og prøvefelt på vegg. Prøveplatene kan også tas med til lab for utsaging/utboring av mindre prøver.
- D. Normerte fasthetsprøver, for måling av trykkfasthet og densitet etter 28 dg, 3 år og 10 år. Greit med en materialkvalites-referanse. Prøvestykkene lagres på betongfundamentet.

Dersom arbeidene tar tre netter, må prøveformer med utstøpt/utsprøytet betong ligge i tunnelen til neste gang vi kan komme inn, sannsynligvis først om en måned.

Vedlegg 2

Artikkel om etableringa av testfeltet

Vedlegg 2 - Artikkel om etableringa av testfeltet

6th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAYED CONCRETE – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support
– Tromsø, Norway, 12. – 15. September 2011

SPRAYED CONCRETE IN AGGRESSIVE SUBSEA ENVIRONMENT THE OSLOFJORD TEST SITE

Per Hagelia

Tunnel and Concrete Division – TMT – Norwegian Public Roads Administration, Norway

per.hagelia@vegvesen.no

Mn- and Fe-oxidising bacteria form biofilms on outer surfaces of steel fibre reinforced sprayed concrete used for rock support in some subsea tunnels. Chemical reactions within the biofilms result in acidification of saline water leakages. This leads to locally severe cement paste degradation, fibre corrosion and loss of cross section, with additional effects from chloride, magnesium, carbonation and thaumasite sulfate attack. In 2010 the Norwegian Public Roads Administration established a test site at a location where deteriorations related to outer Mn-Fe biofilms had caused significant damage to a 10 years old sprayed concrete. Firstly, a 2-4 cm layer of very friable outer concrete was removed using a strong water jet. The sprayed concrete further inside was mainly sound and could not be removed. Subsequently three sprayed concrete test mixes, including steel fibres and synthetic fibres, were sprayed manually on the tunnel wall. Laser scanning was undertaken before and after the spraying operation and a map showing thickness variation of the test concretes was produced. Additional cast concrete samples of the same three concrete mixes were made and exposed permanently in local ditch waters and air. Samples of all concretes will be investigated after 5 and 10 years of exposure, accompanied by yearly monitoring hopefully beyond 2020. This paper presents documentation of the initial concrete properties, local exposure conditions and accumulated monitoring data.

INTRODUCTION

A novel sprayed concrete deterioration process has been discovered in Norwegian subsea tunnels, resulting in disintegration of the calcium silicate hydrate (C-S-H) and destructive steel fibre corrosion (e.g. [1]). The process was restricted to presence of saline water leakages characterised by small volumetric flow rates. The composite reaction mechanism comprised 1) acidification and leaching caused by biomineralisation and redox reactions within layered Mn-Fe biofilms on outer concrete surfaces, carrying *Leptothrix* and *Gallionella* species; 2) infiltration of Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} and HCO_3^- enriched ground waters, leading to magnesium attack, thaumasite sulfate attack, decalcification and popcorn calcite deposition. Precipitation of brucite, Mg-calcite, aragonite and gypsum was common. Deposition of surface gypsum mush increased with age of exposure. Constant replenishment of Mn and Fe bearing saline waters facilitated continuous formation of layered biofilms and a sustained attack: Fe^{2+} derived from steel fibres contributed to the acid producing reactions [1, 2, 3].

The composite attack caused locally deep disintegration of the cement paste matrix after < 5 years, involving thinning of sprayed concrete layers due to surface material loss at rates varying from < 0.5-10 mm/year. Concrete underneath biofilms was usually friable and had sometimes lost its cementitious properties at depths reaching 1-2 cm. Cement paste transformation adjacent to the rock/concrete interface also caused some softening. The transition towards sound concrete in adjacent dryer domains was mainly quite sharp. The concrete mixes in question were mainly modern, representing "real world sprayed concrete". Hence, the NS-EN 206-1 Exposure Classes did not predict the extent and rate of the most severe degradations [4]. Deterioration phenomena are generally more common in subsea sprayed concrete than in other concretes. This is partly due the fact that, in contrast to static water loads, mobile mildly acidic water (pH = 5.5-6) usually has detrimental effects [5].

In previous work it seems generally assumed that experience from cement paste degradation in cast concrete can be directly applied to sprayed concrete (cf. [6]). However, in view of the special characteristics and context of sprayed concrete used for rock support in tunnels, and notably the experience from some Norwegian subsea-tunnels, it seems clear that this assumption is not always valid. This is mainly due to the especially complex interactions between concrete material and ground conditions in subterranean environments. Recent investigations has unveiled that the *effects of deteriorations and residual life time* of sprayed concrete is *critically dependent on site specific conditions*: a) rock mass variability, b) ambient hydraulic gradient, c) hydraulic conductivity and thickness of sprayed concrete, d) aggressiveness of water, e) the role of microbes and f) age of concrete [2,4].

The International Tunnelling Association (ITA) has requested durability data from long term exposure of sprayed concrete [7], stating that the evaluation of durability of sprayed concrete linings in underground works "turned out to be an extremely complex subject". Presently a state of the art report is missing. The ITA Working Group 12 focused much on strategies for future work and recommended the use of *four main durability aspects* pertaining to data collection and interpretation:

1. *Complete information about the exposure situation* (i.e. chemical- and mechanical loads based on ground water chemistry and rock mass characterisation, respectively).
2. *All necessary sprayed concrete material information to be able to quantify exposure resistance parameters* (documentation of the mixes used, spray thicknesses, presence of structural in-homogeneities etc.).
3. *Duration of exposures*, if necessary, split on the local set of processes (time elapsed since a defined diagnosed deterioration process has influenced the spray, involving mechanical loads and deformations, freeze/thaw cycles, vibrations, impacts and abrasive action, chemical attack from ground water and other liquids along with aggressive components in the atmosphere).
4. *Design basis and lifetime expectancy* compared to specifications and work execution (the balance between requirement and design, f. ex. permanent linings require more than preliminary).

In view of the present uncertainties regarding durability of sprayed concrete: involving complex site specific settings, combined degradation mechanisms and effects of biota, it would at this stage seem rather hasty to introduce any sort of performance test or modelling approach. Therefore, gathering of empirical evidence and scientific investigations of real world sprayed concrete for rock support in tunnels is required as a first and necessary approach.

Objectives of this paper

With the above mentioned status in mind, the Tunnel and Concrete Division at the Norwegian Public Roads Administration (NPRA) in 2010 decided to establish a long term test site in the Oslofjord subsea tunnel. This paper focuses on:

- General problems related to sprayed concrete degradation and associated sprayed concrete thickness reduction
- Background and establishment of the Oslofjord Test Site
- Documentation of test mixes
- Preliminary results
- Future plans and perspectives

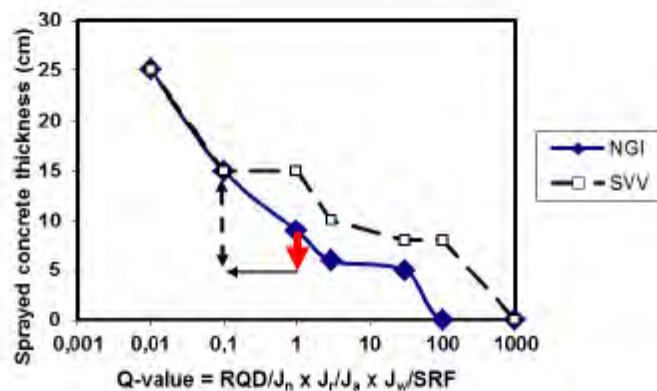


Figure 1: Sprayed concrete thickness as function of Q-value for tunnel spans = 10 m. NGI = thicknesses prescribed by the Q-system [10]. SVV = thicknesses specified by NPRA. Red arrow = observed sprayed concrete thickness reduction due to biofilms. Black arrow = effect of thin clay on Q-value (e.g. Joint alteration (J_s) = 8-12). Black stippled arrow = Possible difference between design criterion and the combined effect of concrete deterioration and active clay (see text).

SIGNIFICANCE OF SPRAYED CONCRETE THICKNESS AND EFFECTS OF DETERIORATION

The role of fibre reinforced sprayed concrete for rock support is to absorb energy exerted by the rock mass and otherwise protect the tunnel against loose rock blocks and rock fragments, which are not fixed by rock bolts. It is, therefore, important to make sure that the bearing capacity of the designed rock reinforcement is not significantly disturbed during the designed life time. Hence, a notable softening of the cement paste or loss of sprayed concrete thickness by partial cement paste destruction should be avoided. In a previous Norwegian durability project, "Proper use of sprayed concrete in tunnels" [8,9] it was established that relatively thin sprayed concrete layers (2-5 cm) tended to be vulnerable to carbonation, steel fibre corrosion and salt water attack. Therefore, from about 1997 to 2010 the minimum nominal thickness of

sprayed concrete specified by the Norwegian Public Roads Administration (NPRA) has been 6 cm. However, due to accumulated experience regarding potential durability problems and a desire to increase the life time of sprayed concrete from 50 towards 100 years, the minimum thickness is now specified as 8 cm (Figure 1).

Figure 1 illustrates a potential problem, which may have a direct bearing on the durability of the sprayed concrete lining. According to the Q-system, rock mass with thin continuous crack fillings of soft or swelling clay (< 5 mm, e.g. for example 0.1-0.2 mm) are classified with Joint Alteration Number (J_a) = 8-12. The magnitude of J_a depends on the percentage of clay-sized particles and access to water [10,11]. From real life tunneling the experience has been that a) there is a real risk that very thin clay filled cracks are overlooked, and b) the access to water changes with time: Tunnel sections in such rock mass may be rather dry just after excavation, whilst water enters after a while, hence activating the clay. If so, the Q-value may be over estimated by one order of magnitude. Combined with the locally observed thinning of concrete in subsea tunnels after < 5 years of exposure [1, 2, 3], it is evident that the real sprayed concrete thickness during most of its design life time may be much underestimated when such circumstances coincide (Figure 1).

For this reason it is very important to investigate variable thickness effects in different sprayed concrete mixes under aggressive subterranean water conditions. It was considered that the combined Mn-Fe bacterial and salt water attack represents a particularly important degradation mechanism, and that the test site should be located where this form of attack was proven to be very severe.

BACKGROUND AND ESTABLISHMENT OF THE OSLOFJORD TEST SITE

It was decided to establish the test site at a location in a tunnel branch away from the main road tunnel, behind the cast inner concrete lining. Here the hydraulic head is about 120 m with several saline water seeps on the outer concrete surface. The test site was located in the vicinity of an area which has been studied in detail [3]. The concrete age was 10 years in 2010, although the well-developed degradations at this site were discovered already in January 2004. The bedrock is predominantly granitic gneiss with some pegmatite. Active clay also occurs in the area, whilst its effect on the local sprayed concrete lining seems absent.

Documentation of the test site prior to new concrete

The 10 years old sprayed concrete at the test site showed evidence of significant outer material loss underneath biofilms. 5-20 cm long calcite stalactites also occurred at places. Several stalactites were covered by bacterial slime, being extremely friable due to effects of mildly acidic water. Figure 2 shows some aspects of the deterioration phenomena.

The mix used was based on a rapid Portland cement, innocuous aggregate, water /binder – ratios 0.41 and binder contents about 540 kg/m³. Silica fume (ca. 5 % of binder weight) and Al-sulfate accelerator was used. Steel fibre contents were specified to 45 kg/m³, whilst testing of such concrete elsewhere in the tunnel indicated 36-49 kg/m³. The mix represents Strength Class B40 to B45 and Durability Class M40 to M45, complying fairly well with the standard specification for sprayed concrete in Norway [12].

Water chemical analyses (cf. [4]) of several nearby water leakages showed that the Exposure Class was XC2, XS2 and XA3 according to NS-EN 206-1. At the test site location, pH of water seeps associated with biofilms was ranging from 5.8-6.5. This stands in contrast to pH \approx 7.5-8 for water leakages without notable interaction with biofilm; along cracks in sprayed concrete and from rock joints, as measured at a near by locality. Otherwise the air at the test site was very damp, which in part is due to direct connection between the tunnel branch and the water sump.



Figure 2: Example of sprayed concrete degradation at the Oslofjord Test Site before it was established. Calcite stalactites were covered by dark Mn-bacterial slime and rusty Fe-bacteria. Concrete underneath was friable. Width of field about 40 cm.

Outline of the test concept

The test site was designed such that several concrete mixes could be tested, including *a) real sprayed concrete for rock support as well as b) cast concrete samples of the same mixes for exposure in tunnel ditch water and tunnel air*. The main problems to be tested were:

- The influence of steel versus polypropylene fibre on chemical/biotic degradation
- The influence of variable sprayed concrete thickness

It was decided to use only three different mixes (Table 1). This was mainly due to the relatively small space and availability of leaking fissures. It was regarded significant to ensure that each individual test field of sprayed concrete was influenced by the same water load, and that each mix could be sprayed in two nominally different thicknesses. Similarly, moulded concrete samples for exposure in the tunnel environment should have available space, with a potential for further deployment of other mixes in future. *Two ditches* were available for exposure of moulded concrete samples in tunnel drain water, and a *concrete banquet* was used for exposure to damp tunnel air (also with a little dripping water).

Concrete parameters such as strength, etc. should be tested initially as well as at age 5 and 10 years. The site should be monitored at least once a year in order to get a handle on the potentially changing exposure conditions over time.

Establishment of the Oslofjord Test Site – spring 2010

The site was established in early March 2010. At first an about 6 m tall scaffold was built. The idea was to remove all previous steel fibre reinforced concrete. A strong water jet was used and it turned out that ca 2-(4) cm could easily be removed, whilst the concrete further inside was sound.

Laser scanning of the new surface was undertaken in order to establish the thickness variation later on. Sprayed concrete of the three mixes were then sprayed in three adjacent areas (Field 1, Field 2 and Field 3, sprayed in this sequence). It was not possible to reach the test site with robot equipment so the operation was done manually by an experienced nozzle man. *Thicknesses* of each field were intended to be about 5 cm in the upper half and about 10 cm in the lower half. The main reason was to avoid thin concrete in lower parts, which according to experience is vulnerable [8]. This could have led to an unwanted early termination date of the test site. However, laser scanning afterwards showed that the sprayed concretes turned out to be consistently thicker, ranging from about 5-15 cm in the upper parts and about 10-30 cm in the lower parts (Figure 3).

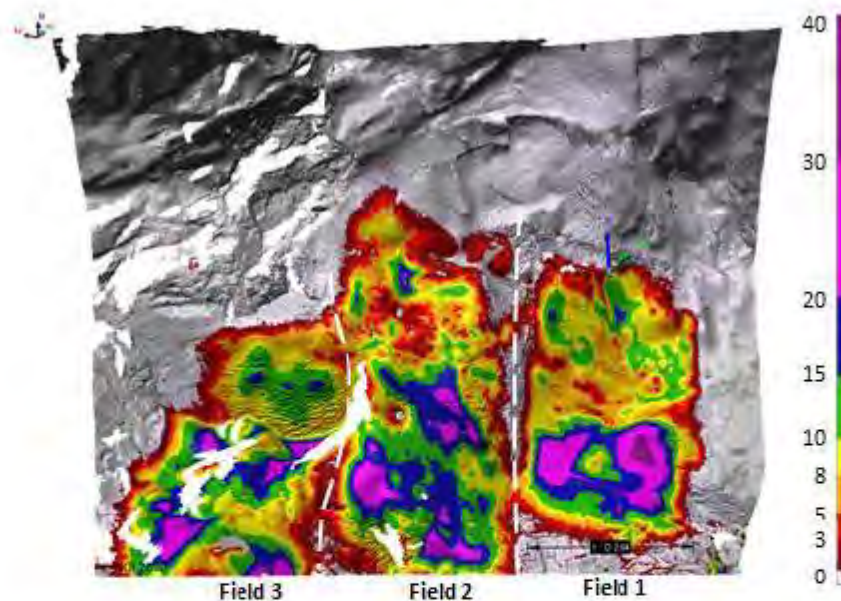


Figure 3: Results of laser scanning before and after new sprayed concrete [13]. The thickness scale is in cm. Notice thicker concrete in lower parts of each field. Field 1 (M45S) was sprayed with both steel fibre and polypropylene fibre, Field 2 (M45P) with polypropylene fibre, and Field 3 (M40S) with steel fibre (see text for details and problems encountered).

Due to the fact that bacterially assisted degradation was mainly located on outer concrete surfaces, the obtained thickness variation must be regarded as very satisfactory. This is just an advantage, because it gives more flexibility for further work, even beyond 2020.

Table 1: Sprayed concrete mixes used for sprayed concrete test fields and moulded samples.

Mixes	M45S/Field 1	M45P/Field 2	M40S/Field 3
Cement (kg)	Norcem Std FA 1014	Norcem Std FA 1014	Norcem Std FA 964
w/b	0.43	0.43	0.39
Silica fume (kg)	41	41	96
Sand (0-8 mm)	2961	2961	3018
Air entrain. (kg)	3.4	3.4	2.8
SP (kg)	9.1	9.0	12
PP-fibre (kg)	6	6	
Steel fibre (kg)	40	-	40

Summary of the samples and initial concrete quality

Several types of samples were prepared on site from the mixes given in Table 1 at the same time as the spraying operations took place. The interest for PP-fibres is above all motivated by the fact that NPRA recently has abandoned steel fibres in subsea sprayed concrete (cf. [14]). The samples were:

- 3 panels, one of each mix, cast in circular 10 cm thick moulds with diameter 60 cm (a total of three panels for exposure in Ditch A and testing of energy absorption after 5 or 10 years).
- 3 sets of 10 x 10 x 10 cm cubes from each mix, moulded in steel moulds (for reference and exposure to damp air).
- 3 big samples moulded in ca 40 x 30 x 20 cm sized plastic trays (for reference cylinders (75 mm) and further coring after exposure in Ditch A after 5 and 10 years).
- 3 sets of "A4 format" plate-shaped samples about 4 cm thick. Each mix was represented by a total of 16 plates (for exposure in Ditch A, Ditch B and damp air)
- 1 panel of mix M40S sprayed in a circular 10 cm thick mould with diameter 60 cm (for exposure in Ditch A and testing of energy absorption after 5 or 10 years).

In addition two cylinders were extracted from each Field of sprayed concrete. Initial concrete properties of selected samples were measured in the laboratory (Table 2). It should be noted that we choose to rely on measurements at ages around 90 days, because these presumably are more representative of the state of cement hydration in a long term perspective than ordinary 28 days results.

All samples were deployed in their respective settings i May 2010.

Table 2: Initial properties of test concretes. * = Cylinders ($\Phi = 75$ mm) were recalculated to cube strength. All measurements are average of two parallel samples. See text for details.

	Mix	Cube strength (MPa)	Density (kg/l)	Steel fibres (kg/m ³)	PP-fibres (kg/m ³)	Age (days)
* Field 1 sprayed	M45S	55.0	2.200	22.4	2.1	94
* Field 2 sprayed	M45P	51.0	2.210	1.0	1.6	94
* Field 3 sprayed	M40S	58.2	2.205	18.6	0.2	94
* Moulded	M45S	45.3	2.115	26.0	1.5	94
* Moulded	M45P	66.6	2.185	0.8	2.9	94
* Moulded	M40S	80.1	2.265	18.8	1.6	94
Cubes nr 1	M45S	47.5	2.125	24.8	2.1	88
Cubes nr 4	M45P?	57.0	2.180	9.8	1.7	87
Cubes nr 7	M40S?	65.0	2.240	1.1	2.5	87

Two “accidents”

There was a misunderstanding while preparing the first batch for spraying. The idea was to use only PP-fibres in Field 1, and the batch was ready for that until steel fibres also were accidentally added. Hence, Field 1 (M45S) contains both steel fibres and PP- fibres. Then Field 2 was sprayed with PP-fibres instead. Field 2 (M45P) also contains a smaller amount of steel fibres, which were still sitting in the hoses, reflecting the small batches of spray. Also Field 3 (M40S) contains a little PP-fibre for the same reason. This is reflected in all the other samples as well. It is, however, expected that this unforeseen change in fibre dosage will not have a great impact on the experiment as such. Yet, in order to compensate it seems necessary to undertake a very careful monitoring of each field.

Work was on a very tight time scheme and access to the tunnel was quickly running out. Spraying operations had the priority and the prepared samples were therefore left in the tunnel for one month, when they were demoulded. It was realised that the *steel moulds for the test cubes were very extensively corroded*, at places with very thick rust deposits. Most sample numbers were lost. For this reason it took a long time sorting out the identities, by comparison with the properties of sprayed concrete and concrete moulded in big plastic trays. As can be seen in Table 2, the cubes (nr 7) thought to represent M40S in fact contain too little steel and likely represents M45P instead. Similarly nr 4 does not appear to represent M45P. However, extensive separation of fibres can not be ruled out.

As yet we feel there is too much uncertainty related to the identity of many of the test cubes. Final identification can best be done after compressive testing and fibre counting. Hence, the exposed cubes should preferably be tested at the same time, for example at age 5 years. The important lesson was still that the *ambient damp air is very corrosive*, representing a very important observation, for the present test site as well as for durability of steel in general.



Figure 4: Biofilms invaded the test site after only few days.



Figure 5: Ditch A showing panels and smaller plate-shaped samples exposed to running water with extensive iron bacterial accumulation. Placed upright in order to investigate possible different effects of water and damp tunnel air.



Figure 6: Ditch B showing plate-shaped samples exposed to iron and manganese enriched stagnant water.



Figure 7: Ditch A with samples cast in plastic moulds. Later on the water level became higher. Cores were first extracted for reference.



Figure 8: Cubes and plate-shaped samples exposed to damp air.

Water and water chemistry

Ditch A represents tunnel drain water from a larger part of the tunnel. The test site is therefore fed by a steady source of representative water through a pipe, which ends at the test site. Here large red rusty iron-bacterial slimes are accumulating. The water is running through several ponds which were suitable as exposure sites.

Ditch B is more stagnant and partly represents water derived locally from the seeps running over Fields 1-3. Before the spraying operation the water here was rather dark, indicating manganese enrichment. After the spraying operation the upper part of Ditch B, just in front of the sprayed test fields (Fields 1-3), was cleared from debris and re-established in autumn 2010. Presently the water has a rather rusty colour, but it appears to have become somewhat darker during 2011.

The pH was measured on Field 1 and Field 2 several times. The pHs associated with biofilms in Field 1 were 6.8 in April 2010 and had dropped to 6.2 in April 2011. Similarly a leakage in Field 2 had pH = 7 dropping to pH 5.8-6.0 in 2011. Water after drilling through Field 3 in April 2011 had pH = 7.0 It should be emphasised that pH measured in situ, related to concrete surface biofilms, represent a different context than the ditch waters reported in Table 3. Water samples for chemical analysis were collected in March 2010, just after the spraying operations, and in April 2011

In general the data show that "seawater ions" (Na, Cl, Mg and sulfate) has increased since the establishment of the test site. Alkalinity (bicarbonate) had increased much in Ditch B. Also pH increased slightly in the ditch waters. The very high Ca at 791 mg/L downstream from Fields 1-3 (Ditch B) most likely reflects a contribution from decaying concrete. There is also a very notable increase in Fe and Mn from 2010 to 2011.

Table 3: Water analyses of ditch waters. March 2010 represent waters collected just after the sprayed concrete test fields were established. Concentrations in mg/L: < = detection limits. Conductivity in mS/m and alkalinity in mmol/L.

Sample date	2010-March		2011-April		
	Ditch A	Ditch B	Ditch A From pipe	Ditch A Downstream	Ditch B
Sample nr.	Oslof-1-2011	Oslof-2-2011	OT-1-2011	OT-1b-2011	OT-2-2011
pH	6.53	7.44	7.65	7.41	7.58
Conductivity	4660	4710	4529	4529	4433
Alkalinity	2.592	1.402	2.451	2.239	2.520
HCO ₃ ⁻	158	86	150	137	154
NH ₄ ⁺	1.810	1.470	1.260	0.096	0.179
NO ₃ ⁻	< 0.020	< 0.020	<0.100	1.310	1.200
TOC	0.69	0.87	0.92	1.3	28
P	< 0.05	< 0.05	0.059	0.12	0.33
K	310	336	350	350	300
Na	9720	9740	10300	10300	9940
Cl ⁻	17800	17800	18600	18700	18200
SO ₄ ²⁻	2480	2480	2560	2550	2500
Ca	448	412	421	422	791
Mg	1140	1180	1160	1170	1200
Mn	1.62	1.31	1.27	1.72	28
Fe	0.420	0.023	1.53	27.5	238
Al	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.350	11.100
As	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.037	0.063

It may be noticed that As in the near stagnant Ditch B had increased from less than 0.03 mg/L to 0.063 mg/L one year later. Significance of toxic metals will be dealt with elsewhere.

The chemical composition of these waters classify as XC2, XS2/XS3, XA3. Yet due to the bacterial action here the environment is more aggressive than implied by NS-EN 206-1. The present author has suggested that future revision of the standard should classify subsea tunnel concrete in the national XSA (Especially aggressive), which is the category used for construction in Alum Shale and other unusually aggressive environments [4].

Observed development and actions during first year (2010-2011)

Up to now the following observations have been made

- Accumulation of Mn and Fe biofilm material on tunnel facing outer surfaces started soon after establishment of the sprayed concrete in Field 1 and Field 2. This was related to water seeps crosscutting these sprayed concretes.
- In Field 3 (M40S) no water leakage penetrated the sprayed concrete, whilst a white deposit of brucite and calcite (by XRD) had accumulated already at age 1 month in a small area. In March 2011 the NPRA drilled holes into these saline deposits, and water seeps then reached the surface.

Trykkfeil i artikkelen: Riktige prøvenummer - mars 2010 er «Oslof-1-2010» og «Oslofj-2-2010»

- Ditch A with extensive water flow from the pipe, remained more or less the same. Yet it appeared that Fe bacteria continue to accumulate. Moreover, by April 2011 the water level had risen by at least 15 cm.
- Ditch B, was characterised by rusty and dark colour, indicating it tends to re-establish the initial characteristics. Also the water level here was somewhat higher than initially.
- Reference concrete cubes and plate-shaped samples at the platform were still exposed to the same environment, being very damp saline air with few saline water drips.

OUTLINE OF FUTURE PLANS

Before 2015

For a while, we intend to leave the test site as it is just describing the developments. This involves characterisation of water, bacterial load and identification of minerals and biota. The site should be visited 2-3 times every year.

Already in 2011 we hope to establish a system for analysing the damp and corrosive air. Moreover, although the most spectacular microbial species have been identified at some level [3], the microbial population and their ecology is very likely a lot more complex. This might have a direct bearing on the chemical cycles involved. Pilot investigations will, therefore, be conducted together with the CEES and MERG research groups at the University of Oslo, regarding pertinent characterization of the micro-organisms and their impact on the chemical cycles. CEES is a Norwegian Centre of Excellence, which together with MERG have a renowned competence in microbial ecology.

In 2015 and 2020

The work at age 5 and 10 years will involve the same main procedures:

- Detect overall sprayed concrete thickness changes, by observations and with the aid of laser scanning.
- Mechanical properties of exposed test samples as well as sprayed concrete cores from Fields 1 to 3.
- Water chemical analysis.
- Characterisation of any time dependent changes for example the possibility of formation of outer gypsum crust material, which has been detected in some older subsea tunnels [1-4].

Finally, it should be noted that observed developments over the years may lead to additional analytical work, which may not be defined in advance. Durability studies should always attempt to investigate unforeseen phenomena, whilst strictly defined investigation schemes may risk omitting some important issues.

CONCLUDING REMARKS

The Oslofjord Test Site is located in an aggressive subsea environment, which has a proven record of fast sprayed concrete degradation. The site is therefore ideal for testing out alternative concrete mixes within a durability and lifetime perspective.

Observations indicate that the test site is characterised by somewhat changing exposure conditions. Water level and chemistry at the test sites show variations in composition, even within few months. Also accumulation of bacteria is taking place. For this reason systematic monitoring is important. Presently there is a focus on further characterisation of the ambient environment such as air and biota. Testing of concrete properties will be done at age 5 years and 10 year.

Acknowledgements

The establishment of the Oslofjord Test Site was financed by the project "Modern Road Tunnels" at the Norwegian Public Roads Administration (NPRA). The author is indebted to Reidar Kompen (NPRA) for advice and a lot of help. This involved design of the test site, choice of concrete mixes and sample types. Jan-Erik Hetlebakke, E-Service, provided the concrete mixes and headed the spraying operations. Elin Katrine Morgan, Norwegian Geotechnical Institute performed the laser scanning. Otherwise, the test site benefited from on-going projects at E-service and NGI. Technical assistance from Per Sydsæther, Knut Kjuul, Øystein Lahaug, Bente McGonnel, Ferhat Tasmin Kahn (NPRA) and Ivar Dahl (NIVA) is gratefully acknowledged.

References

1. Hagelia P (2007): Sprayed concrete deterioration influenced by saline ground water and Mn-Fe biomineralisation in subsea tunnels. In: B., Jamtveit (Ed.), Mechanical Effects on Reactive Systems, the 20th Kongsberg Seminar, Physics of Geological Processes (PGP) – University of Oslo, 2007, pp. 26 (abstract/invited talk).
2. Hagelia P (2008): Deterioration mechanisms and durability of sprayed concrete in Norwegian tunnels. In: K., Berg, C., Hauck, R., Kompen (Eds.), 5th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support. Lillehammer, 2008, pp. 180-197.
3. Hagelia P (2010): Sprayed concrete deterioration due to layered Mn-Fe biofilms and saline ground waters in subsea tunnels. Cement and Concrete Research (in revision).
4. Hagelia P (2008): Does the EN 206-1 Exposure Classification Apply to Tunnel Concrete? Nordic Exposure Sites – Input to revision of EN 206-1, Workshop Proceedings from a Nordic Miniseminar, Hirtshals 2008, pp. 241-263.
5. Building Research Establishment (2003): Concrete in aggressive ground", Parts 1-4, BRE Special Digest 1.
6. Bernard ES (2008): Current deficiencies in the design of fibre reinforced shotcrete linings in hard rock. In: K Berg, C Hauck, R Kompen (Eds.), 5th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support. Lillehammer, pp. 36-47.
7. Franzén T, Garshol KF and Tomisawa N (2001): ITA/AITES Accredited Material. Sprayed concrete for final linings: ITA working group report. Tunnelling and Underground Space Technology 16, p 295-309.

8. Davik KI (1997): Proper use of sprayed concrete in tunnels, Parts A, B, C, D, E and Final report (in Norwegian). Norwegian Public Roads Administration 1997.
9. Davik KI (1998): Proper use of sprayed concrete in tunnels. Nordic Road and Transport Research 1998-1, 16-17.
10. Barton N and Grimstad E (2004): The Q-system following thirty years of development and application in tunnelling projects. Rock Engineering – Theory and Practice, Proceedings of ISRM Regional Symposium EUROCK 2004, Salzburg, Austria, pp. 15-18.
11. Barton N, Lien, R. & Lunde, J., (1974): Engineering classification for rock masses and for the design of tunnel support. *Rock Mechanics* 6, pp. 189-236.
12. Norwegian Concrete Association (2003): Sprayed Concrete for rock reinforcement, NB Publication 7, 78 pp. (In Norwegian).
13. Morgan EK (2010): Resultatformidling og dokumentasjon fra LIDAR skanning av testfelt i Oslofjordtunnelen. NGI-report 20100183-01-3-TN, 12p.
14. Kompen R (2008): How the use of fibres has developed in Norway. In: K Berg, C Hauck, R Kompen (Eds.), 5th International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support. Lillehammer, pp. 245-249.

Vedlegg 3

Betongreseptar

Vedlegg 3 – Betongreseptar

Unicon AS



Blanderapport

v. 1.13

Side 1 d. 19-03-2010 kl. 13:37:35

Nummer.: 2010030420092 Vinterbro

Bestillingsnr.: 585991 Receipt: 55130A

Kundennummer: 100015

Kunde: Entreprenørservice AS, Rud

Postboks 4
Rudsletta 24
1351 RUD

Ønsket konsistens ...: 220

Blandemester: otto

Blander: Vinterbro

Bilnr.: 638

Adresse: Oslofjordtunnelen
Ca Midt i mål Sone

Fabrikk: Vinterbro

Produoeret (m3) ..: 2,00

Følgrebrev: 1106592

Blandedato: 04-03-2010

Blandetidspunkt ..: 23:35:29

Sammensætning	Materialenavn	Fugt %	Densitet kg/m ³	Tilsat (bør)	Blandet kg	1 m ³ (bør)	V.O.T. er
Pumpeforbedrer	toc 735 n	75,0	900	10	10	5,0	5,0
Lang plastfiber, Mak	Plastiber Barchip Shogun		910	6,0	6,0	3,0	3,0
Sement	Norcem Std FA CEM II/A-V 42,5R		2.950	1.012	1.006	506	503
Silika	Silikastøv k=2		2.200	42	41	21	21
Sand	0-8 Storsand	3,9	2.640	2.978	2.964	1.434	1.428
SP-stoff	Glenium SKY 552	81,0	1.050	9,1	9,0	4,6	4,5
Luftinnførende stoff	Micro air 100 (1:19) BASF	99,3	1.000	3,5	3,4	1,73	1,70
Vand	Kaldt vann		1.000	144	150	72	75
Vand	Kaldt vann		1.000	2,0	2,0	1,00	1,00
Vand	Varmt vann		1.000	184	185	92	93
	Total: Fugt i materiale		1.000	0,00	0,00	58	58
			Total kg	4.391	4.376	2.196	2.190
			Volumen (liter)	1.999	1.998	1.000	1.000

	Bør-verdi	Målt / bereg.
Total vand	230,1	233,4 l/m ³
Ækvivalent cement	548,2	544,5 kg/m ³
Ækv. V/C-forhold	0,42	0,43
Konsistens	220	mm
Wattmeter	28,0	31,0
Blandetid	60,00	118,00 s
Rumvægt	2.196	2.190 kg/m ³
Luftindhold i % af betan	4,0	%
Luftindhold i % af kitmasse	8,8	8,7 %

Kornkurve, gjennomfald i %

Sigte, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Vægt % (Bør)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100
Vægt % (Er)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100

Blanderapport

v. 1.13

Side 1 d. 19-03-2010 kl. 13:37:35

Nummer...: 2010030520001 Vinterbro

Bestillingsnr.: 585997 Receipt: 55130A

Kundennummer: 100015

Kunde: Entreprenørservice AS, Rud

Postboks 4
Rudsletta 24
1351 RUD

Ønsket konsistens ...: 220

Blandemester: otto

Blander: Vinterbro

Bilnr.: 638

Adresse: Oslofjordtunnelen
Ca Midt i mål Sone

Fabrikk: Vinterbro

Produoeret (m3) : 2,00

Følgebrev: 1106593

Blandedato: 05-03-2010

Blandetidspunkt : 01:14:01

Sammensætning	Materialenavn	Fugt %	Densitet kg/m3	Tilsat (ber)	Blandet kg	1 m3 (ber)	V.O.T. er
Pumpeforbedrer	toc 735 n	75,0	900	10	10	5,0	5,0
Lang plastfiber, Mak	Plastiber Barchip Shogun		910	6,0	6,0	3,0	3,0
Sement	Norcem Std FA CEM II/A-V 42,5R		2.950	1.012	1.014	506	506
Silika	Silikastøv k=2		2.200	42	41	21	20
Sand	0-8 Storsand	3,9	2.640	2.978	2.961	1.434	1.423
SP-stoff	Glenium SKY 552	81,0	1.050	9,1	9,1	4,6	4,5
Luftinnførende stoff	Micro air 100 (1:19) BASF	99,3	1.000	3,5	3,4	1,73	1,68
Vand	Kaldt vann		1.000	113	119	57	59
Vand	Kaldt vann		1.000	2,0	1,00	1,00	0,50
Vand	Varmt vann		1.000	215	220	108	110
	Total: Fugt i materiale		1.000	0,00	0,00	56	55
	Total kg			4.391	4.384	2.196	2.189
	Volumen (liter)			1.999	2.003	1.000	1.000

	Ber-verdi	Målt / bereg.
Total vand	230,1	234,3 l/m3
Ækvivalent cement	548,2	547,2 kg/m3
Ækv. V/C-forhold	0,42	0,43
Konsistens	220	mm
Wattmeter	28,0	41,0
Blandetid	60,00	160,00 s
Rumvægt	2.196	2.189 kg/m3
Luftindhold i % af beton	4,0	%
Luftindhold i % af kitmasse	8,8	8,7 %

Kornkurve, gennemfald i %

Sigte, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Vægt % (Ber)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100
Vægt % (Er)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100

Blanderapport

v. 1.13

Side 1 d. 19-03-2010 kl. 13:37:35

Nummer.: 2010030520002 Vinterbro

Bestillingsnr.: 585997 Receipt: 57130C

Kundenummer: 100015

Kunde: Entreprenørservice AS, Rud

Postboks 4
Rudsletta 24
1351 RUD

Ønsket konsistens ...: 220

Blandemester: otto

Blander: Vinterbro

Bilnr.: 638

Adresse: Oslofjordtunnelen
Ca Midt i mål Sone

Fabrikk: Vinterbro

Producet (m3) ..: 2,00

Følgebrev: 1106594

Blandedato: 05-03-2010

Blandetidspunkt ..: 02:35:57

Sammensætning	Materialenavn	Fugt %	Densitet kg/m ³	Tilsat (bar)	Blandet kg	1 m ³ (bar)	V.O.T. er
Pumpeforbedrer	too 735 n	75,0	900	10	10	5,0	5,0
Sement	Norcem Std FA CEM II/A-V 42,5R		2.950	965	964	483	482
Silika	Silikastøv k=2		2.200	98	98	48	48
Sand	0-8 Storsand	3,9	2.640	3.028	3.018	1.458	1.451
SP-stoff	Glenium SKY 552	81,0	1.050	12	12	5,8	5,8
Luftinnførende stoff	Micro air 100 (1:19) BASF	99,3	1.000	2,9	2,8	1,45	1,40
Vand	Kaldt vann		1.000	78	82	38	41
Vand	Kaldt vann		1.000	2,0	0,00	1,00	0,00
Vand	Varmt vann		1.000	228	231	114	115
	Total: Fugt i materiale		1.000	0,00	0,00	57	57
	Total kg			4.420	4.415	2.210	2.208
	Volumen (liter)			1.999	2.002	1.000	1.000

	Bør-verdi	Målt / bereg.
Total vand	219,8	222,7 l/m ³
Ækvivalent cement	578,7	577,4 kg/m ³
Ækv. W/C-forhold	0,38	0,39
Konsistens	220	mm
Blandetid	60,00	144,00 s
Rumvægt	2.210	2.208 kg/m ³
Luftindhold i % af beton	4,0	%
Luftindhold i % af kitmasse	8,9	8,9 %

Kornkurve, gennemfald i %

Sigte, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Vægt % (Bør)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100
Vægt % (Er)	3	5	12	28	46	66	84	98	100	100	100	100

Per Hagelia

Fra: Kjellsen, Knut Ose (Brevik) NOR <knut.kjellsen@norcem.no>
Sendt: fredag 12. november 2021 13:36
Til: Per Hagelia
Kopi: Bård Magne Pedersen
Emne: RE: Spørsmål om kalkfyller i diverse sementar

Hei Per,
STD FÅ ble i 2010 produsert med ca 18% flygeaske, men ikke kalkmel. 4% kalkmel innførte vi noen år senere.
STD OG INU sementene ble omkring 1999 normalt produsert med opp til 8-5% kalkmel. Enkelte partier ble produsert uten kalkmel, men de aller fleste partiene ble produsert med noen få prosent kalkmel.
Håper dette besvarer ditt spørsmål.
Mvh
Knut

Knud O. Kjellsen

FoU sjef, dr.ing

Norcem AS
Setevagen 2, Boks 38
N-0991 Brevik
Tel 35 57 20 00
Direkte/Mobil 97 66 95 02
E-post knut.kjellsen@norcem.no
www.norcem.no

Information about how we process personal data may be found on our website

This e-mail may contain confidential and/or legally privileged information. If you are not the intended recipient (or have received this e-mail by error) please notify the sender immediately and delete this e-mail. Any unauthorized copying, disclosure or distribution of the material in this e-mail is strictly forbidden.

From: Per Hagelia <per.hagelia@vegvesen.no>
Sent: onsdag 10. november 2021 14:21
To: Kjellsen, Knut Ose (Brevik) NOR <knut.kjellsen@norcem.no>
Cc: Bård Magne Pedersen <baard.pedersen@vegvesen.no>
Subject: Spørsmål om kalkfyller i diverse sementar

External Email - Please use proper judgment and caution when opening attachments, clicking links, or responding. Report suspicious emails with SPAM/PHISH button.

Hei Knut,

Eg driver (på overtid!) og avsluttar rapport om Oslofjord testfelt i nr sprøytebetong. Vi har her sprøyta opp tre felt med litt ulike reseptar (to M45 m 5 % silika med stål og PP-fiber, og eitt felt M40 med stål og 20 % silika). Frå same reseptar (frå same batchar) er det også laga diverse andre prøver som vi har eksponert i grøftevann. Alle reseptar i testfeltet er basert på Norcem Standard FA og feltet ble etablert i 2010.

Ein del av rapporten vil gi ei samanlikning av analysedata frå sprøytebetongen i testfeltet med sprøytebetong brukt som bergstøring i Oslofjordtunnelen forøvrig (CEM I m. tilsatt ca. 5 % silika etc); Det blir i tillegg interne opplysningar

brukt ei blanding av industrisement (30 %) og standard sement (70 %) i den undermålske delen. Det meste av sprøytebetongen ble etablert i 1999.

Spørsmålet mitt dreier seg om følgende setning:

«Norcem Standard FA hadde 15 % flygeaske og 4 % kalkfyller, medan sementen brukt elles i tunnelen var uten kalkfyller.»

Er dette riktig uttrykt? Eller er det mulig det var kalkfyller i industrisement og standardsement?

Vi har ingen spesifikke indikasjoner på kalkfyller, men meiner det er viktig å sikre at ting blir riktig rapportert for at sammenlikninga blir best mulig.

(thausasitt- problematikken er ein liten del av denne sammenlikninga).

Hopar å få denne rapporten ferdig innan jul. Blir tilgjengeleg på nettet.

Med helsing

Per Hagelia

Statens vegvesen, Utbygging

Fagnissener Utbygging, Geofag Utbygging

Kontoradresse: Brynsangfaret 6A, Oslo

Mobil: +47 91 584701 epost: per.hagelia@vegvesen.no

www.vegvesen.no epost: firmasok@vegvesen.no

Vedlegg 4

Foto frå sprøyting og tillaging av prøver i tunnelen

Vedlegg 4 – Foto frå sprøyting og tillaging av prøver i tunnelen



V4.1. Sprøyting av Felt 1, Felt 2 og Felt 3. Testfeltet blei etablert ved handsprøyting fordi det ikkje var plass til sprøyterobot. Foto: Reidar Kompen.



V4.2. Avtrekking av plateprøve straks etter sprøyting i sirkulær plateform (Ø600 mm x 100 mm), utført i samsvar med krav i Norsk Betongforening – Publikasjon nr 7. Foto: Reidar Kompen.



V4.3. Ferdig plateprøve av sprøytebetong for langtidseksponering i grøftevatn og testing av energiabsorpsjon. Foto: Reidar Kompen.



V4.4. Det blei støyt ut testprøver av alle tre reseptar for eksponering i tunnelmiljøet: i) plate (Ø600 x 100 mm) for energiabsorpsjon (nærmast), ii) store prøver støypte i plastkar for utboring av sylindrar, iii) plateprøver (325 x 154 x 48 mm) støyt ut i treformer og iv) terningar (100 x 100 x 100 mm) støypte i stålformer. Foto: Reidar Kompen.

Vedlegg 5

Resultatformidling og dokumentasjon fra LiDAR skanning av testfelt i
Oslofjordtunnelen – Teknisk notat, NGI

Teknisk notat



Til: Statens vegvesen, Vegdirektoratet
v/: Per Hagelia
Kopi:
Fra: NGI
Dato: 20. august 2010
Dokumentnr.: 20100183-01-3-TN
Prosjekt: Betongbestandighet Oslofjordtunnelen
Utarbeidet av: Elin Katrine Morgan
Prosjektleder: Elin Katrine Morgan
Kontrollert av: Arnstein Aarset

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pilsenerøf
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

Resultatformidling og dokumentasjon fra LiDAR skanning av testfelt i Oslofjordtunnelen

Innhold

1	Innledning	2
2	Skanning av meislet berg	2
3	Etter påført sprøytebetong	5
3.1	Dataprosessering	5
3.2	Sprøytebetongtykkelse	7
	Vedlegg A:	10
	Metodebeskrivelse (Engelsk)	10
	A1 Methods used	11
	A2 Data Processing	12

1 Innledning

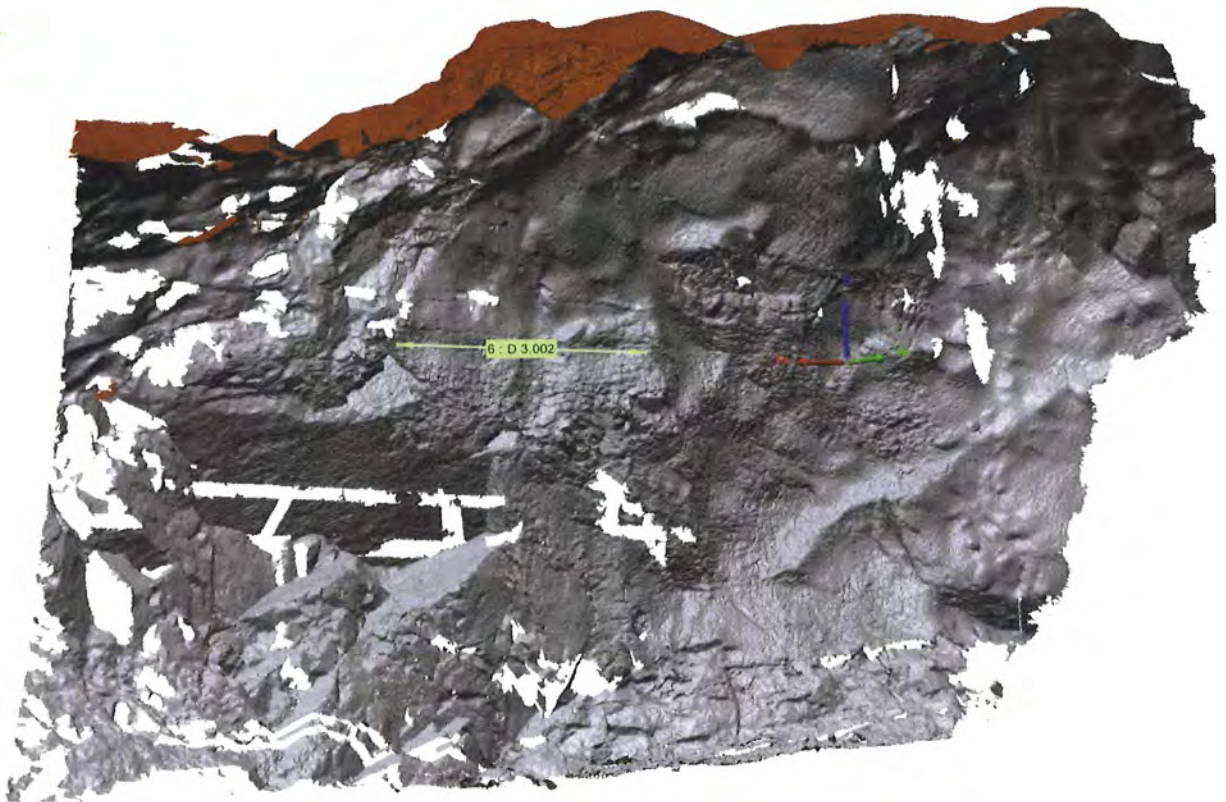
I henhold til oppdragsbekreftelse datert 15. mars 2010, ønsker Statens Vegvesen ved Vegdirektoratet bistand fra NGI til overvåking av et testfelt for betongbestandighet i omløpstunnelen til hovedløpet i Oslofjordtunnelen. NGI sin rolle er å hente inn måledata fra testfeltet ved bruk av LiDAR laserskanneteknologi. Testfeltet har blitt skannet ved to anledninger. Første gang 4. mars 2010 etter gjenoppretting av bart fjell på testlokaliteten, og første oppfølgingskann ble foretatt 1. juni 2010. Skanning ble utført av Elin Morgan hos NGI, databehandling ble utført av Elin Morgan og Matt Lato (NGI).

Dette dokumentet gir en fremstilling av måleresultatene fra utførte skanner. Metodebeskrivelsen er plassert i Vedlegg 1.

2 Skanning av meislet berg

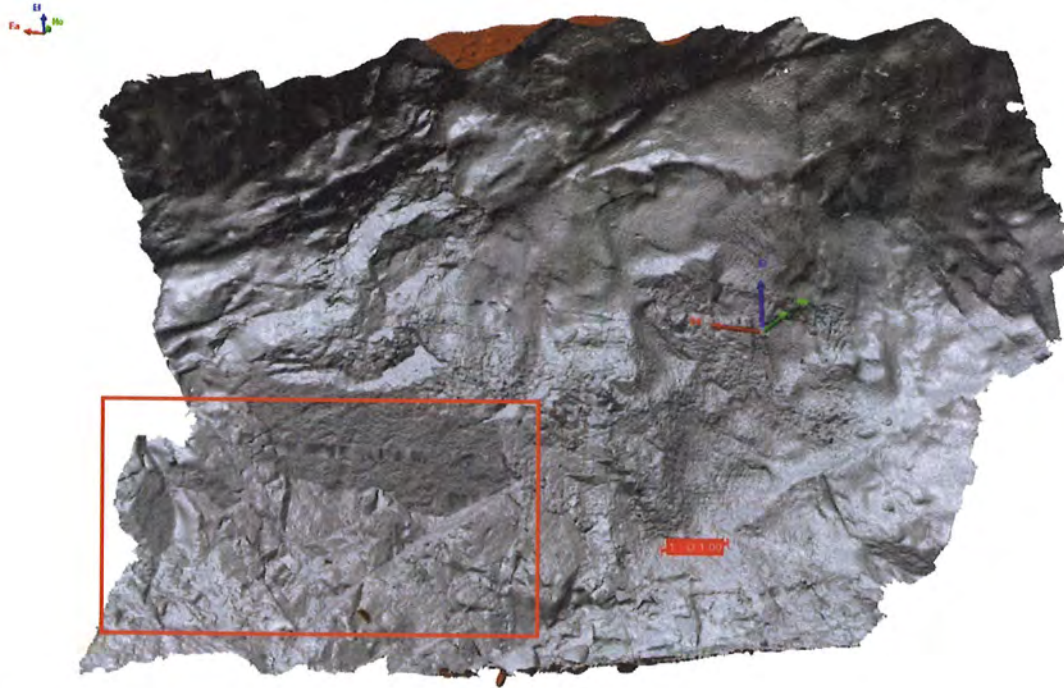
Før NGI skannet første gang ble eksisterende sprøytebetong forsøkt fjernet fra tunnelveggen i testfeltet med meisel og høytrykkspyling. Arealet på testfeltet er ca 100 m². Rester av eksisterende betong med spesielt god heft betegnes sammen med bart berg som utgangspunktet for første måling, heretter kalt 0-måling.

Følgende bilder er hentet fra programvaren PolyWorks ved bruk av IMInspect Modulen. Dessverre har det ikke vært mulig å fjerne stillaset i sin helhet fra dataene. Stillaset var montert tett inntil den høyre tunnelveggen (sett fra tilkomst fra hovedtunnelen). De hvite flekkene i dataene skyldes at laserstrålen er blokkert og dette medfører manglende data fra bergveggen bakenfor. Selv etter å ha satt sammen alle fire skanner fra 0-målingen har det ikke vært mulig å dempe denne effekten uten videre prosessering.



Figur 2.1. Høyre tunnelvegg sett fra innsiden (lengde er ca 10 m). Målestokk med lys grønn farge har lengde 3 meter. Aksesystemet (x, y, z) er markert med fargede piler, henholdsvis rød, grønn og blå.

Ved videre prosessering og manuell ifylling av hull i datasettet ser modellen slik ut:

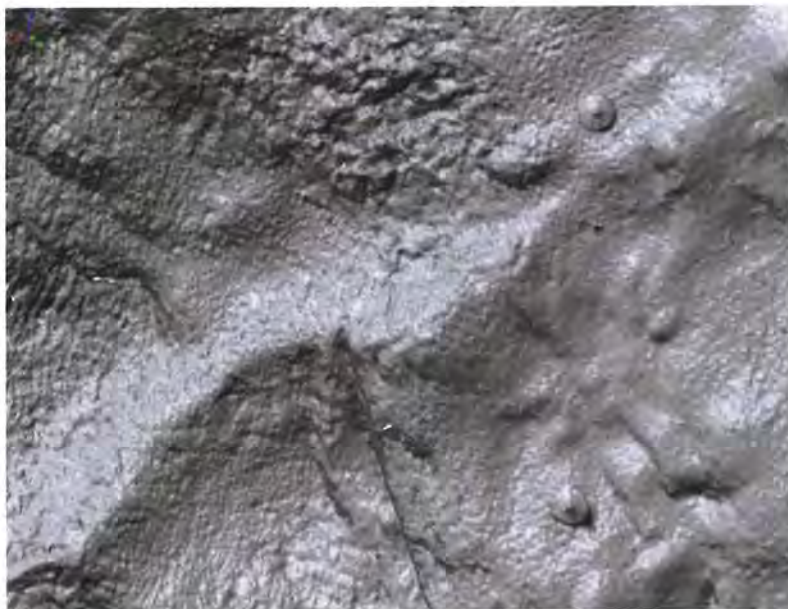


Figur 2.2: Manipulert modell med ifylling av hull med manglende data. Aksestystemet (x, y, z) er markert med fargede piler, henholdsvis rød, grønn, og blå. Rød rektangel angir utsnittsområde for figur 2.3.



Figur 2.3: Forstørret utsnitt av seksjonen av sideveggen til venstre i figur 2.2, sett fra utsiden (speilvendt i forholdt til utsnittet i figur 2.1). Sprekkeplan og bergets karakter kommer godt frem.

Punkttettheten i modellen etter at de fire skannene er satt sammen er inntil 5 punkter pr. mm². Dette er ekstremt høyt og gir (i tillegg til lengre prosesseringstid) en svært detaljert modell av den skannede overflaten. Se figur 2.4 for illustrasjon.



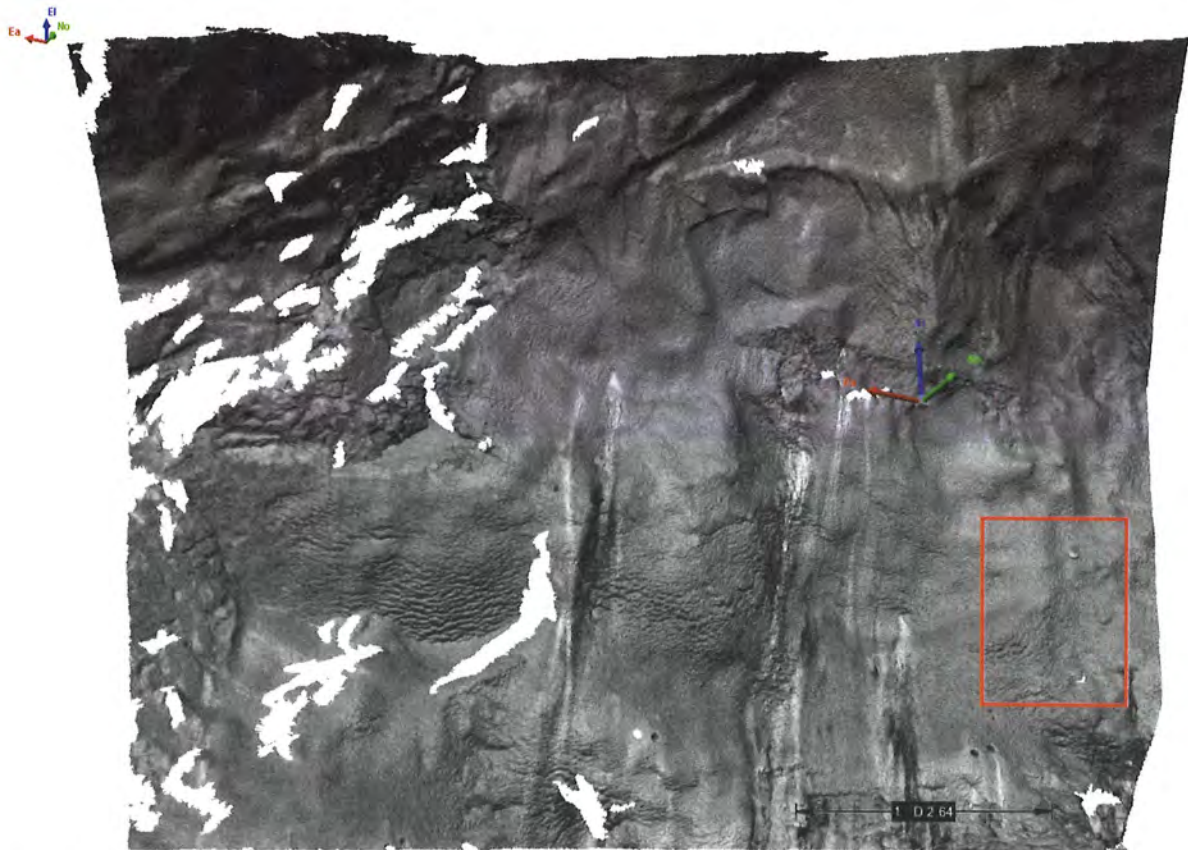
Figur 2.4. Forstørret utsnitt som illustrerer stor punkttetthet i et triangulert nettverk. Merk skiven på bolten i øvre høyre hjørne som skala. Se figur 3.1 for plassering av utsnittet.

3 Etter påført sprøytebetong

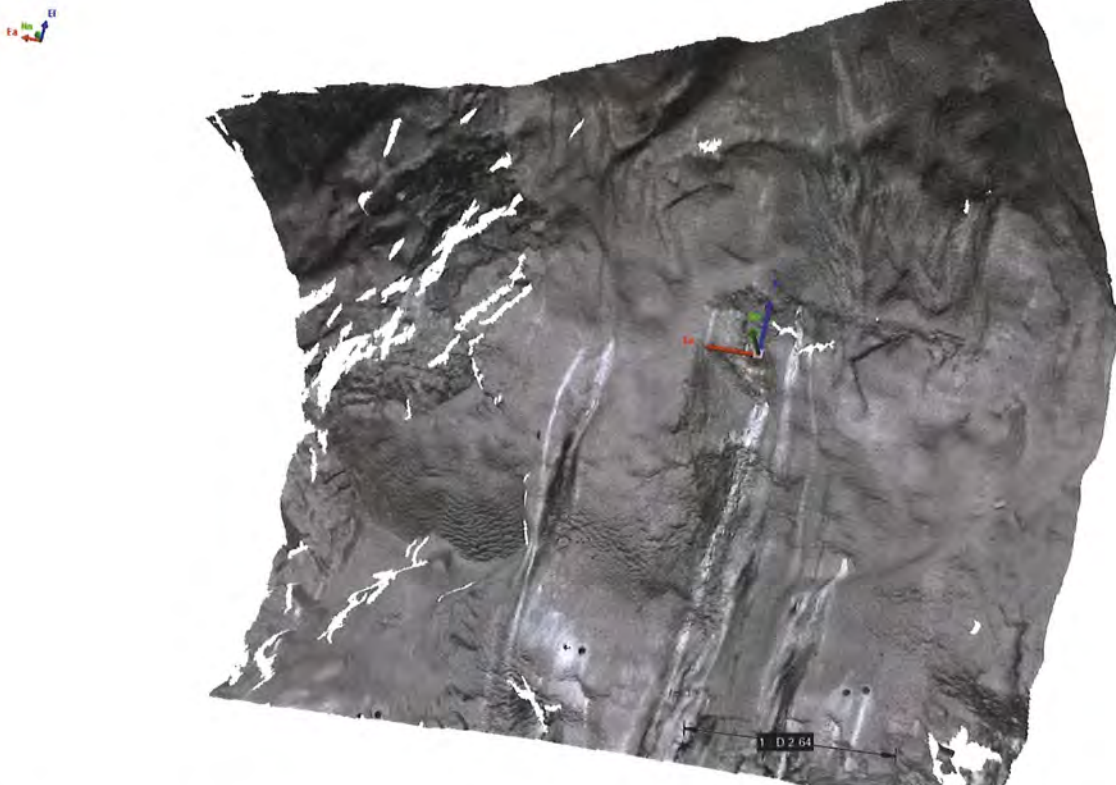
Lidardata som er hentet etter at tunnelveggen ble påført sprøytebetong er hentet med kun to oppstillinger av skanneren. Med fravær av stillaset ble dataene samlet med minimal forstyrrelse og skygger. Figur 3.1 og 3.2 viser sammensatte skanner.

3.1 Dataprosessering

Modellene før og etter påføring av ny sprøytebetong ble satt sammen, sammenlignet og vurdert. Datasettet etter påført sprøytebetong viser bakterievekst på betongoverflaten. Grunnet forskjeller i refleksiviteten mellom angrepne og urørte områder kan denne veksten tydelig sees i datasettet.



Figur 3.1. Perpendikulært utsnitt av tunnel veggen fra innsiden av modellen. Målestokk i sort har lengde 2,64 meter. Aksesystemet (x, y, z) er markert med fargede piler, henholdsvis rød, grønn, og blå. Rød rektangel angir utsnittsområde for figur 2.4.



Figur 3.2. Innside vegg sett fra høyre. Kjerneprøvehull vises som svarte sirkler i nederkant av modellen. Bakterievekst og utfelling gjennom betongen er godt synlige. Målestokk i sort har lengde 2,64 meter. Aksesystemet (x, y, z) er markert med fargede piler (rød, grønn, blå).

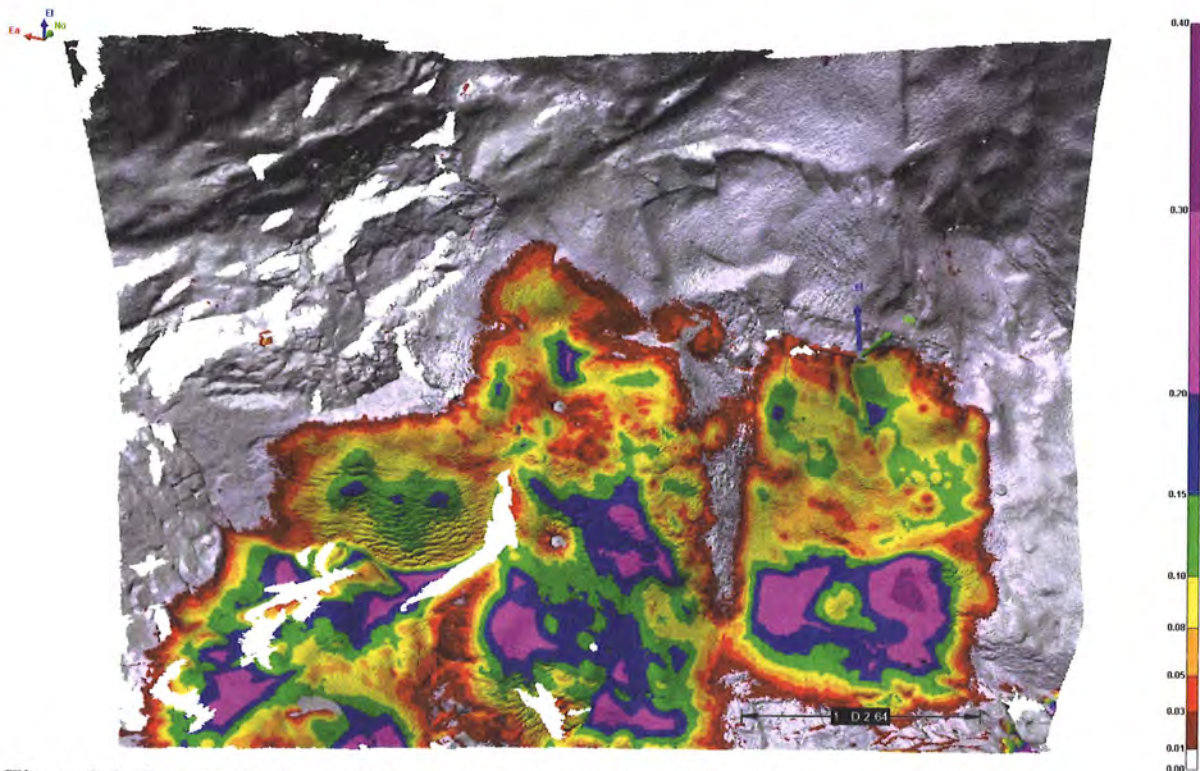
3.2 Sprøytebetongtykkelse

Figurer 3.3 og 3.4 viser tykkelse av påført sprøytebetong. Det er tydelig tre adskilte vertikale felter, mens den horisontale delingen av forsøksfeltet (delt etter påført betongtykkelse) ikke kommer like godt fram.

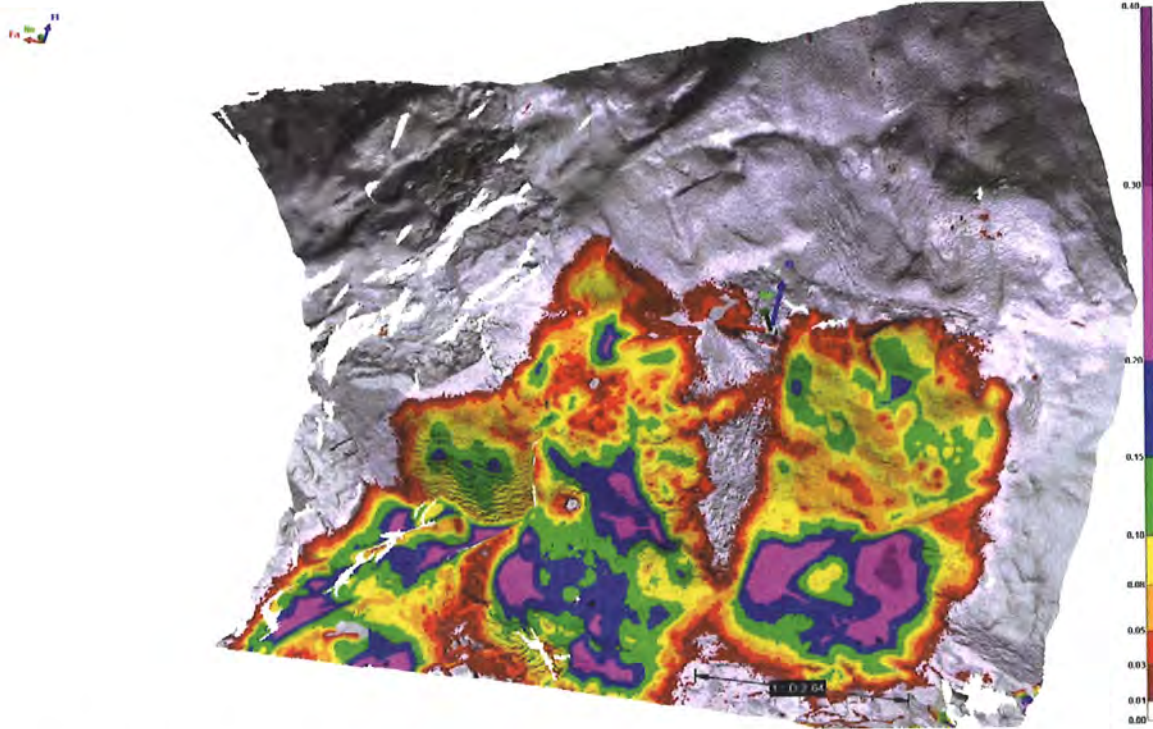
Fargeskalaen for visualisering av betongtykkelse er gitt i meter. Videre er intervallinndelingen gitt i tabell 3.1.

Tabell 3.1: oversikt over intervalldeling i tykkelseskart i figurer 3.1 og 3.2.

Fargevalg	Tykkelse (m)
Lilla	0,3 – 0,4
Rosa	0,2 – 0,3
Blå	0,15 – 0,2
Grønn	0,1 – 0,15
Gul	0,08 – 0,1
Orange	0,05 – 0,08
Rød	0,03 - 0,05
Burgunder	0,01 - 0,03
Grå	0 - 0,01



Figur 3.3. Perpendikulært utsnitt av tunnel veggen fra innsiden av modellen. Tykkelsesskalaen er gitt i meter, detaljer kan hentes fra tabell 3.1.



Figur 3.3. Innside vegg sett fra høyre. Tykkelsesskalaen er gitt i meter. Tykkelsesskalaen er gitt i meter, detaljer kan hentes fra tabell 3.1.

I hovedsak ser det ut til at nedre halvdel av feltet er påført et betydelig tykkere betonglag enn øvre halvdel, i tråd med feltinndelingen etter Vegdirektoratets ønske. Misfarging av betongoverflaten grunnet bakterievekst er ikke synlig på kart over tykkelsesvariasjoner. Det er uvisst om videre vekst av bakterier vil kunne overvåkes og dokumenteres på fremtidige målinger med hjelp av intervallmessige skanning.



Dokumentnr.: 20100183-01-3-TN
Dato: 2010-08-30
Side: 10

Vedlegg A:

Metodebeskrivelse (Engelsk)



AI Methods used

The entire PolyWorks suite of programs MUST be set to operate in Meters. If the proper units are not used, the user will be unsuccessful in creating a mesh, measuring properties, or advanced computational operations. This is done in the main PolyWorks space, known as the “Workspace Manager”. The Options tab is located under the “Tools” menu; the “Default Length Measurement” must be set to meters.

Data sets used are as follows:

Pre Shotcrete

- i) FARO_LS520_168.flr
- ii) FARO_LS520_169.flr
- iii) FARO_LS520_170.flr
- iv) FARO_LS520_171.flr

Post shotcrete

- v) FARO_LS520_186.flr
- vi) FARO_LS520_187.flr

The data were loaded one set at a time into IMAlign. The default values for “Focus Distance” were not used because the scanner had to be placed in a non-optimal location near one of the tunnel side walls. For this project the “Focus Distance” was set to 3.0 m. Once the focus distance was set, all the other values updated automatically and the data were imported.

The data sets were aligned using “N-Point Pairs”, and then further refined using “Best-Fit Alignment and Comparison”. The best fit alignment process used for this data was iterative to enable maximum computation efficiency. The first alignment was done at a distance of 0.2 m and a sub-sampling of 1/25. The sub-sampling was reduced to 1/1, and then the distance was lowered to 0.02 m.

The merged data were extremely messy and required a lot of point selection and deletion. Only sections of direct relevance to the project were included in the final merged dataset.

As well, due to the inclusion of data from four scans the point density is extremely high. To reduce the point density to a value that would enable computation and manipulation in PolyWorks the “Reduce Overlap” function in IMAlign was executed.

Parameters used in the modeling process are as follows:

- i) Maximum distance: 0.02 m
- ii) Max # of overlapping images: 10
- iii) Number of overlapping layers: 5

Upon completion of the alignment, the project was saved and a mesh was attempted using the “Create a polygonal model” function in PolyWorks.

The process of producing a satisfactory mesh involved numerous iterations due to the high data volume and the extremely dense point cloud. The values that worked to create the final mesh are:

- i) Smoothing level: none
- ii) Max distance: 0.01
- iii) Surface sampling step: 0.005
- iv) Standard deviation: 0.0042

A2 Data Processing

The data collected post shotcrete were aligned, filtered and meshed independently of the data collected pre-shotcreting. To ensure accurate modeling, the parameters used to mesh the pre-shotcrete lidar data were used to generate the mesh for the post shotcrete model. The values are as stated in the section above.

The pre and post shotcrete models were aligned, compared, and evaluated using the IMInspect module within PolyWorks. The two meshed models were aligned using the “n-points pairs” methods and then “best-fit” using the PolyWorks algorithm.

The post-shotcrete data clearly shows the bacterial growth and staining on the shotcrete surface. Due to the reflectivity difference between the unaffected and affected areas, the impact is visually identified in the lidar data. With the addition of temporal scans the advancement of the bacterial growth can be easily traced and documented.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Resultatformidling og dokumentasjon fra LiDAR skanning av testfelt i Oslofjordtunnelen				Dokument nr./Document No. 20100183-01-3-TN	
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution		Dato/Date 2010-08-30	
<input type="checkbox"/> Rapport/Report <input checked="" type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None		Rev.nr./Rev.No.	
Oppdragsgiver/Client Statens Vegvesen Vegdirektoratet v/Per Hagelia					
Emneord/Keywords LiDAR, Oslofjordtunnel					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge, Akershus				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Frogn/Hurum				Feltnavn/Field name	
Sted/Location				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	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	EKM	AAr		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date		Sign. Prosjektleder/Project Manager	

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

Vedlegg 6

Foto av borepunkt, sprøytebetongkjerner og utplasserte prøver i 2010

Vedlegg 6 – Foto av borepunkt, sprøytebetongkjerner og utplasserte prøver i 2010

Sprøytebetong, Felt 1, 2 og 3

Det ble bora ut to kjerner frå kvart felt i tørre upåverka området for standard betonganalysar med tanke på utgangsegenskapar *før eksponering*. Etablering av biofilm og utluting av kalsium begynte tidleg.



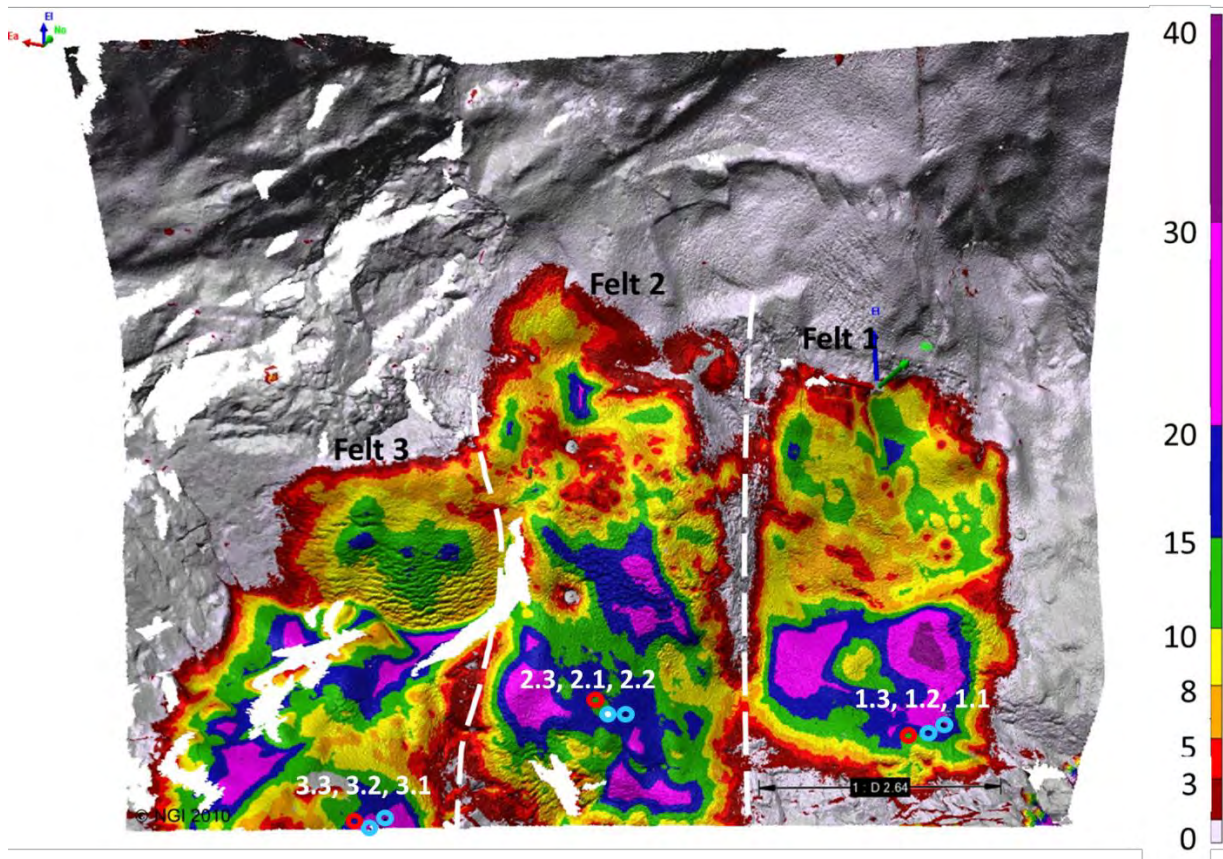
V6.1. Felt 1. Borepunkt for sprøytebetongsylindrar, prøve 1.1 (høgre) og 1.2 (venstre). Betongalder 40 dagar. Foto: Per Hagelia.



V6.2. Felt 2. Borepunkt for sprøytebetongsylindrar, prøve 2.1 (venstre) og 2.2 (høgre). Betongalder 40 dagar. Foto: Per Hagelia.



V6.3. Felt 3. Borepunkt for sprøytebetongsylindrar, prøve 3.1 (høgre) og 3.2 (venstre). Betongalder 40 dagar. Foto: Per Hagelia.



V6.4. Lokalisering av sprøytebetongsylindrar ($\Phi = 75$ mm) for standard betonganalysar (blå sirkclar) på LIDAR-kartet, bora ut den 14 april 2010 ved betongalder 40 dagar. Det blei i tillegg bora ut ei referansekerne for eventuell seinare bruk den 1 juni 2010 ved betongalder 88 dagar (røde sirkclar).



V6.5. Sylinderar ($\phi = 75$ mm) av sprøytebetong frå Felt 1, Felt 2 og Felt 3 for betonganalyse. Foto: Per Hagelia.

Prøver i Grøft A



V6.6. Grøft A. Prøver for testing av energiabsorpsjon bli utplasserte den 5 mai 2010 (foto same dag). Prøve nr 1, 2 og 3 er støypte plater (hhv. resept 1, 2 & 3) og sprøyta plateprøve (nærmast) med resept 3 (M40). Testing planlagt i 2020. Vasstanden i grøfta var låg til å begynne med, men har auka mykje i åra etter, hovudsakleg på grunn av opphoping av jernbakteriar. Vatnet renner mot høgre i biletet. Foto: Per Hagelia.



V6.7. Grøft A, 1 juni 2010. Vasstanden hadde alt auka litt sidan utplassering den 5 mai. Foto: Per Hagelia.



V6.8. Grøft A, 1 juni 2010. To sett A4-plater av kvar resept (1, 2 & 3) for testing etter 5 og 10 års eksponering. Platene var plasserte i grøfta 5 mai 2010. Foto: Per Hagelia.



V6.9. Grøft A, 1 juni 2010. Karprøver av reseptane 1, 2 og 3 blei plasserte eit stykke oppstrøms plateprøvene (foto same dag). Vasstanden auka etter kvart. Før utplassering var det bora ut to sett sylindrar av kvar resept for testing av utgangseigenskapar ved Sentrallaboratoriet. Planlagt utboring av sylindrar for testing etter 5 og 10 års eksponering. Foto: Per Hagelia.



V6.10. Sylindrar ($\Phi = 75$ mm) bora ut frå karprøver for analyse av utgangseigenskapar. Resept 1 (M45S+P) tilsvarande sprøytebetongen i Felt 1. Foto: Per Hagelia.



V6.11. Sylindrar ($\Phi = 75 \text{ mm}$) bora ut frå karprøver for analyse av utgangsegenskapar. Resept 2 (M45P) tilsvarande sprøytebetongen i Felt 2. Foto: Per Hagelia.



V6.12. Sylindrar ($\Phi = 75 \text{ mm}$) bora ut frå karprøver for analyse av utgangsegenskapar. Resept 3 (M45S+P) tilsvarande sprøytebetong i Felt 3. Foto: Per Hagelia.

Prøver i Grøft B



V6.13. Grøft B den 5 mai 2010 rett etter plassering av A4-plater. To sett av kvar resept (1, 2 & 3) for testing etter 5 og 10 års eksponering. Det opphavlege mørke manganrike vatnet var blitt rustfarga på grunn av rennande vatn i samband med meisling av gammal betong og sprøyting av Felt 1, 2 og 3 oppstrøms. Etter kvart som tida gjekk blei vatnet i Grøft B mørkare igjen (innan 2011). Foto: Per Hagelia.

Prøver for lufteksponering på bankett



V6.14. Bankett rett innanfor døra ut mot trafikkrommet. Det blei støypt totalt 18 terningar; 3 sett prøver av kvar resept). To terningar av kvar resept blei undersøkt i laboratoriet for å bestemme utgangsegenskapane. Resten, totalt 12 terningar, blei plassert ut 5 mai 2010 med tanke på lufteksponering og testing etter 5 og 10 år. I samband med anna arbeid i tunnelen omkring 2013 hadde nokon forsynt seg med eit par av terningane, og vi valte derfor å avslutte forsøket etter 5 år. Foto: Per Hagelia.



V6.15. «A4-plater» plasserte på bankett 5 mai 2010 for muleg testing etter eksponering over 5 eller 10 år. Foto: Per Hagelia.

Vedlegg 7

Rapportar frå Sentrallaboratoriet 2010 Ueksponerte prøver - utgangseigenskapar

Vedlegg 7 Rapportar frå Sentrallaboratoriet 2010

Ueksponte prøver – utgangsegenskapar

Sprøytebetong frå Felt 1, Felt 2 og Felt 3

Trykkstyrke – sprøytebetong

Trykkfasthet og densitet

Side 1 av 1

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium
Utført dato
Signert av
Oppdragsnr.
Prøvenr.

Sentrallaboratorium OSLO
07.06.2010
Ferhat Tasmin Khan
6100002
10

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
94	07.06.2010	2210	2200.0	47.0	45.50
94	07.06.2010	2190	2200.0	44.0	45.50

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	74.8
Høyde (mm)	85.1
Vekt i luft (g)	823.4
Vekt i vann (g)	451.4
Densitet (kg/m ³)	2210
Bruddlast (kN)	230.4
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1,14
Sylinderfasthet (MPa)	47.0

W/La same!

$47 \times \sqrt{1.2} = 56.4 \text{ (MPa)}$
 $44 \times 1.2 = 52.8 \text{ MPa}$
 Snitt betong = 55 MPa
 Felt 1 : Alder = 94 dager

<http://labsys.vegvesen.no:7906/labsysVegvesen/betong/14631.do?command=view&la...> 29.06.2011

V7.1. Trykkstyrke (sylinder), prøvene 1.1 og 1.2 (M45 S+P, Felt 1). Betongalder 94 døgn.

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium

Sentrallaboratorium OSLO

Utført dato

07.06.2010

Signert av

Ferhat Tasmin Khan

Oppdragsnr.

6100002

Prøvenr.

11

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
94	07.06.2010	2210	2210.0	47.0	42.50
94	07.06.2010	2210	2210.0	38.0	42.50

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	74.9
Høyde (mm)	89.1
Vekt i luft (g)	871.8
Vekt i vann (g)	477.1
Densitet (kg/m ³)	2210
Bruddlast (kN)	227.4
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1,19
Sylinderfasthet (MPa)	47.0

Snitt $\times 1,2 = 51$
(66)

Felt 2

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium	Sentrallaboratorium OSLO
Utført dato	07.06.2010
Signert av	Ferhat Tasmin Khan
Oppdragsnr.	6100002
Prøvenr.	12

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
94	07.06.2010	2200	2205.0	43.5	48.50
94	07.06.2010	2210	2205.0	53.5	48.50

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	74.4
Høyde (mm)	88.8
Vekt i luft (g)	843.2
Vekt i vann (g)	459.5
Densitet (kg/m ³)	2200
Bruddlast (kN)	206.9
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1,19
Sylinderfasthet (MPa)	43.5

Vider. Snitt 58.2

Felt 3

<http://labsys.vegvesen.no:7906/labsysVegvesen/betong/14631.do?command=view&la...> 29.06.2011

V7.3. Trykkstyrke (sylinder), prøvene 3.1 og 3.2 (M40S, Felt 3). Betongalder 94 døgn.

Fiberinnhold og densitet – sprøytebetong og sylindrar bora ut i laboratoriet:

FIBERINNHOLD I "MODERNE TUNNELLER"							
Oppdragsnr : 6100002 -10/ -11/ -12/ -13/ -14/ -15					Støpt : 05.03.10		Trykt : 07.06.10
Prøve nr.	Prøve mrk.	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volument (l)	Densitet (Kg/l)	Fiber S / P (g)	Fiberinnhold S / P (kg/m ³)
10	M45S 1.1	854,00	463,20	390,80	2,19	9,55 / 1,04	24,4 / 2,7
10	M45S 1.2	823,40	451,40	372,00	2,21	7,53 / 0,56	20,2 / 1,5
11	M45P 2.1	871,80	477,10	394,70	2,21	0,24 / 0,49	0,6 / 1,2
11	M45P 2.2	846,50	464,00	382,50	2,21	0,54 / 0,71	1,4 / 1,9
12	M40S 3.1	843,20	459,50	383,70	2,20	7,00 / 0,04	18,2 / 0,1
12	M40S 3.2	828,50	453,00	375,50	2,21	7,10 / 0,07	18,9 / 0,2
13	M45S A	799,70	423,00	376,70	2,12	11,02 / 0,44	29,3 / 1,2
13	M45S B	769,20	404,40	364,80	2,11	8,27 / 0,61	22,7 / 1,7
14	M45P A	832,10	451,90	380,20	2,19	0,6 / 1,36	1,6 / 3,6
14	M45P B	819,20	444,20	375,00	2,18	0 / 0,78	0 / 2,1
15	M40S A	824,00	456,50	367,50	2,24	4,75 / 0,43	12,9 / 1,2
15	M40S B	851,90	480,40	371,50	2,29	9,13 / 0,74	24,6 / 2,0
S = Stålfiber		P = Plastfiber		M = Masseforhold			
Prøve nr. 10, 11, 12 : Utboret i tunnel (sprøytebetong)							
Prøve nr. 13, 14, 15 : Utboret i utstøpt prøve (plastkarbetong)							

V7.4. Fiberinnhold i sprøytebetongsylindrar ($\Phi = 75$ mm) frå Felt 1 (1.1 & 1.2), Felt 2 (2.1 & 2.2) og Felt 3 (3.1 & 3.2). Alder = 94 døgn. Sylindrar ($\Phi = 75$ mm) bora ut i lab frå betong støypt i plastkar er også rapportert her (Prøve nr 13, 14 og 15).

Elektrisk motstand – sprøytebetong:



Region Øst
Sentrallaboriet / Regionlaboriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand										
Oppdragsnr.	6100002-10,11,12			Utført dato	22.04.2010			Signatur	ØL,BMG	
Prosjekt:	Moderne tunneler (602329), utboret i tunnel, 15.04.2010				Resept:	S5130A/S5130A/S7130C				
	Støpedato: 05.03.2010				Tidspunkt:	Lagt i vann: 16.04.2010				
Temperatur -	Luft:	23°C			Avlesning etter:	60 sek.				
	Vann:	18°C								
Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt lhamm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω	
M45S-1.1	Sylinder		22.04.2010	13:10	1458,8	786,4	2170	324,5	3,440	
M45S-1.2	Sylinder				1068,7	582,0	2196	403,7		
M45P-2.1	Sylinder				1456,0	790,5	2188	386,3		
M45P-2.2	Sylinder				1489,1	811,6	2198	424,3		
M40S-3.1	Sylinder				1484,8	803,6	2180	680,6		
M40S-3.2	Sylinder				1693,7	919,2	2187	608,9		
				13:20					3,136	

V7.5. Elektrisk motstand sprøytebetongsylindrar ($\Phi = 75$ mm) frå Felt 1 (1.1 & 1.2), Felt 2 (2.1 & 2.2) og Felt 3 (3.1 & 3.2). Betongalder = 48 døgn. Dimensjonane i V7.1 til V7.3 er brukt for å rekne ut resistiviteten.

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6100002-10,11,12 Utført dato 04.06.2010 Signatur ØL

Prosjekt: Moderne tunneler (602329), utboret i tunnel, 02.06.2010 Resept: 55130A/55130A/57130C
Støpedato: 05.03.2010 Tidspunkt: Lagt i vann:02.06.2010

Temperatur - Luft: 24°C Avlesning etter: 60 sek.
Vann: 23°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
M45S-1.1	Sylinder		04.06.2010					1543,0	8,245
M45S-1.2	Sylinder							1580,0	
M45P-2.1	Sylinder							1778,0	
M45P-2.2	Sylinder							1781,0	
M40S-3.1	Sylinder							3606,0	
M40S-3.2	Sylinder							3521,0	7,235

V7.6. Elektrisk motstand sprøytebetongsylindrar ($\Phi = 75 \text{ mm}$) frå Felt 1 (1.1 & 1.2), Felt 2 (2.1 & 2.2) og Felt 3 (3.1 & 3.2). Betongalder = 91 døgn. Dimensjonane i V7.1 til V7.3 er brukt for å rekne ut resistivitet.

Kapillærsug og porøsitet:

Ikkje utført i 2010, men sylinderar av sprøytebetong blei bora ut i juni 2010 (kjernene 1.3, 2.3 og 3.3 får kvart felt) og lagra vatn ved Sentrallaboratoriet for analyse i 2015. Hensikten var å samanlikne med sprøytebetong eksponert i tunnelen ved same betongalder.

Prøver til Grøft A

75 mm sylindrar bora ut frå betong støypt i kar

Trykkstyrke

Trykkfasthet og densitet

Side 1 av 1

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium	Sentrallaboratorium OSLO
Utført dato	07.06.2010
Signert av	Ferhat Tasmin Khan
Oppdragsnr.	6100002
Prøvenr.	13

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
94	07.06.2010	2120	2115.0	32.0	37.75
94	07.06.2010	2110	2115.0	43.5	37.75

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	75.0
Høyde (mm)	85.8
Vekt i luft (g)	799.7
Vekt i vann (g)	423.0
Densitet (kg/m ³)	2120
Bruddlast (kN)	156.4
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1,14
Sylinderfasthet (MPa)	32.0

(1)bet. styrke = 45.3

*Sylinder i 11 plattkar
Type = F111*

<http://labsys.vcgvesen.no:7906/labsysVegvesen/betong/14631.do?command=view&la...> 29.06.2011

V7.10. Trykkstyrke (sylinder), prøven nr 13 (M45S+P, resept 1). Betongalder 94 døgner.

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium	Sentrallaboratorium OSLO
Utført dato	07.06.2010
Signert av	Ferhat Tasmin Khan
Oppdragsnr.	6100002
Prøvenr.	14

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
94	07.06.2010	2190	2185.0	55.5	55.50
94	07.06.2010	2180	2185.0	55.5	55.50

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	74.8
Høyde (mm)	86.7
Vekt i luft (g)	832.1
Vekt i vann (g)	451.9
Densitet (kg/m ³)	2190
Bruddlast (kN)	270.4
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1,16
Sylinderfasthet (MPa)	55.5

Snitt 67,6 MPa
i kanten

Sylinder i østparten
Topp i foto 2

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium	Sentrallaboratorium OSLO
Utført dato	07.06.2010
Signert av	Ferhat Tasmin Khan
Oppdragsnr.	6100002
Prøvenr.	15

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet	
94	07.06.2010	2290	2265.0	67.5	66.75	
94	07.06.2010	2240	2265.0	66.0	66.75	<input type="button" value="Vis"/> <input type="button" value="Slett"/>

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	94
Diameter (mm)	74.9
Høyde (mm)	84.8
Vekt i luft (g)	851.9
Vekt i vann (g)	480.4
Densitet (kg/m ³)	2290
Bruddlast (kN)	329.8
Nominell diameter (mm)	75
H/D forhold	1.13
Sylinderfasthet (MPa)	67.5

Konkreten er betong M40

Styrkeklasse: "stærk"
Typen "T40 S"

Fiberinnhold og densitet

Resultata er gjengitt i V7.4

Elektrisk motstand



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidssjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand										
Oppdrag.nr.	6100002-13.14.15			Utført dato	04.06.2010			Signatur	ØL	
Prosjekt	Moderne tunneler (60332) utboret fra kassa 02.06.2010				Resept:	55130A/55130A/57130C				
	Støpe dato: 05.03.2010				Tidspunkt	Lagti varen 02.06.2010				
Temperatur -	Luft:	24°C		Avlesning etter:	60 sek.					
	Vann:	23°C								
Prøve	Type prøvestrikke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt ttttttt	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω	
M45S-A	Sylinder	75 * 85,7	04.06.2010		799,3	422,7	2122	1856,0	8,541	
M45S-B	Sylinder	75 * 84,6			768,9	404,1	2108	1704,0		
M45P-A	Sylinder	75 * 86,6			831,7	451,7	2189	2323,0		
M45P-B	Sylinder	74,2 * 85,2			818,9	444,0	2184	2236,0		
M40S-A	Sylinder	75 * 83,9			823,8	456,3	2242	3547,0		
M40S-B	Sylinder	75 * 84,5			851,7	480,2	2293	3785,0	6,852	

V7.13. Elektrisk motstand sylindrar bora ut frå karprøver (referanse).

Kapillærsug og porøsitet

Utført på sylinderprøver i 2015 (Vedlegg 8)

Det blei bare utført testing av «A4-plateprøver» i Grøft A etter eksponering til 2015 (sjå Vedlegg 8).

Prøver til Grøft B

Plateprøver

Det blei bare utført testing av «A4-plateprøver» i Grøft B etter eksponering til 2015 (sjå Vedlegg 8).

Terningar for lufteksponering på bankett

Terningprøvene blei ståande i formene i tunnelen i over tre veker, og ein del av prøvenummera hadde gått tapt innan dei blei henta inn til laboratoriet. Gjennomgang av prøvene ved Sentrallaboratoriet etterpå viste også eksempel på feilmerking, for eksempel «M40P», som ikkje blei brukt. Lab. prøvenummera var derimot intakte og vi refererer til desse når det gjeld terningprøvene.

Trykkstyrke

Tre av ni prøveseriar blei testa.

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium	Sentrallaboratorium OSLO
Utført dato	31.05.2010
Signert av	Knut Bernt Kjuul
Oppdragsnr.	6100002
Prøvenr.	1

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
88	31.05.2010	2130	2125,0	47,5	47,00
88	31.05.2010	2120	2125,0	46,5	47,00

Betong blandet dato	04.03.2010
Alder (dager)	88
Trykkflate A (mm)	100,0
Trykkflate B (mm)	99,5
Høyde (mm)	100,1
Vekt i luft (g)	2126,0
Vekt i vann (g)	1126,8
Densitet (kg/m ³)	2130
Bruddlast (kN)	474,4
Nominell terningside (mm)	100
Trykkfasthet (MPa)	47,5

V7.14. Trykkstyrke (terningfastheit), prøven nr 1 (muleg M45S+P). Betongalder 88 døgn.

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium
Utført dato
Signert av
Oppdragsnr.
Prøvenr.

Sentrallaboratorium OSLO
31.05.2010
Knut Bert Kjuul
6100002
4

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
87	31.05.2010	2180	2180,0	57,0	60,50
87	31.05.2010	2180	2180,0	64,0	60,50

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	87
Trykkflate A (mm)	99,0
Trykkflate B (mm)	98,6
Høyde (mm)	100,0
Vekt i luft (g)	2145,1
Vekt i vann (g)	1160,8
Densitet (kg/m ³)	2180
Bruddlast (kN)	557,4
Nominell terningside (mm)	100
Trykkfasthet (MPa)	57,0

V7.15. Trykkstyrke (terningfastheit), prøven nr 4,. Betongalder 87 døgn.

Trykkfasthet og densitet

Labprosess 14631

Laboratorium
Utført dato
Signert av
Oppdragsnr.
Prøvenr.

Sentrallaboratorium OSLO
31.05.2010
Knut Bert Kjuul
6100002
7

Alder (dager)	Utført dato	Densitet (kg/m ³)	Snitt densitet	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet
87	31.05.2010	2250	2240,0	65,0	66,25
87	31.05.2010	2230	2240,0	67,5	66,25

Betong blandet dato	05.03.2010
Alder (dager)	87
Trykkflate A (mm)	98,9
Trykkflate B (mm)	98,9
Høyde (mm)	100,1
Vekt i luft (g)	2197,6
Vekt i vann (g)	1219,6
Densitet (kg/m ³)	2280
Bruddlast (kN)	636,8
Nominell terningside (mm)	100
Trykkfasthet (MPa)	65,0

V7.16. Trykkstyrke (terningfastheit), prøven nr 4 Betongalder 87 døgn.

Fiberinnhold og densitet

FIBERINNHOLD I "MODERNE TUNNELLER"							
Oppdragsnr : 6100002 -1/ -4 / -7						Støpt : 05.03.10	Trykt : 07.05.10
Prøve nr.	Prøve mrk.	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum(l)	Densitet(Kg/l)	Fiber S / P (g)	Fiberinnhold S / P (kg/m ³)
1	M45S 1.1	2126,90	1126,80	1000,10	2,13	25,03 / 2,09	25,0 / 2,1
1	M45S 1.2	2155,80	1137,90	1017,90	2,12	24,90 / 2,03	24,5 / 2,0
4	M45P 2.1	2145,10	1160,80	984,30	2,18	10,83 / 1,77	11,0 / 1,8
4	M45P 2.2	2164,00	1170,90	993,10	2,18	8,58 / 1,60	8,6 / 1,6
7	M40S 3.1	2197,60	1219,60	978,00	2,25	1,08 / 2,58	1,1 / 2,6
7	M40S 3.2	2249,50	1241,40	1008,10	2,23	0,97 / 2,38	1,0 / 2,4
S = Stålfiber		P = Plastfiber		M = Masseforhold			
Prøve nr. 1, 4, 7 : Terninger (sprøytebetong)							

V7.17. Fiberinnhold i terningprøvene nr 1, 4 og 7. Det er svært tvilsamt at prøve nr 7 er M40S på grunn av svært lågt innhold av stålfiber, men meir truleg M45P. Prøve 4 er kanskje M40S).

Elektrisk motstand



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand		
Oppdragsnr.	6100002-1/2/3/4	Utført dato 22.04.2010
		Signatur ØL,BMG

Prosjekt: Moderne tunneler (602329) Resept: _____
Støpedato: _____ Tidspunkt: Lagt i vann:16.04.2010

Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: _____ 60 sek.
Vann: 18°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
1a	Terning		22.04.2010	12:00	2158,3	1141,4	2122	381,2	3,644
1b	Terning				2154,0	1134,7	2113	357,8	
2a	Terning				2116,3	1109,2	2101	375,8	
2b	Terning				2125,4	1117,9	2110	352,9	
									3,927
3a	Terning				2177,2	1176,4	2175	541,9	3,927
3b	Terning				2162,1	1168,1	2175	534,6	
4a	Terning				2179,6	1177,7	2175	548,0	
4b	Terning				2171,1	1170,4	2170	630,4	
									3,503

V7.18. Elektrisk motstand i terningprøvene 1 til 4.



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6100002-5/6/7/8 Utført dato 22.04.2010 Signatur ØL,BMG

Prosjekt: Moderne tunneler (602329) Resept: _____

Støpedato: _____ Tidspunkt: Lagt i vann: 16.04.2010

Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 18°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
5a	Terning		22.04.2010	12:25	2253,1	1248,6	2243	636,0	4,116
5b	Terning				2248,5	1239,7	2229	578,9	
6a	Terning				2209,7	1216,9	2226	657,3	
6b	Terning				2208,9	1212,8	2218	574,7	
									3,758
7a	Terning				2173,0	1171,7	2170	553,1	3,758
7b	Terning				2172,8	1174,9	2177	541,0	
8a	Terning				2130,3	1125,8	2121	399,8	
8b	Terning				2111,5	1111,9	2112	347,7	

V7.19. Elektrisk motstand i terningprøvene 5 til 8.



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6100002-9 Utført dato 22.04.2010 Signatur ØL,BMG

Prosjekt: Moderne tunneler (602329) Resept: _____

Støpedato: _____ Tidspunkt: Lagt i vann: 16.04.2010

Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 18°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
9a	Terning		22.04.2010	12:45	2270,4	1275,5	2282	604,0	
9b	Terning				2248,1	1255,1	2264	663,0	
									3,096

V7.20. Elektrisk motstand i terningprøve 9.

Kapillærsug og porøsitet

Ikkje utført på terningane i 2010.

Vedlegg 8

Rapportar frå Sentrallaboratoriet 2015

Vedlegg 8 Rapportar frå Sentrallaboratoriet 2015

Prøver eksponerte i 5 ½ år

Sprøytebetong frå Felt 1, Felt 2 og Felt 3

Trykkstyrke – sprøytebetong



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-7

Utført dato 24.02.2016

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt1	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret i tunnel i vegg	STØPEDATO: 04.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
7A-B	1003,1	542,3	2177	74,2	74,2	107,2	239,7	55,4	
FG1-4									
7C	982,4	531,1	2177	74,2	74,2	105,0	257,2	59,5	
FB1-2									

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

7A-B: Mrk. FG1-4, Frest fra begge sider

7C: Mrk. FB1-2, Frest fra fjellsiden

V8.1. Trykkstyrke. FG1-4 og FB1-2 frå Felt 1 bora ut i 2015.

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-8 Utført dato 24.02.2016 Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 2	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESSEDDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret i tunnel i vegg	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45P

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
8A-B FG2-3	418,8	224,9	2160	60,4	60,4	68,3	173,0	60,4*	
8C FB2-4	531,2	289,1	2194	60,6	60,5	84,2	196,9	68,7	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

8A-B:Mrk. FG2-3, Frest fra begge sider

8C: Mrk, FB2-4, Frest fra fjellsiden

*Skjev

V8.2. Trykkstyrke. FG2-3 og FB2-4 frå Felt 2 bora ut i 2015.



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-9

Utført dato 24.02.2016

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 3	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret i tunnel i vegg	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M40S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
9A-B	586,1	319,3	2197	60,6	60,6	93,2	159,4	55,3	
F3-6									

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

9A-B:Mrk. F3-6, Frest fra begge sider

V8.3. Trykkstyrke. F3-6 frå Felt 3 bora ut i 2015.

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-19/22/23 Utført dato 23.05.2016 Signatur TKL

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 1,2,3	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret i tunnel i vegg	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse:

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet


Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
19 FB1-4	998,9	544,6	2200	74,3	74,3	105,4	230,1	53,1	
22 FG2-2	617,1	334	2180	60,6	60,6	98,8	135,1	46,8	
23 F3-3	570,2	310,9	2200	60,5	60,5	90,6	169,9	59,1	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):


9A-B:Mrk. F3-6, Frest fra begge sider

V8.4. Trykkstyrke. FB1-4 frå Felt 1, FG2-2 frå Felt 2 og F3-3 frå Felt 3, bora ut i 2015.

Fiberinnhold – sprøytebetong

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
		NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong					
Oppdragsnr:		6150018-7	27.11.2015	Signatur:	KBK		
Prosjekt:		Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen felt 1, vegg					
Resept:		B35 M45 S					
Støpedato:		04.03.2010 (kjerner utboret i tunell)					
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
7-FG1-4	7A-B stål	1003,100	542,300	0,46	2180,65	9,46	20,57
7-FG1-4	7A-B plast	1003,100	542,300	0,46	2180,65	0,99	2,15
7-FB1-2	7C stål	982,400	531,100	0,45	2183,11	11,60	25,78
7-FB1-2	7C plast	982,400	531,100	0,45	2183,11	1,01	2,24
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							
Merknader:							

V8.5. Fiberinnhold: FG1-4 og FB1-2 frå Felt 1 bora ut i 2015.

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
		NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong					
Oppdragsnr:		6150018-8	23.11.2015	Signatur:	KBK		
Prosjekt:		Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen felt 2, vegg					
Resept:		B35 M45 P					
Støpedato:		04.03.2010 (kjerner utboret i tunell)					
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
8-FG2-3	8A-B stål	418,800	224,900	0,19	2169,95	0,32	1,66
8-FG2-3	8A-B plast	418,800	224,900	0,19	2169,95	0,45	2,37
8-FB2-4	8C stål	531,200	289,100	0,24	2195,00	0,00	0,00
8-FB2-4	8C plast	531,200	289,100	0,24	2195,00	0,00	0,00
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							
Merknader:							

V8.6. Fiberinnhold: FG2-3 og FB2-4 frå Felt 2, bora ut i 2015. Det blei ikkje funne fiber i kjerne FB2-4.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong

Oppdragsnr: 6150018-9 23.11.2015 Signatur: KBK

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen felt 3, vegg
 Resept: B35 M40 S
 Støpedato: 04.03.2010 (kjerner utboret i tunell)
 Type fiber:
 Tilsiktet dosering:

Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
9-F3-6	9A stål	586,100	319,300	0,27	2170,74	5,12	18,96
9-F3-6	9A plast	586,100	319,300	0,27	2170,74	0,09	0,33

Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m³):

Merknader:
 Dårlig utstøpt.

V8.7. Fiberinnhold: F3-6 frå Felt 3 bora ut i 2015.

Elektrisk motstand – sprøytebetong

Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-7 Utført dato 24.02.2016 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt1 Resept: B35 M45 Stål
 Støpedato: 04.03.2010 Tidspunkt:
 Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: 60 sek.
 Vann: 21,5°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
7-7A (FG1-4)	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016	10:05				7587	5,010
7-7B	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016						
7-7C (FB1-2)	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016	10:10				6890	

V8.8. Elektrisk motstand: FG1-4 og FB1-2 frå Felt 1, bora ut i 2015.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-8 Utført dato 24.02.2016 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt2 Resept: B35 M45 Plast

Støpedato: 05.03.2010

Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 21,5°C

Prove	Type provestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
8-8A (FG2-3)	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016	10:15				9618	5,010
8-8B	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016						
8-8C (FB2-4)	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016	10:20				8873	

V8.9. Elektrisk motstand: FG2-3 og FB2-4 frå Felt 2 bora ut i 2015.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-9 Utført dato 24.02.2016 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt3 Resept: B35 M40 Stål

Støpedato: 05.03.2010

Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 23°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 21,5°C

Prove	Type provestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
9-9A (F3-6)	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016	10:25				15590	3,903
9-9B	Kjerne utb.tun.	74mm i dia.	24.02.2016						

V8.10. Elektrisk motstand: F3-6 frå Felt 3 bora ut i 2015.

**Herdet betong - Elektrisk motstand**

Oppdragsnr. 6150021-1 Utført dato 26.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, bak hvelv Resept: _____

Støpedato: 1999 Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: _____ sek.

Vann: Tørre, fuktet på begge flater

Prove	Type provestykke	a*b (ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
1G (pel 15930-4)	Kjerne	60mm i dia.	26.11.2015	10:45				3797	4.150
1H (pel 15930-5)	Kjerne	60mm i dia.	26.11.2015	10:50				2703	3,711

V8.11. Elektrisk motstand: Kjerner bora ut frå 16 år gammel sprøytebetong bak hvelv i 2015.

Kloridinnhold – sprøytebetong**210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering**

Oppdragsnr.: 6150018-7 Utført dato: 17.12.2015 Signatur: Benteg

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 1 Prøve/Resept: 7A / B35 M45 S Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
7A-1	0	5	2,5	0,17	Frest fra ytterflate, samme pr.
7A-2	5	10	7,5	0,32	
7A-3	10	15	12,5	0,44	
7A-4	15	20	17,5	0,46	
7A-5	20	25	22,5	0,40	
7A-6	25	30	27,5	0,30	
7A-7	30	35	32,5	0,19	
7A-8	35	40	37,5	0,10	

V8.12. Felt 1, Kjerne FG1-4, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-7 Utført dato: 04.01.2016 Signatur: Benteg

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 1 Prøve: 7B / B35 M45 S Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
7B-1	0	5	2,5	1,27	Frest fra fjellflate, samme pr.
7B-2	5	10	7,5	1,07	
7B-3	10	15	12,5	0,81	
7B-4	15	20	17,5	0,51	
7B-5	20	25	22,5	0,36	
7B-6	25	30	27,5	0,24	
7B-7	30	35	32,5	0,14	
7B-8	35	40	37,5	0,09	

V8.13. Felt 1. Kjerne FG1-4, frå heftsona.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-7 Utført dato: 28.01.2016 Signatur: Benteg

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 1 Prøve: 7C / B35 M45 S Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
7C-1	0	5	2,5	0,58	Frest fra ytterflate
7C-2	5	10	7,5	0,89	
7C-3	10	15	12,5	0,98	
7C-4	15	20	17,5	0,86	
7C-5	20	25	22,5	0,82	
7C-6	25	30	27,5	0,69	
7C-7	30	35	32,5	0,47	
7C-8	35	40	37,5	0,34	

V8.14. Felt 1. Kjerne FB1-2, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-18 Utført dato: 07.05.2016 Signatur: TROLOR

Prosjekt: Varige konstruksjoner,Oslofjordtunnelen, felt 1 Prøve/Resept: pr. 18A / B35 M45 S Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
18A-1	0	5	2,5	0,93	Frest fra ytterflaten
18A-2	5	10	7,5	0,93	FB1-4
18A-3	10	15	12,5	1,19	
18A-4	15	20	17,5	1,34	
18A-5	20	25	22,5	1,05	
18A-6	25	30	27,5	0,77	
18A-7	30	35	32,5	0,64	
18A-8	35	40	37,5	0,47	

V8.15. Felt 1. Kjerne FB1-4, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-18 Utført dato: 10.05.2016 Signatur: TROLOR

Prosjekt: Varige konstruksjoner,Oslofjordtunnelen, felt 1 Prøve/Resept: pr. 18B / B35 M45 S Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
18B-1	0	5	2,5	0,56	Frest fra side mot fjellsiden
18B-2	5	10	7,5	0,58	FB1-4
18B-3	10	15	12,5	0,56	
18B-4	15	20	17,5	0,54	
18B-5	20	25	22,5	0,51	
18B-6	25	30	27,5	0,49	
18B-7	30	35	32,5	0,52	
18B-8	35	40	37,5	0,62	

V8.16. Felt 1. Kjerne FB1-4, frå heftsona.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-8	Utført dato:	07-08.03.2016	Signatur:	Benteg
Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2	Prøve/Resept:	8A / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
8A-1	0	5	2,5	0,59	Frest fra ytterflate, samme pr.
8A-2	5	10	7,5	0,89	
8A-3	10	15	12,5	1,00	
8A-4	15	20	17,5	0,83	
8A-5	20	25	22,5	0,70	
8A-6	25	30	27,5	0,53	
8A-7	30	35	32,5	0,42	
8A-8	35	40	37,5	0,28	

V8.17. Felt 2. Kjerne FG2-3, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-8	Utført dato:	15.03.2016	Signatur:	Benteg
Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2	Prøve:	8B / B35 M45 P	Støpedato:	04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
8B-1	0	5	2,5	0,09	Frest fra fjellflate, samme pr.
8B-2	5	10	7,5	0,04	
8B-3	10	15	12,5	0,03	
8B-4	15	20	17,5	0,03	
8B-5	20	25	22,5	0,03	
8B-6	25	30	27,5	0,03	
8B-7	30	35	32,5	0,03	
8B-8	35	40	37,5	0,03	

V8.18. Felt 2. Kjerne FG2-3, frå heftsona.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-8 Utført dato: 15.03.2016 Signatur: Benteg

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 2 Prøve: 8C / B35 M45 P Støpedato: 05.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
8C-1	0	5	2,5	0,59	Frest fra ytterflate
8C-2	5	10	7,5	0,89	
8C-3	10	15	12,5	1,03	
8C-4	15	20	17,5	0,99	
8C-5	20	25	22,5	0,91	
8C-6	25	30	27,5	0,56	

V8.19. Felt 2. Kjerne FB2-4, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-20 Utført dato: 18.05.2016 Signatur: TROLOR

Prosjekt: Varige konstruksjoner.Oslofjordtunnelen, felt 2 Prøve/Resept: pr. 20 / B35 M45 P Støpedato: 04.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
18B-1	0	5	2,5	0,50	Frest fra ytterflate
18B-2	5	10	7,5	0,67	FB2-2
18B-3	10	15	12,5	0,96	
18B-4	15	20	17,5	1,18	
18B-5	20	25	22,5	0,93	
18B-6	25	30	27,5	0,69	
18B-7	30	35	32,5	0,53	
18B-8	35	40	37,5	0,36	

V8.20. Felt 2. Kjerne FB2-2, frå ytterflata.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-9 Utført dato: 16.03.2016 Signatur: Benteg

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 3 Prøve/Resept: 9A / B35 M40 S Støpedato: 05.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
9A-1	0	5	2,5	0,34	Frest fra ytterflate, samme pr.
9A-2	5	10	7,5	0,48	
9A-3	10	15	12,5	0,42	
9A-4	15	20	17,5	0,29	
9A-5	20	25	22,5	0,15	
9A-6	25	30	27,5	0,08	
9A-7	30	35	32,5	0,08	
9A-8	35	40	37,5	0,09	

V8.21. Felt 3. Kjerne F3-6, frå ytterflata.



Statens vegvesen

R

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.: 6150018-9 Utført dato: 17.03.2016 Signatur:

Prosjekt: Oslofjordtunnelen, felt 3 Prøve: 9B / B35 M40 S Støpedato:

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
9B-1	0	5	2,5	0,51	Frest fra fjellflate, samme pr.
9B-2	5	10	7,5	0,43	
9B-3	10	15	12,5	0,35	
9B-4	15	20	17,5	0,22	
9B-5	20	25	22,5	0,12	
9B-6	25	30	27,5	0,06	
9B-7	30	35	32,5	0,02	
9B-8	35	40	37,5	0,02	

V8.22. Felt 3. Kjerne F3-6, frå heftsona.

Kapillær vassmettingsgrad og porøsitet – sprøytebetong

Sylindrar lagra i vatn på Sentrallaboratoriet i 5 år



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 1 av 2

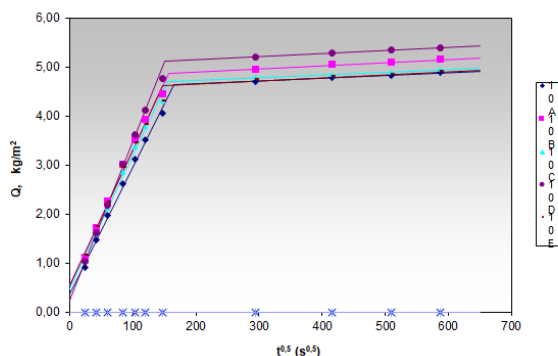
Oppdragsnr. 6100002-10 Utført dato: 20.04,27.04,04-08.05,11-13.05.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M45S_stålfiber,utborret i tunnel
Prøvens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 04.05.2015 tid (tt:mm): 10:00 Trykkmetning fra 11.05.15, kl.10:35 til 13.05.15, kl.12:40

Dato	Kl	Suge- tid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket				
				10A	10B	10C	10D	10E
04.05.10	10:00		Tørring, g _e	163,79	162,91	164,07	160,13	163,23
04.05.10	10:10	600	10 min suging	167,76	167,67	168,56	164,57	168,24
04.05.10	10:30	1800	30 min suging	170,15	170,32	170,97	167,09	170,72
04.05.10	11:00	3600	1 time suging	172,29	172,66	173,24	169,54	172,94
04.05.10	12:00	7200	2 timer suging	175,14	175,81	176,37	173,13	176,00
04.05.10	13:00	10800	3 timer suging	177,27	178,04	178,65	175,78	178,11
04.05.10	14:00	14400	4 timer suging	178,96	179,75	180,37	177,88	179,73
04.05.10	16:00	21600	6 timer suging	181,34	182,02	182,70	180,67	181,79
05.05.10	10:00	36400	1 døgn suging	184,18	184,22	184,70	182,60	183,70
06.05.10	10:00	172800	2 døgn suging	184,47	184,60	184,97	182,96	183,94
07.05.10	10:00	259200	3 døgn suging	184,66	184,79	185,19	183,21	184,16
08.05.10	10:00	345600	4 døgn suging	184,92	185,04	185,42	183,42	184,41
11.05.10	10:05	605100	Vannmetting e / 3d.neddykket (luft), g _e	185,44	185,42	185,94	183,92	184,94
11.05.10	10:10	605400	Vannmetting (vann)	101,01	101,05	101,08	99,78	100,79
13.05.10	12:45	787500	Trykkmetning e / 2d. (luft), g _e	188,16	187,52	188,83	185,77	187,48
13.05.10	12:50	787800	Trykkmetning (vann), g _e	103,66	103,03	103,79	101,53	103,20
Mål	sidekant a / diameter d (mm)			74,3	74,0	74,2	74,2	74,2
	sidekant b (mm)							
	høyde (mm)			19,9	20,0	19,9	19,9	19,9

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 2 av 2



Prøvestykket merket	10A	10B	10C	10D	10E	Gjennomsnitt
Areal (mm ²)	4335,8	4300,8	4324,1	4324,1	4324,1	
Prøvestykkets volum (ml)	84,5	84,5	85,0	84,2	84,3	
Densitet tørr (kg/m ³)	1938,3	1928,2	1929,3	1900,9	1936,8	1927
Densitet faststoff (kg/m ³)	2723,9	2720,6	2721,8	2732,6	2719,1	2724
Sug porøsitet	25,6 %	26,6 %	25,7 %	28,2 %	25,8 %	26,4 %
Makro porøsitet	3,2 %	2,5 %	3,4 %	2,2 %	3,0 %	2,9 %
Total porøsitet	28,8 %	29,1 %	29,1 %	30,4 %	28,8 %	29,3 %
α 1.00 Beregnet v/c etter Powers	0,59	0,60	0,59	0,62	0,59	0,60
Densitet vannmettet - ρ _{SSD} (kg/m ³)	2195	2195	2187	2183	2194	2191
Kapillaritetstallet k [kg/m ² s ^{0,5}]	0,0280	0,0311	0,0301	0,0340	0,0315	0,0310
Motstandstallet m [s/mm ²]	68,98	61,23	61,29	57,22	54,26	60,6
Q _{1/3p}	4,63	4,87	4,69	5,12	4,62	
Rot t _{1/3p}	165,3	156,5	155,8	150,5	146,6	
t _{1/3p}	27315,8	24490,7	24273,1	22660,4	21487,8	

V8.23. Kapillærsug og porøsitet. Prøve 1.3 frå Felt 1, lagra i vatn ved Sentrallaboratoriet i fem år for samanlikning med prøver frå eksponert sprøytebetong bora ut i 2015.

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF

Side 1 av 2

Oppdragsnr. 610002-11

Utført dato: 20.04.27.04.04-08.05.11-13.05.2015

Signatur Benteg

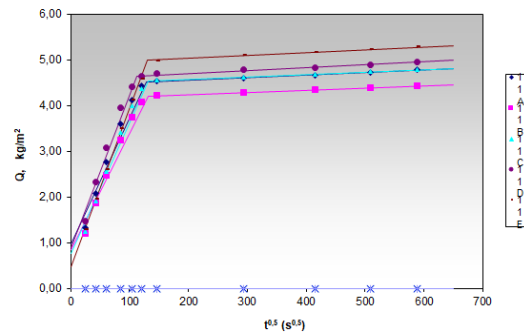
Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M43P, plastfiber, utboret i tunnel
 Provens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 04.05.2015 tid (t:mm): 10:00 Trykkmetning fra 11.05.15, kl.10:35 til 13.05.15, kl.12:40

Dato	Kl	Sugetid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket				
				11A	11B	11C	11D	11E
04.05.10	10:00		Tørrking, g _t	161,85	168,07	163,68	161,66	157,03
04.05.10	10:10	600	10 min suging	167,64	173,33	169,06	168,06	162,56
04.05.10	10:30	1800	30 min suging	170,88	176,23	171,99	171,76	165,44
04.05.10	11:00	3600	1 time suging	173,85	178,86	174,79	175,05	168,29
04.05.10	12:00	7200	2 timer suging	177,53	182,21	178,55	178,82	172,15
04.05.10	13:00	10800	3 timer suging	179,80	184,36	181,10	180,90	174,87
04.05.10	14:00	14400	4 timer suging	181,12	185,79	182,72	181,83	176,84
04.05.10	16:00	21600	6 timer suging	181,56	186,43	183,53	182,12	178,55
05.05.10	10:00	86400	1 døgn suging	181,90	186,74	183,82	182,48	179,09
06.05.10	10:00	172800	2 døgn suging	182,15	186,96	184,07	182,70	179,41
07.05.10	10:00	259200	3 døgn suging	182,38	187,19	184,29	182,95	179,66
08.05.10	10:00	345600	4 døgn suging	182,65	187,35	184,48	183,19	179,88
11.05.10	10:05	605100	Vannmetting e / 3d, neddykket (luft), g _t	183,16	187,79	185,03	183,73	180,36
11.05.10	10:10	605400	Vannmetting (vann)	99,87	103,76	100,82	99,60	96,70
13.05.10	12:45	787500	Trykkmetning e / 2d, (luft), g _t	185,58	190,11	187,49	186,26	182,85
13.05.10	12:50	787800	Trykkmetning (vann), g _t	102,05	105,92	103,11	101,92	99,08
Mål	sidekant a / diameter d (mm)			74,5	74,5	74,5	74,5	74,3
	sidekant b (mm)							
	høyde (mm)			19,4	19,5	19,6	19,7	19,6

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF

Side 2 av 2



Prøvestykket merket	11A	11B	11C	11D	11E		
Areal (mm ²)	4359,2	4359,2	4359,2	4359,2	4335,8		Giennomsnitt
Prøvestykkets volum (ml)	83,5	84,2	84,4	84,3	83,8		
Densitet tørr (kg/m ³)	1937,6	1996,3	1939,8	1916,8	1874,5		1933
Densitet faststoff (kg/m ³)	2706,5	2704,3	2702,3	2706,1	2709,7		2706
Sug porøsitet	25,5 %	23,4 %	25,3 %	26,2 %	27,9 %		25,7 %
Makro porøsitet	2,9 %	2,8 %	2,9 %	3,0 %	3,0 %		2,9 %
Total porøsitet	28,4 %	26,2 %	28,2 %	29,2 %	30,8 %		28,6 %
α = 1,00 Beregnet v/c etter Powers	0,59	0,56	0,59	0,60	0,62		0,59
Densitet vannmettet - ρ _{SSD} (kg/m ³)	2193	2231	2193	2178	2153		2190
Kapillaritetstallet k [kg/m ³ s ^{0,5}]	0,0350	0,0321	0,0344	0,0413	0,0384		0,0363
Motstandstallet m [s/mm ²]	43,85	45,15	45,17	32,39	43,75		42,1
Q _{cap}	4,50	4,20	4,54	4,63	4,98		
Rot t _{cap}	128,5	131,0	131,7	112,1	129,6		
t _{cap}	16505,0	17169,8	17351,7	12572,0	16805,6		

V8.24. Kapillærsug og porøsitet. Prøve 2.3 frå Felt 2, lagra i vatn ved Sentrallaboratoriet i fem år for samanlikning med prøver frå eksponert sprøytebetong bora ut i 2015.

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 1 av 2

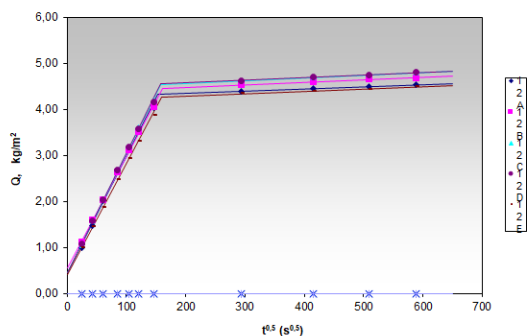
Oppdragsnr. 6100002-12 Utført dato: 20.04.27.04.04-08.05.11-13.05.2015 Signatur Beuteg

Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M40S, stålfiber, utborret i tunnel
 Provens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 04.05.2015 tid (t:mm): 10:00 Trykkmetning fra 11.05.15, kl.10:35 til 13.05.15, kl.12:40

Dato	Kl	Suge- tid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket				
				12A	12B	12C	12D	12E
04.05.10	10:00		Tørrking, g _t	170,06	169,02	166,16	167,55	171,76
04.05.10	10:10	600	10 min suging	174,42	173,85	170,70	172,27	176,08
04.05.10	10:30	1800	30 min suging	176,48	175,95	172,94	174,40	178,08
04.05.10	11:00	3600	1 time suging	178,87	177,92	175,01	176,40	179,95
04.05.10	12:00	7200	2 timer suging	181,64	180,56	177,87	179,19	182,59
04.05.10	13:00	10800	3 timer suging	183,77	182,63	180,06	181,36	184,54
04.05.10	14:00	14400	4 timer suging	185,43	184,36	181,92	183,14	186,22
04.05.10	16:00	21600	6 timer suging	187,65	186,74	184,46	185,69	188,61
05.05.10	10:00	86400	1 døgn suging	189,21	188,79	186,29	187,70	190,70
06.05.10	10:00	172800	2 døgn suging	189,45	189,08	186,59	188,03	190,95
07.05.10	10:00	259200	3 døgn suging	189,69	189,33	186,87	188,24	191,14
08.05.10	10:00	345600	4 døgn suging	189,82	189,47	187,03	188,46	191,34
11.05.10	10:05	605100	Vannmetting e / 3d.meddykket (luft), g _t	190,33	189,90	187,66	189,02	191,83
11.05.10	10:10	605400	Vannmetting (vann)	104,55	104,35	102,23	103,12	105,44
13.05.10	12:45	787500	Trykkmetning e / 2d. (luft), g _t	193,57	192,65	190,79	192,21	195,18
13.05.10	12:50	787800	Trykkmetning (vann), g _t	107,69	107,02	105,28	106,21	108,74
Mål	sidekant a / diameter d (mm)			74,6	74,6	74,6	74,5	74,6
	sidekant b (mm)							
	høyde (mm)			20,0	19,9	19,9	20,1	20,2

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 2 av 2



Prøvestykket merket	12A	12B	12C	12D	12E	Gjennomsnitt
Areal (mm ²)	4370,9	4370,9	4370,9	4359,2	4370,9	
Prøvestykkets volum (ml)	85,9	85,6	85,5	86,0	86,4	
Densitet tørr (kg/m ³)	1980,2	1973,8	1943,2	1948,3	1987,0	1967
Densitet faststoff (kg/m ³)	2726,6	2726,1	2729,3	2731,5	2725,5	2728
Sug porøsitet	23,6 %	24,4 %	25,1 %	25,0 %	23,2 %	24,3 %
Makro porøsitet	3,8 %	3,2 %	3,7 %	3,7 %	3,9 %	3,6 %
Total porøsitet	27,4 %	27,6 %	28,8 %	28,7 %	27,1 %	27,9 %
α = 1.00 Beregnet v/c etter Powers	0,57	0,57	0,58	0,58	0,56	0,57
Densitet vannmettet - ρ _{SSD} (kg/m ³)	2216	2218	2195	2198	2219	2209
Kapillaritetstallet k [kg/m ³ s ^{0,5}]	0,0281	0,0278	0,0288	0,0290	0,0268	0,0281
Motstandstallet m [s/mm ²]	58,89	65,03	62,35	61,02	61,77	61,8
Q _{kap}	4,31	4,45	4,53	4,55	4,26	
Rot t _{kap}	153,5	160,5	157,1	157,0	158,8	
t _{kap}	23554,1	25751,6	24691,0	24653,9	25206,0	

V8.25. Kapillærsug og porøsitet. Prøve 3.3 frå Felt 3, lagra i vatn ved Sentrallaboratoriet i fem år for samanlikning med prøver frå eksponert sprøytebetong bora ut i 2015.

Sylindrar bora ut frå tunnelvegg i 2015



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF		Side 1 av 2
Oppdragsnr. 6150018-19	Utført dato 01.06-10.06.2016	Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: Syl.-mrk.FB1-4,19A1*,19A2,19A3(*mot luft) og 19B1*,19B2(*mot fjell)
Felt 1,M45 stål Provens alder: 05.03.2010

Start forsøk: dato: 01.06.2016 tid (tt:mm): 12:40 Trykkmetning: Start-08.06.2016, kl.13:15 Slutt-10.06.2016, kl.13:15

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket				
			19A1	19A2	19A3	19B1	19B2
01.06.16	12:40	Initiell vekt - g₀					
		Vannlagring - g	165,04	162,71	186,46	229,28	156,74
08.06.16	12:38	1 uke vannsug - g	196,06	183,88	210,22	251,88	183,19
		2 uker vannsug - g					
		3 uker vannsug - g					
08.06.16	12:38	Vannmetning (luft) - g₄	196,06	183,88	210,22	251,88	183,19
		Vannmetning (vann) - g₅	100,90	100,47	114,72	142,89	97,75
10.06.16	12:36	Trykkmetting (luft) - g₆	198,65	186,35	213,68	254,82	184,85
		Trykkmetting (vann) - g₇					
		Torking - g₃	165,04	162,71	186,46	229,28	156,74
Mål		sidekant a / diameter d (mm)					
		sidekant b (mm)					
		høyde (mm)					
For utregninger, se formler på side 2							
Prøvestykkets volum - V ₃ (cm ³)			95,16	83,41	95,5	108,99	85,44
Densitet faststoff - ρ _s (kg/m ³)			2681	2722	2731	2748	2734
Sug porøsitet - p _s (%)			32,60 %	25,38 %	24,88 %	20,74 %	30,96 %
Makro porøsitet - p _m (%)			2,72 %	2,96 %	3,62 %	2,70 %	1,94 %
Total porøsitet - p _t (%)			35,32 %	28,34 %	28,50 %	23,43 %	32,90 %
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Beregnet w/c etter Powers			-5,56	2,62	2,34	1,15	-14,53

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF		Side 2 av 2
--	--	-------------

$$V_1 = \frac{g_1 - g_2}{1} \quad V_2 = \frac{g_4 - g_5}{1} \quad V_3 = \frac{g_6 - g_7}{1}$$

$$\rho_{fs} = 1000 \cdot \frac{g_3}{V_3 - \left(\frac{g_6 - g_3}{1}\right)}$$

Alle vekt-verdier (g-ene) settes inn som gram

Da blir enhetene som angitt nederst på side 1

$$\left. \begin{aligned} p_s &= \frac{g_4 - g_3}{V_3 \cdot 1} \\ p_m &= \frac{g_6 - g_4}{V_3 \cdot 1} \end{aligned} \right\} p_t = p_s + p_m$$

$$DS = 100 \cdot \frac{g_0 - g_3}{g_1 - g_3}$$

V8.26. Felt 1. Kapillærsug og porøsitet. Kjerne FB1-4 under biofilm (19A1-A3) og mot heft (19B1-B2), bora ut i 2015.

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2

Oppdragsnr. 6150018-21 Utført dato 01.06-10.06.2016 Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: Syl.-mrk.FG2-1, 21A,21B,21C
Felt 2, M45-plast Prøvens alder: 05.03.2010

Start forsøk: dato: 01.06.2016 tid (ttmm): 12:43 Trykkmetning: Start-08.06.2016, kl.13:15 Slutt-10.06.2016, kl.13:15

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket						
			21A	21B	21C				
01.06.16	12:43	Initiell vekt - g₀							
		Vannlagring - g	121,77	105,62	97,51				
08.06.16	12:43	1 uke vannsug - g	137,67	119,84	110,19				
		2 uker vannsug - g							
		3 uker vannsug - g							
08.06.16	12:43	Vannmetning (luft) - g₄	137,67	119,84	110,19				
		Vannmetning (vann) - g₅	74,81	64,62	59,68				
10.06.16	12:39	Trykkmetting (luft) - g₆	139,42	121,58	111,99				
		Trykkmetting (vann) - g₇							
		Tøking - g₃	121,77	105,62	97,51				
Mål		sidekant a / diameter d (mm)							
		sidekant b (mm)							
		høyde (mm)							
For utregninger, se formler på side 2									
Prøvestykkets volum - V ₃ (cm ³)			62,86	55,22	50,51				
Densitet faststoff - ρ _s (kg/m ³)			2693	2690	2706				
Sug porøsitet - p _s (%)			25,29 %	25,75 %	25,10 %				
Makro porøsitet - p _m (%)			2,78 %	3,15 %	3,56 %				
Total porøsitet - p _t (%)			28,08 %	28,90 %	28,67 %				
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0				
Beregnet v/c etter Powers			2,57	2,88	2,46				

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 2 av 2

$$V_1 = \frac{g_1 - g_2}{1} \quad V_2 = \frac{g_4 - g_5}{1} \quad V_3 = \frac{g_6 - g_7}{1}$$

$$\rho_{\beta} = 1000 \cdot \frac{g_3}{V_3 - \left(\frac{g_6 - g_3}{1}\right)}$$

Alle vekt-verdier (g-ene) settes inn som gram
Da blir enhetene som angitt nederst på side 1

$$\left. \begin{aligned} p_s &= \frac{g_4 - g_3}{V_3 \cdot 1} \\ p_m &= \frac{g_6 - g_4}{V_3 \cdot 1} \end{aligned} \right\} P_t = P_s + P_m$$

$$DS = 100 \cdot \frac{g_0 - g_3}{g_1 - g_3}$$

V8.27. Felt 2. Kapillærsug og porøsitet. Kjerne FG2-1 bora ut i 2015.

Felt 3 blei på grunn av kommunikasjonssvikt ikkje undersøkt med tanke på kapillærsug og porøsitet.

Sylindrar bora frå karprøver etter 5,5 års eksponering i Grøft A

Trykkstyrke – karprøver



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-4

Utført dato 26.11.2015

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 1	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret på lab.	STØPEDATO: 04.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
4A	789,0	411,4	2090	74,1	74,1	88,3	251,0	58,2	
4B	695,0	360,3	2076	74,1	74,1	78,2	214,6	49,8	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Ikke lagret i vann før trykking, fuktet

V8.28. Resept 1(M45S+P). Trykkstyrke, sylinder 4A og 4B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-5 Utført dato 26.11.2015 Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen,felt2	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret på lab.	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45P

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
5A	824,3	444,3	2169	74,2	74,2	89,3	336,4	77,8	
5B	807,0	435,0	2169	74,1	74,2	87,4	275,9	64,3	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Ikke lagret i vann før trykking, fuktet

V8.29. Resept 2 (M45P). Trykkstyrke, sylinder 5A og 5B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-6 Utført dato 26.11.2015 Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt3	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Kjerner Utboret på lab.	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M40S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet


Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
6A	830,2	453,9	2206	73,9	73,8	88,1	394,1	91,9	
6B	611,2	335,6	2218	74,1	74,1	64,5	381,8	88,5	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Ikke lagret i vann før trykking, fuktet

V8.30. Resept 3 (M40S). Kapillærsug og porøsitet, sylinder 6A og 6B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.

Fiberinnhold – karprøver

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
		NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong					
Oppdragsnr:		6150018-4	27.11.2015	Signatur:	KBK		
Prosjekt:		Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen, felt 1, grøft A					
Resept:		B35 M45 S					
Støpedato:		04.03.2010 (kjerner utboret i lab)					
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
4	4A stål	789,000	378,000	0,41	1924,39	0,26	0,63
4	4A plast	789,000	378,000	0,41	1924,39	0,44	1,07
4	4B stål	695,000	335,000	0,36	1930,56	8,01	22,25
4	4B plast	695,000	335,000	0,36	1930,56	1,53	4,25
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							

V8.31. Resept 1. Fiberinnhold, sylindere 4A og 4B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
		NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong					
Oppdragsnr:		6150018-5	27.11.2015	Signatur:	KBK		
Prosjekt:		Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen, felt 2, grøft A					
Resept:		B35 M45 P					
Støpedato:		04.03.2010 (kjerner utboret i lab)					
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
5	5A stål	824,000	380,000	0,44	1872,73	8,31	18,89
5	5A plast	824,000	380,000	0,44	1872,73	0,62	1,41
5	5B stål	807,000	372,000	0,44	1834,09	0,50	1,14
5	5B plast	807,000	372,000	0,44	1834,09	0,52	1,18
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							
Merknader:							

V8.32. Resept 2. Fiberinnhold, sylindere 5A og 5B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong

Oppdragsnr: 6150018-6 27.11.2015 Signatur: KBK

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A
 Resept: B35 M40 S
 Støpedato: 04.03.2010 (kjerner utboret i lab)
 Type fiber:
 Tilsiktet dosering:

Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
6	6A stål	830,200	453,900	0,38	2184,74	8,31	21,87
6	6A plast	830,200	453,900	0,38	2184,74	0,62	1,63
6	6B stål	611,200	335,600	0,28	2182,86	0,50	1,79
6	6B plast	611,200	335,600	0,28	2182,86	0,52	1,86

Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m³):

Merknader:

V8.33. Resept 3. Fiberinnhold, sylinder 6A og 6B bora ut frå karprøver eksponert til 2015.

Elektrisk motstand – karprøver



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-4 Utført dato 26.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt
 Resept: B35 M45 Stål
 Støpedato: 04.03.2010 Tidspunkt:
 Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.
 Vann: Tørre, fuktet på begge flater

Prøve	Type prøvestykke	a*b (o) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
4-4A	Kjerne utb. lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:30				11040	9,454
4-4B	Kjerne utb. lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:35				17090	

V8.34. Elektrisk motstand. Resept 1 i 2015. Dimensjonane (diameter og høgde) er gitt i V8.28.

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-5 Utført dato 26.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt2 Resept: B35 M45 Plast
 Stopedato: 05.03.2010 Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.
 Vann: Tørre, fuktet på begge flater

Prøve	Type prøvestykke	a*b (ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
5-5A	Kjerne utb lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:35				15670	9,454
5-5B	Kjerne utb lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:40				13310	

V8.35. Elektrisk motstand. Resept 2 i 2015. Dimensjonane (diameter og høyde) er gitt i V8.29.

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-6 Utført dato 26.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt3 Resept: B35 M40 Stål
 Stopedato: 05.03.2010 Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.
 Vann: Tørre, fuktet på begge flater

Prøve	Type prøvestykke	a*b (ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
6-6A	Kjerne utb lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:40				17060	
6-6B	Kjerne utb lab.	74mm i dia.	26.11.2015	10:45				11050	4,150

V8.36. Elektrisk motstand. Resept 3 i 2015. Dimensjonane (diameter og høyde) er gitt i V8.30.

Kloridinntrenging – karprøver

Ikkje undersøkt.

Kapillærsug og porøsitet – karprøver



Region Øst
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 1 av 2

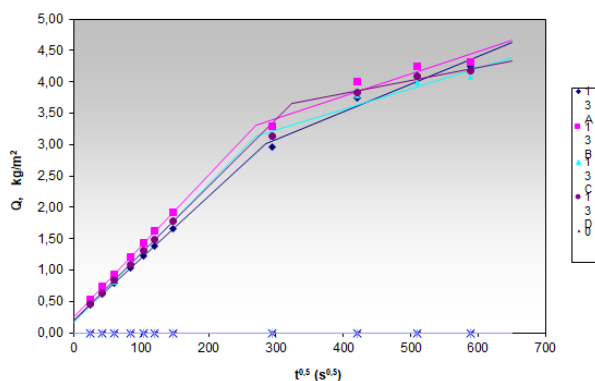
Oppdragsnr. 6100002-13 Utført dato: Signatur Benteg

Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M45S, stålfiber, avsaget biter fra utstøpt kasse
Prøvens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 01.06.2015 tid (tt:mm): 10:00 Trykkmetning fra 08.06.15, kl.12:05 til 10.06.15, kl.13:15

Dato	Kl	Suge- tid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket			
				13A	13B	13C	13D
01.06.15	10:00		Tørking, g _t	151,52	123,56	133,52	143,09
01.06.15	10:10	600	10 min suging	153,11	125,07	134,99	144,68
01.06.15	10:30	1800	30 min suging	153,70	125,62	135,55	145,28
01.06.15	11:00	3600	1 time suging	154,32	126,18	136,16	145,95
01.06.15	12:00	7200	2 timer suging	155,21	126,97	137,03	146,83
01.06.15	13:00	10800	3 timer suging	155,88	127,59	137,74	147,59
01.06.15	14:00	14400	4 timer suging	156,48	128,10	138,31	148,15
01.06.15	16:00	21600	6 timer suging	157,42	128,94	139,35	149,16
02.06.15	10:00	86400	1 døgn suging	162,08	132,79	143,61	153,80
03.06.15	11:00	176400	2 døgn suging	164,90	134,77	145,72	156,20
04.06.15	10:00	259200	3 døgn suging	166,14	135,47	146,42	157,06
05.06.15	10:15	346500	4 døgn suging	166,70	135,68	146,69	157,36
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting e / 3d.neddykket (luft), g _e	167,61	136,04	147,12	157,86
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting (vann)	88,27	72,32	77,81	83,31
10.06.15	13:15	789300	Trykkmetting e / 2d. (luft), g _e	175,03	141,87	153,56	164,92
10.06.15	13:20	789600	Trykkmetting (vann), g _e	95,63	78,05	84,21	90,24
Mål	sidekant a (mm)			67,5	59,8	64,2	66,0
	sidekant b (mm)			57,4	49,3	54,2	56,0
	høyde (mm)			21,4	21,8	21,7	21,6

14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF Side 2 av 2



Prøvestykket merket	13A	13B	13C	13D	0				Gjennomsnitt
Areal (mm ²)	3578,5	2808,6	3237,1	3421,2					
Prøvestykkets volum (ml)	79,4	63,8	69,4	74,7					
Densitet tørr (kg/m ³)	1908,3	1936,1	1925,3	1916,0					1921
Densitet faststoff (kg/m ³)	2711,0	2715,0	2707,8	2707,5					2710
Sug porøsitet	20,3 %	19,6 %	19,6 %	19,8 %					19,8 %
Makro porøsitet	9,3 %	9,1 %	9,3 %	9,5 %					9,3 %
Total porøsitet	29,6 %	28,7 %	28,9 %	29,2 %					29,1 %
α 1,00 Beregnet v/c etter Powers	0,53	0,52	0,52	0,52					0,52
Densitet vannmettet - ρ _{SSP} (kg/m ³)	2111	2132	2121	2114					2119
Kapillaritetstallet k [kg/m ² s ^{0,5}]	0,0106	0,0123	0,0116	0,0113					0,0114
Motstandstallet m [s/mm ²]	176,27	153,56	154,79	224,50					177,3
Q _{13sp}	3,01	3,31	3,14	3,66					
Rot t _{13sp}	284,1	270,1	270,0	323,6					
t _{13sp}	80726,3	72980,2	72890,3	104742,5					

V8.37. Kapillærsug og porøsitet. Avkappa bitar utført i 2015 etter lagring i ferskvatn sidan 2010. Prøve 13 (resept 1. M45S+P).

14.637 Kapillær sugehastighet og porøsitet, PF Side 1 av 2

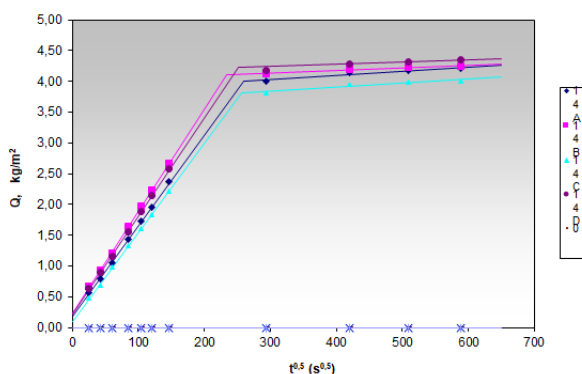
Oppdragsnr. 6100002-14 Utført dato: Signatur Benteg

Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M45P,plastfiber,avsaget biter fra utstøpt kasse
 Provens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 01.06.2015 tid (t:mm): 10:00 Trykkmetning fra 08.06.15, kl.12:05 til 10.06.15, kl.13:15

Dato	Kl	Suge- tid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket			
				14A	14B	14C	14D
01.06.15	10:00		Tørring, g _s	153,97	166,73	147,35	180,90
01.06.15	10:10	600	10 min suging	156,06	169,33	149,00	183,62
01.06.15	10:30	1800	30 min suging	156,88	170,38	149,73	184,70
01.06.15	11:00	3600	1 time suging	157,79	171,48	150,78	185,85
01.06.15	12:00	7200	2 timer suging	159,17	173,14	152,04	187,57
01.06.15	13:00	10800	3 timer suging	160,25	174,43	153,02	188,93
01.06.15	14:00	14400	4 timer suging	161,12	175,47	153,81	190,05
01.06.15	16:00	21600	6 timer suging	162,60	177,20	155,11	191,91
02.06.15	10:00	86400	1 døgn suging	168,61	182,94	160,72	198,77
03.06.15	11:00	176400	2 døgn suging	169,12	183,20	161,25	199,21
04.06.15	10:00	259200	3 døgn suging	169,22	183,33	161,33	199,34
05.06.15	10:15	346500	4 døgn suging	169,33	183,41	161,44	199,46
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting e / 3d, neddykket (luft), g _s	169,50	183,62	161,60	199,73
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting (vann)	92,06	99,68	88,36	108,52
10.06.15	13:15	789300	Trykkmetting e / 2d, (luft), g _s	174,24	188,66	165,79	204,99
10.06.15	13:20	789600	Trykkmetting (vann), g _s	96,71	104,64	92,47	113,69
Mål	sidekant a / diameter d (mm)			68,2	70,7	66,9	73,8
	sidekant b (mm)			51,9	55,7	50,8	60,5
	høyde (mm)			21,7	21,5	23,2	21,4

14.637 Kapillær sugehastighet og porøsitet, PF Side 2 av 2



Prøvestykket merket	14A	14B	14C	14D	0				Gjennomsnitt
Areal (mm ²)	3653,1	3925,8	3515,1	4277,6					
Prøvestykkets volum (ml)	77,5	84,0	73,3	91,3					
Densitet torr (kg/m ³)	1985,9	1984,4	2009,7	1981,4					1990
Densitet faststoff (kg/m ³)	2689,0	2685,3	2684,9	2691,6					2688
Sug porøsitet	20,0 %	20,1 %	19,4 %	20,6 %					20,0 %
Makro porøsitet	6,1 %	6,0 %	5,7 %	5,8 %					5,9 %
Total porøsitet	26,1 %	26,1 %	25,2 %	26,4 %					25,9 %
α, 1,00	Beregnet v/c etter Powers	0,53	0,53	0,52	0,53				0,53
	Densitet vannmettet - ρ _{SSD} (kg/m ³)	2186	2185	2204	2188				2191
	Kapillaritetstallet k [kg/m ² s ^{0.5}]	0,0155	0,0175	0,0148	0,0168				0,0162
	Motstandstallet m [s/mm ²]	142,26	118,85	122,29	138,82				130,6
	Q _{skap}	4,01	4,11	3,80	4,22				
	Rot t _{skap}	258,8	234,4	256,6	252,1				
	t _{skap}	66989,7	54940,1	65823,1	63572,2				

V8.38. Kapillærsug og porøsitet. Avkappa bitar utført i 2015 etter lagring i ferskvatn sidan 2010. Prøve 14 (resept 2. M45P).

14.637 Kapillær sugehastighet og porøsitet, PF Side 1 av 2

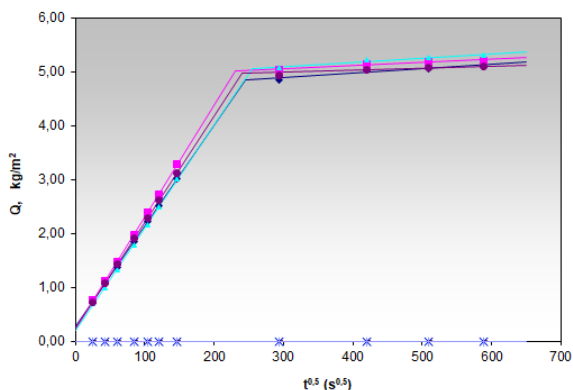
Oppdragsnr. 6100002-15 Utført dato: Signatur Benteg

Prosjekt: Moderne tunneler, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: M40S, stålfiber, avsaget biter fra utstøpt kasse
Prøvens alder: 05.03.2010

Start suging: dato: 01.06.2015 tid (ttmm): 10:00 Trykkmetning fra 08.06.15, kl.12:05 til 10.06.15, kl.13:15

Dato	Kl	Suge- tid (s)	Vekt (g) etter:	Prøvestykket merket							
				15A	15B	15C	15D				
01.06.15	10:00		Tørrking, g _s	167,54	159,27	163,61	147,29				
01.06.15	10:10	600	10 min suging	169,70	161,33	165,55	149,16				
01.06.15	10:30	1800	30 min suging	170,64	162,33	166,42	150,06				
01.06.15	11:00	3600	1 time suging	171,51	163,25	167,32	150,94				
01.06.15	12:00	7200	2 timer suging	172,88	164,64	168,65	152,16				
01.06.15	13:00	10800	3 timer suging	173,95	165,79	169,69	153,16				
01.06.15	14:00	14400	4 timer suging	174,81	166,68	170,61	154,00				
01.06.15	16:00	21600	6 timer suging	176,22	168,19	172,09	155,29				
02.06.15	10:00	86400	1 døgn suging	181,56	172,96	177,88	159,92				
03.06.15	11:00	176400	2 døgn suging	182,07	173,26	178,32	160,23				
04.06.15	10:00	259200	3 døgn suging	182,17	173,36	178,44	160,32				
05.06.15	10:15	346500	4 døgn suging	182,28	173,44	178,53	160,39				
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting e / 3d. neddykket (luft), g _s	182,45	173,62	178,71	160,56				
08.06.15	12:05	612300	Vannmetting (vann)	102,16	97,12	99,58	89,82				
10.06.15	13:15	789300	Trykkmetning e / 2d. (luft), g _s	185,92	176,98	182,32	163,53				
10.06.15	13:20	789600	Trykkmetning (vann), g _s	105,57	100,42	103,13	92,74				
Mål	sidekant a / diameter d (mm)			60,7	58,9	59,9	57,2				
	sidekant b (mm)			60,2	58,2	59,4	55,1				
	høyde (mm)			21,5	21,6	21,8	21,8				

14.637 Kapillær sugehastighet og porøsitet, PF Side 2 av 2



Prøvestykket merket	15A	15B	15C	15D	0				Gjennomsnitt
Areal (mm ²)	2893,8	2724,7	2818,0	2569,7					
Prøvestykkets volum (ml)	80,4	76,6	79,2	70,8					
Densitet tørr (kg/m ³)	2085,1	2080,3	2066,0	2080,7					2078
Densitet faststoff (kg/m ³)	2703,6	2706,4	2705,2	2700,1					2704
Sug porøsitet	18,6 %	18,7 %	19,1 %	18,7 %					18,8 %
Makro porøsitet	4,3 %	4,4 %	4,6 %	4,2 %					4,4 %
Total porøsitet	22,9 %	23,1 %	23,6 %	22,9 %					23,1 %
α 1,00 Beregnet v/c etter Powers	0,51	0,51	0,52	0,51					0,51
Densitet vannmettet - ρ _{SSP} (kg/m ³)	2271	2268	2257	2268					2266
Kapillaritetstallet k [kg/m ² s ^{0.5}]	0,0197	0,0217	0,0198	0,0207					0,0205
Motstandstallet m [s/mm ²]	130,68	114,24	137,39	121,67					126,0
Q _{kap}	4,83	5,00	5,06	4,97					
Rot t _{kap}	245,8	230,9	255,5	240,5					
t _{kap}	60405,9	53299,2	65291,1	57821,7					

V8.39. Kapillærsug og porøsitet. Avkappa bitar utført i 2015 etter lagring i ferskvatn sidan 2010. Prøve 15 (resept 3, M40S).

Plateprøver (A4)

Kapillærsug/porøsitet – 50 mm terningar eksponert i Grøft A i 5,5 år



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
 Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF

Side 1 av 2

Oppdragsnr. 6150018-12

Utført dato 23.11-02.12.2015

Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen
 Felt 1, Grøft A

Prøve er merket: 50mm terning-12A til 12F
 Prøvens alder: 04.03.2010

Start forsøk: dato: 23.11.2015 tid (tt:mm): 09:30 Trykkmetning: Start-30.11.2015, kl.10:30 Slutt-02.12.2015, kl.09:40

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket						
			12A	12B	12C	12D	12E	12F	
23.11.15	09:30	Initiell vekt - g_0							
		Vannlagring - g	256,23	252,28	209,91	251,55	261,08	258,08	
30.11.15	09:30	1 uke vannsug - g	282,29	277,05	229,83	277,3	288,08	285,06	
		2 uker vannsug - g							
		3 uker vannsug - g							
30.11.15	10:30	Vannmetning (luft) - g_4	282,29	277,05	229,82	277,3	288,08	285,06	
		Vannmetning (vann) - g_5	151,13	148,2	123,11	148,61	153,94	152,74	
02.12.15	09:48	Trykkmetting (luft) - g_6	292,78	288,04	239,31	287,44	299,02	294,79	
02.12.15	09:56	Trykkmetting (vann) - g_7	161,46	159,1	132,41	158,59	164,66	162,2	
		Tørring - g_3	256,23	252,28	209,91	251,55	261,08	258,08	
Mål		sidekant a / diameter d (mm)	47,0	47,0	47,5	47,1	49,8	48,5	
		sidekant b (mm)	48,0	46,5	46,7	47,5	49,9	50,3	
		høyde (mm)	53,8	53,4	45,6	52,8	53,6	52,4	
For utregninger, se formler på side 2									
Prøvestykkets volum - V_3 (cm ³)			131,32	128,94	106,9	128,85	134,36	132,59	
Densitet faststoff - ρ_s (kg/m ³)			2704	2707	2709	2706	2708	2692	
Sug porøsitet - p_s (%)			19,84 %	19,21 %	18,62 %	19,98 %	20,10 %	20,35 %	
Makro porøsitet - p_m (%)			7,99 %	8,52 %	8,88 %	7,87 %	8,14 %	7,34 %	
Total porøsitet - p_t (%)			27,83 %	27,73 %	27,50 %	27,85 %	28,24 %	27,69 %	
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Beregnet w/c etter Powers			1,02	0,94	0,88	1,04	1,05	1,09	

V8.40. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 12 (resept 1, M45S+P).

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2
Oppdragsnr. 6150018-13 Utført dato 23.11-02.1.2015 Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: 50mm terning-13A til 13F
Felt 2, Grøft A Provens alder: 05.03.2010

Start forsøk: dato: 23.11.2015 tid (ttmm): 09:30 Trykkmetning: Start-30.11.2015, kl.10:30 Slutt-02.12.2015, kl.09:40

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket							
			13A	13B	13C	13D	13E	13F		
23.11.15	09:30	Initiell vekt - g₀								
		Vannlagring - g	274,53	280,59	225,72	261,03	264,50	269,61		
30.11.15	09:40	1 uke vannsug - g	300,13	305,60	246,01	284,76	289,26	294,71		
		2 uker vannsug - g								
		3 uker vannsug - g								
30.11.15	10:30	Vannmetning (luft) - g₄	300,13	305,60	246,01	284,76	289,26	294,71		
		Vannmetning (vann) - g₅	164,13	167,27	133,94	155,68	157,48	160,94		
02.12.15	09:49	Trykkmetting (luft) - g₆	308,41	314,45	254,04	292,78	297,71	302,87		
02.12.15	09:58	Trykkmetting (vann) - g₇	172,29	175,92	141,88	163,56	165,89	168,90		
		Torking - g₃	274,53	280,59	225,72	261,03	264,50	269,61		
Mål		sidekant a / diameter d (mm)	48,5	50,0	47,2	47,2	47,4	48,0		
		sidekant b (mm)	48,1	49,3	50,3	47,4	47,2	48,1		
		høyde (mm)	53,9	54,2	43,2	52,9	54,3	53,6		
For utregninger, se formler på side 2										
Prøvestykkets volum - V ₃ (cm ³)			136,12	138,53	112,16	129,22	131,82	133,97		
Densitet faststoff - ρ _s (kg/m ³)			2685	2681	2692	2678	2682	2677		
Sug porøsitet - p _s (%)			18,81 %	18,05 %	18,09 %	18,36 %	18,78 %	18,74 %		
Makro porøsitet - p _m (%)			6,08 %	6,39 %	7,16 %	6,21 %	6,41 %	6,09 %		
Total porøsitet - p _t (%)			24,89 %	24,44 %	25,25 %	24,57 %	25,19 %	24,83 %		
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beregnet v/c etter Powers			0,90	0,82	0,82	0,85	0,89	0,89		

V8.41. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 13 (resept 2, M45P).

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2
Oppdragsnr. 6150018-14 Utført dato 25.11-04.12.2015 Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: 50mm terning-14A til 14F
Felt 3, Grøft A Provens alder: 05.03.2010

Start forsøk: dato: 25.11.2015 tid (ttmm): 09:10 Trykkmetning: Start-02.12.2015, kl.13:05 Slutt-04.12.2015, kl.12:35

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket							
			14A	14B	14C	14D	14E	14F		
25.11.15	09:10	Initiell vekt - g₀								
		Vannlagring - g	267,95	258,30	258,34	290,03	296,62	288,05		
02.12.15	09:15	1 uke vannsug - g	292,09	280,73	281,53	314,77	322,48	312,77		
		2 uker vannsug - g								
		3 uker vannsug - g								
02.12.15	10:05	Vannmetning (luft) - g₄	292,09	280,73	281,53	314,77	322,48	312,77		
		Vannmetning (vann) - g₅	164,63	158,66	158,31	177,27	181,03	176,31		
04.12.15	12:35	Trykkmetting (luft) - g₆	296,50	285,22	286,06	320,07	328,06	317,69		
04.12.15	12:45	Trykkmetting (vann) - g₇	168,81	163,03	162,82	182,54	186,54	181,13		
		Torking - g₃	267,95	258,30	258,34	290,03	296,62	288,05		
Mål		sidekant a / diameter d (mm)	49,8	49,7	48,3	50,8	50,5	50,5		
		sidekant b (mm)	50,3	47,9	46,3	49,4	51,0	49,6		
		høyde (mm)	53,6	53,6	53,7	53,7	53,7	53,9		
For utregninger, se formler på side 2										
Prøvestykkets volum - V ₃ (cm ³)			127,69	122,19	123,24	137,53	141,52	136,56		
Densitet faststoff - ρ _s (kg/m ³)			2703	2711	2705	2698	2695	2694		
Sug porøsitet - p _s (%)			18,91 %	18,36 %	18,82 %	17,99 %	18,27 %	18,10 %		
Makro porøsitet - p _m (%)			3,45 %	3,67 %	3,68 %	3,85 %	3,94 %	3,60 %		
Total porøsitet - p _t (%)			22,36 %	22,03 %	22,49 %	21,84 %	22,22 %	21,70 %		
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beregnet v/c etter Powers			0,91	0,85	0,90	0,81	0,84	0,82		

V8.42. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 14 (resept 3, M40S).

Kapillærsug/porøsitet – eksponert i Grøft B i 5,5 år.



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2

Oppdragsnr. 6150018-15 Utført dato 01.06-10.06.2016 Signatur BMG

rosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: 50mm terning-15A til 15F
Felt 1, Grøft B Prøvens alder: 04.03.2010

tart forsøk: dato: 01.06.2016 tid (tt:mm): 12:40 Trykkmetning: Start-08.06.2016, kl.13:15 Slutt-10.06.2016, kl.13:15

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket							
			15A	15B	15C	15D	15E	15F		
01.06.16	12:40	Initiell vekt - g_0								
		Vannlagring - g	204,34	192,35	204,31	201,62	172,96	149,62		
08.06.16	12:38	1 uke vannsug - g	222,52	209,38	223,47	221,18	190,77	165,41		
		2 uker vannsug - g								
		3 uker vannsug - g								
08.06.16	12:38	Vannmetning (luft) - g_1	222,52	209,38	223,47	221,18	190,77	165,41		
		Vannmetning (vann) - g_5	120,00	112,83	119,71	118,52	101,92	88,50		
10.06.16	12:36	Trykkmetting (luft) - g_6	231,29	217,56	232,6	229,59	197,65	170,96		
		Trykkmetting (vann) - g_7								
		Tørring - g_3	204,34	192,35	204,31	201,62	172,96	149,62		
Mål		sidekant a / diameter d (mm)								
		sidekant b (mm)								
		høyde (mm)								
For utregninger, se formler på side 2										
Prøvestykkets volum - V_3 (cm ³)			102,52	96,55	103,76	102,66	88,85	76,91		
Densitet faststoff - ρ_s (kg/m ³)			2704	2696	2707	2699	2696	2692		
Sug porøsitet - p_s (%)			17,73 %	17,64 %	18,47 %	19,05 %	20,05 %	20,53 %		
Makro porøsitet - p_m (%)			8,55 %	8,47 %	8,80 %	8,19 %	7,74 %	7,22 %		
Total porøsitet - p_t (%)			26,29 %	26,11 %	27,26 %	27,25 %	27,79 %	27,75 %		
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beregnet w/c etter Powers			0,79	0,78	0,86	0,92	1,05	1,12		

V8.43. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 15 (resept 1, M45S+P).



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet
Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2

Oppdragsnr. 6150018-16 Utført dato 01.06-10.06.2016 Signatur BMG

rosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: 50mm terning-16A til 16F
Felt 2, Grøft B Prøvens alder: 05.03.2010

tart forsøk: dato: 01.06.2016 tid (tt:mm): 12:43 Trykkmetning: Start-08.06.2016, kl.13:15 Slutt-10.06.2016, kl.13:15

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket							
			16A	16B	16C	16D	16E	16F		
01.06.16	12:43	Initiell vekt - g_0								
		Vannlagring - g	238,05	204,79	205,92	200,99	199,90	201,21		
08.06.16	12:43	1 uke vannsug - g	258,17	222,59	223,46	219,31	219,37	220,83		
		2 uker vannsug - g								
		3 uker vannsug - g								
08.06.16	12:43	Vannmetning (luft) - g_1	258,17	222,59	223,46	219,31	219,37	220,83		
		Vannmetning (vann) - g_5	141,62	121,70	122,83	120,05	119,39	120,45		
10.06.16	12:39	Trykkmetting (luft) - g_6	265,61	229,02	229,82	225,22	225,01	226,22		
		Trykkmetting (vann) - g_7								
		Tørring - g_3	238,05	204,79	205,92	200,99	199,90	201,21		
Mål		sidekant a / diameter d (mm)								
		sidekant b (mm)								
		høyde (mm)								
For utregninger, se formler på side 2										
Prøvestykkets volum - V_3 (cm ³)			116,55	100,89	100,63	99,26	99,98	100,38		
Densitet faststoff - ρ_s (kg/m ³)			2675	2671	2684	2679	2670	2670		
Sug porøsitet - p_s (%)			17,26 %	17,64 %	17,43 %	18,46 %	19,47 %	19,55 %		
Makro porøsitet - p_m (%)			6,38 %	6,37 %	6,32 %	5,95 %	5,64 %	5,37 %		
Total porøsitet - p_t (%)			23,65 %	24,02 %	23,75 %	24,41 %	25,12 %	24,92 %		
Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beregnet w/c etter Powers			0,75	0,78	0,76	0,86	0,97	0,98		

V8.44. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 16 (resept 2, M45P).

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, utvidet PF Side 1 av 2
Oppdragsnr. 6150018-17 Utført dato 01.06-10.06.2016 Signatur BMG

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen Prøve er merket: 50mm terning-17A til 17F
Felt 3, Grøft B Prøvens alder: 05.03.2010

Start forsøk: dato: 01.06.2016 tid (tt:mm): 12:45 Trykkmetning: Start-08.06.2016, kl.13:15 Slutt-10.06.2016, kl.13:15

Dato	Kl	Vekt (0,01 g) etter:	Prøvestykket merket						
			17A	17B	17C	17D	17E	17F	
01.06.16	12:45	Initiell vekt - g₀							
		Vannlagring - g	236,04	206,08	204,14	201,89	201,69	189,80	
08.06.16	12:50	1 uke vannsug - g	255,89	223,20	221,34	218,7	219,06	206,45	
		2 uker vannsug - g							
		3 uker vannsug - g							
08.06.16	12:50	Vannmetning (luft) - g₄	255,89	223,20	221,34	218,70	219,06	206,45	
		Vannmetning (vann) - g₅	143,89	126,04	125,14	123,26	123,82	116,71	
10.06.16	12:42	Trykkmetting (luft) - g₆	260,43	226,78	224,84	222,49	222,25	209,03	
		Trykkmetting (vann) - g₇							
		Tørring - g₃	236,04	206,08	204,14	201,89	201,69	189,80	
Mål		sidekant a / diameter d (mm)							
		sidekant b (mm)							
		høyde (mm)							
For utregninger, se formler på side 2									
		Prøvestykkets volum - V _s (cm ³)	112,00	97,16	96,2	95,44	95,24	89,74	
		Densitet faststoff - ρ _s (kg/m ³)	2694	2695	2704	2698	2701	2692	
		Sug porøsitet - p _s (%)	17,72 %	17,62 %	17,88 %	17,61 %	18,24 %	18,55 %	
		Makro porøsitet - p _m (%)	4,05 %	3,68 %	3,64 %	3,97 %	3,35 %	2,87 %	
		Total porøsitet - p _t (%)	21,78 %	21,31 %	21,52 %	21,58 %	21,59 %	21,43 %	
		Kapillær vannmetningsgrad - DS (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Beregnet w/c etter Powers	0,79	0,78	0,80	0,78	0,84	0,87	

V8.45. Kapillærsug og porøsitet i 50 mm terningar. Plateprøve. Prøve 17 (resept 3, M40S).

Kloridinntrenging – plateprøver eksponert i Grøft A i 5,5 år. Gjennomsnitt av kvar 50 mm terning er brukt i kapittel 3.4.5.

Resept 1 (M45S+P):

Oppdragsnr.:		6150018-12	Utført dato:	17.11.2015	Signatur:	TROLOR
<p>Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser</p> <p>210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering</p>						
Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12G / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010	

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12G-1	0	5	2,5	0,83	
12G-2	5	10	7,5	1,23	
12G-3	10	15	12,5	1,33	
12G-4	15	20	17,5	1,22	
12G-5	20	25	22,5	1,21	
12G-6	25	30	27,5	1,07	
12G-7	30	35	32,5	0,96	
12G-8	35	40	37,5	0,93	

V8.46. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12G, mot botnen av grøfta (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboriet / Regionlaboriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-12	Utført dato:	17.11.2015	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12H / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12H-1	0	5	2,5	0,89	
12H-2	5	10	7,5	0,93	
12H-3	10	15	12,5	0,89	
12H-4	15	20	17,5	0,83	
12H-5	20	25	22,5	0,86	
12H-6	25	30	27,5	0,83	
12H-7	30	35	32,5	0,81	
12H-8	35	40	37,5	0,80	

V8.47. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12H (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboriet / Regionlaboriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-12	Utført dato:	27.11.2015	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12I / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12I-1	0	5	2,5	0,75	
12I-2	5	10	7,5	0,79	
12I-3	10	15	12,5	0,69	
12I-4	15	20	17,5	0,75	
12I-5	20	25	22,5	0,73	
12I-6	25	30	27,5	0,73	
12I-7	30	35	32,5	0,74	
12I-8	35	40	37,5	0,73	

V8.48. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12I (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-12	Utført dato:	01.12.2015	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12J / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12J-1	0	5	2,5	0,72	
12J-2	5	10	7,5	0,81	
12J-3	10	15	12,5	0,77	
12J-4	15	20	17,5	0,79	
12J-5	20	25	22,5	0,84	
12J-6	25	30	27,5	0,79	
12J-7	30	35	32,5	0,80	
12J-8	35	40	37,5	0,85	

V8.49. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12J (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-12	Utført dato:	09.12.2015	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12K / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12K-1	0	5	2,5	0,78	
12K-2	5	10	7,5	0,74	
12K-3	10	15	12,5	0,71	
12K-4	15	20	17,5	0,68	
12K-5	20	25	22,5	0,65	
12K-6	25	30	27,5	0,63	
12K-7	30	35	32,5	0,61	
12K-8	35	40	37,5	0,61	

V8.50. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12K (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-12	Utført dato:	17.12.2015	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 1, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 12L / B35M45 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
12L-1	0	5	2,5	0,52	
12L-2	5	10	7,5	0,51	
12L-3	10	15	12,5	0,50	
12L-4	15	20	17,5	0,54	
12L-5	20	25	22,5	0,65	
12L-6	25	30	27,5	0,73	
12L-7	30	35	32,5	0,81	
12L-8	35	45	40,0	0,80	Siste prøvestykke ble knust

V8.51. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 12L, referanse over vatn (resept 1, M45S+P).

Resept 2 (M45P):

Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	08.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13G / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13G-1	0	5	2,5	0,72	0,65
13G-2	5	10	7,5	0,82	
13G-3	10	15	12,5	0,72	
13G-4	15	20	17,5	0,63	
13G-5	20	25	22,5	0,58	
13G-6	25	30	27,5	0,60	
13G-7	30	35	32,5	0,58	
13G-8	35	45	40,0	0,56	

V8.52. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13G, mot botnen av grøfta (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	13.10.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13H / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13H-1	0	5	2,5	0,56	0,61
13H-2	5	10	7,5	0,55	
13H-3	10	15	12,5	0,58	
13H-4	15	20	17,5	0,66	
13H-5	20	25	22,5	0,63	
13H-6	25	30	27,5	0,63	
13H-7	30	35	32,5	0,62	
13H-8	35	45	40,0	0,63	

V8.53. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13H (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	18.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13I / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13I-1	0	5	2,5	0,62	0,64
13I-2	5	10	7,5	0,60	
13I-3	10	15	12,5	0,60	
13I-4	15	20	17,5	0,65	
13I-5	20	25	22,5	0,66	
13I-6	25	30	27,5	0,66	
13I-7	30	35	32,5	0,67	
13I-8	35	45	40,0	0,65	

V8.54. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13I (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	25.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13J / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13J-1	0	5	2,5	0,67	0,65
13J-2	5	10	7,5	0,68	
13J-3	10	15	12,5	0,66	
13J-4	15	20	17,5	0,65	
13J-5	20	25	22,5	0,67	
13J-6	25	30	27,5	0,65	
13J-7	30	35	32,5	0,64	
13J-8	35	45	40,0	0,59	

V8.55. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13J (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	26.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13K / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13K-1	0	5	2,5	0,50	0,41
13K-2	5	10	7,5	0,48	
13K-3	10	15	12,5	0,46	
13K-4	15	20	17,5	0,42	
13K-5	20	25	22,5	0,39	
13K-6	25	30	27,5	0,36	
13K-7	30	35	32,5	0,32	
13K-8	35	45	40,0	0,31	

V8.56. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13K (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-13	Utført dato:	29.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 2, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 13L / B35M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
13L-1	0	5	2,5	0,24	0,32
13L-2	5	10	7,5	0,23	
13L-3	10	15	12,5	0,25	
13L-4	15	20	17,5	0,28	
13L-5	20	25	22,5	0,32	
13L-6	25	30	27,5	0,39	
13L-7	30	40	35,0	0,51	Siste prøvestykke ble knust

V8.57. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 13L, referanse over vatn (resept 2, M45P).

Resept 3 (M40S):

Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	18.04.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14G / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14G-1	0	5	2,5	0,44	0,50
14G-2	5	10	7,5	0,57	
14G-3	10	15	12,5	0,54	
14G-4	15	20	17,5	0,48	
14G-5	20	25	22,5	0,47	
14G-6	25	30	27,5	0,49	
14G-7	30	35	32,5	0,51	
14G-8	35	40	37,5	0,47	

V8.58. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14G, mot botnen av grøfta (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	19.04.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14H / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14H-1	0	5	2,5	0,46	0,46
14H-2	5	10	7,5	0,48	
14H-3	10	15	12,5	0,47	
14H-4	15	20	17,5	0,47	
14H-5	20	25	22,5	0,44	
14H-6	25	30	27,5	0,45	
14H-7	30	35	32,5	0,45	
14H-8	35	40	37,5	0,44	

V8.59. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14H (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	25.04.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14I / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14I-1	0	5	2,5	0,41	0,44
14I-2	5	10	7,5	0,44	
14I-3	10	15	12,5	0,42	
14I-4	15	20	17,5	0,44	
14I-5	20	25	22,5	0,44	
14I-6	25	30	27,5	0,46	
14I-7	30	35	32,5	0,47	
14I-8	35	40	37,5	0,43	

V8.60. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14I (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	26.04.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14J / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14J-1	0	5	2,5	0,47	0,45
14J-2	5	10	7,5	0,49	
14J-3	10	15	12,5	0,46	
14J-4	15	20	17,5	0,47	
14J-5	20	25	22,5	0,46	
14J-6	25	30	27,5	0,45	
14J-7	30	35	32,5	0,45	
14J-8	35	40	37,5	0,33	

V8.61. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14J (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	26.04.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14K / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14K-1	0	5	2,5	0,40	0,37
14K-2	5	10	7,5	0,44	
14K-3	10	15	12,5	0,42	
14K-4	15	20	17,5	0,37	
14K-5	20	25	22,5	0,37	
14K-6	25	30	27,5	0,34	
14K-7	30	35	32,5	0,31	
14K-8	35	40	37,5	0,30	

V8.62. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14K (resept 3, M40S).

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-14	Utført dato:	06.05.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 14L / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
14L-1	0	5	2,5	0,25	0,30
14L-2	5	10	7,5	0,25	
14L-3	10	15	12,5	0,26	
14L-4	15	20	17,5	0,26	
14L-5	20	25	22,5	0,34	
14L-6	25	30	27,5	0,44	Siste prøvestykke ble knust

V8.63. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft A. Terningprøve 14L, referanse over vatn (resept 3, M40S).

Kloridinntrenging – plateprøver eksponert i Grøft B i 5,5 år. Gjennomsnitt av kvar 50 mm terning er brukt i kapittel 3.4.5.

Resept 1 (M45S+P):

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	27.04.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15G / B35 M45 S	Støpedato:	04.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15G-1	0	5	2,5	0,69	0,98
15G-2	5	10	7,5	1,10	
15G-3	10	15	12,5	1,19	
15G-4	15	20	17,5	1,12	
15G-5	20	25	22,5	1,03	
15G-6	25	30	27,5	0,97	
15G-7	30	35	32,5	0,88	
15G-8	35	40	37,5	0,84	

V8.64. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15G, mot botnen av grøfta vatn (resept 1, M45S+P).

**210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering**

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	27.04.2016	Signatur:
--------------	------------	--------------	------------	-----------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15H / B35 M45 S	Støpedato:
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15H-1	0	5	2,5	0,68	0,70
15H-2	5	10	7,5	0,74	
15H-3	10	15	12,5	0,73	
15H-4	15	20	17,5	0,68	
15H-5	20	25	22,5	0,70	
15H-6	25	30	27,5	0,72	
15H-7	30	35	32,5	0,69	
15H-8	35	40	37,5	0,66	

V8.65. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15H (resept 1, M45S+P).

**210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering**

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	28.04.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15I / B35 M45 S	Støpedato:	04.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15I-1	0	5	2,5	0,24	0,42
15I-2	5	10	7,5	0,80	
15I-3	10	15	12,5	0,77	
15I-4	15	20	17,5	0,55	
15I-5	20	25	22,5	0,35	
15I-6	25	30	27,5	0,25	
15I-7	30	35	32,5	0,36	

V8.66. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15I (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	29.04.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15J / B35 M45 S	Støpedato:	04.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15J-1	0	5	2,5	0,33	0,35
15J-2	5	10	7,5	0,40	
15J-3	10	15	12,5	0,39	
15J-4	15	20	17,5	0,39	
15J-5	20	25	22,5	0,36	
15J-6	25	30	27,5	0,33	
15J-7	30	35	32,5	0,31	
15J-8	35	40	37,5	0,30	

V8.67. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15J (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	30.04.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15K / B35 M45 S	Støpedato:	04.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15K-1	0	5	2,5	0,23	0,23
15K-2	5	10	7,5	0,26	
15K-3	10	15	12,5	0,24	
15K-4	15	20	17,5	0,22	
15K-5	20	25	22,5	0,22	
15K-6	25	30	27,5	0,20	
15K-7	30	35	32,5	0,21	
15K-8	35	40	37,5	0,22	

V8.68. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15K (resept 1, M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-15	Utført dato:	02.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 1, Grøft B	Prøve/Resept:	15L / B35 M45 S	Støpedato:	04.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
15L-1	0	5	2,5	0,32	0,30
15L-2	5	10	7,5	0,31	
15L-3	10	15	12,5	0,32	
15L-4	15	20	17,5	0,31	
15L-5	20	25	22,5	0,33	
15L-6	25	30	27,5	0,33	
15L-7	30	35	32,5	0,32	
15L-8	35	40	37,5	0,28	
15L-9	40	50	45,0	0,14	

V8.69. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 15L, referanse over vatn (resept 1, M45S+P).

Resept 2 (M45P):

Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	03.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16G / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16G-1	0	5	2,5	0,76	0,77
16G-2	5	10	7,5	0,95	
16G-3	10	15	12,5	0,92	
16G-4	15	20	17,5	0,82	
16G-5	20	25	22,5	0,78	
16G-6	25	30	27,5	0,68	
16G-7	30	35	32,5	0,62	
16G-8	35	40	37,5	0,62	

V8.70. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16G, mot botnen av grøfta (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	04.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16H / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16H-1	0	5	2,5	0,56	0,59
16H-2	5	10	7,5	0,59	
16H-3	10	15	12,5	0,61	
16H-4	15	20	17,5	0,59	
16H-5	20	25	22,5	0,60	
16H-6	25	30	27,5	0,59	
16H-7	30	35	32,5	0,60	
16H-8	35	40	37,5	0,61	

V8.71. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16H (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	04.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16I / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16I-1	0	5	2,5	0,59	0,56
16I-2	5	10	7,5	0,58	
16I-3	10	15	12,5	0,59	
16I-4	15	20	17,5	0,58	
16I-5	20	25	22,5	0,53	
16I-6	25	30	27,5	0,51	
16I-7	30	35	32,5	0,53	
16I-8	35	40	37,5	0,54	

V8.72. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16I (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	06.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16J / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16J-1	0	5	2,5	0,25	0,17
16J-2	5	10	7,5	0,22	
16J-3	10	15	12,5	0,20	
16J-4	15	20	17,5	0,18	
16J-5	20	25	22,5	0,14	
16J-6	25	30	27,5	0,14	
16J-7	30	35	32,5	0,12	
16J-8	35	40	37,5	0,11	

V8.73. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16J (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	07.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16K / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16K-1	0	5	2,5	0,08	0,07
16K-2	5	10	7,5	0,08	
16K-3	10	15	12,5	0,08	
16K-4	15	20	17,5	0,06	
16K-5	20	25	22,5	0,07	
16K-6	25	30	27,5	0,08	
16K-7	30	35	32,5	0,06	
16K-8	35	40	37,5	0,06	

V8.74. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16K (resept 2, M45P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.433 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-16	Utført dato:	10.05.2016	Signatur:	Benteg
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Oslofjordtunnelen, felt 2, Grøft B	Prøve/Resept:	16L / B35 M45 P	Støpedato:	05.03.2010
-----------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
16L-1	0	5	2,5	0,07	0,12
16L-2	5	10	7,5	0,08	
16L-3	10	15	12,5	0,09	
16L-4	15	20	17,5	0,09	
16L-5	20	25	22,5	0,09	
16L-6	25	35	30,0	0,27	

V8.75. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 16L, referanse over vatn (resept 2, M45P).

Resept 3 (M40S):

Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	08.01.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft B	Prøve/Resept:	Prøve 17G / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17G-1	0	5	2,5	0,85	0,77
17G-2	5	10	7,5	1,00	
17G-3	10	15	12,5	0,97	
17G-4	15	20	17,5	0,88	
17G-5	20	25	22,5	0,75	
17G-6	25	30	27,5	0,65	
17G-7	30	35	32,5	0,56	
17G-8	35	45	40,0	0,53	

V8.76. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17G, mot botnen av grøfta (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	17.02.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft B	Prøve/Resept:	Prøve 17H / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17H-1	0	5	2,5	0,51	0,51
17H-2	5	10	7,5	0,52	
17H-3	10	15	12,5	0,51	
17H-4	15	20	17,5	0,49	
17H-5	20	25	22,5	0,52	
17H-6	25	30	27,5	0,52	
17H-7	30	35	32,5	0,50	
17H-8	35	45	40,0	0,49	

V8.77. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17H (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	20.02.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft B	Prøve/Resept:	Prøve 17I / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17I-1	0	5	2,5	0,50	0,47
17I-2	5	10	7,5	0,49	
17I-3	10	15	12,5	0,54	
17I-4	15	20	17,5	0,48	
17I-5	20	25	22,5	0,47	
17I-6	25	30	27,5	0,44	
17I-7	30	35	32,5	0,41	
17I-8	35	45	40,0	0,41	

V8.78. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17I (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	29.02.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft B	Prøve/Resept:	Prøve 17J / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17J-1	0	5	2,5	0,31	0,30
17J-2	5	10	7,5	0,33	
17J-3	10	15	12,5	0,31	
17J-4	15	20	17,5	0,31	
17J-5	20	25	22,5	0,33	
17J-6	25	30	27,5	0,28	
17J-7	30	35	32,5	0,28	
17J-8	35	45	40,0	0,27	

V8.79. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17J (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	02.03.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft B	Prøve/Resept:	Prøve 17K / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17K-1	0	5	2,5	0,23	0,24
17K-2	5	10	7,5	0,25	
17K-3	10	15	12,5	0,25	
17K-4	15	20	17,5	0,24	
17K-5	20	25	22,5	0,24	
17K-6	25	30	27,5	0,23	
17K-7	30	35	32,5	0,23	
17K-8	35	45	40,0	0,22	

V8.80. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17K (resept 3, M40S).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering

Oppdragsnr.:	6150018-17	Utført dato:	04.03.2016	Signatur:	TROLOR
--------------	------------	--------------	------------	-----------	--------

Prosjekt:	Varig konstruksjoner - Oslofjordtunnelen felt 3, Grøft A	Prøve/Resept:	Prøve 17L / B35M40 S	Støpedato:	05.03.2010
-----------	--	---------------	----------------------	------------	------------

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
17L-1	0	5	2,5	0,22	0,31
17L-2	5	10	7,5	0,25	
17L-3	10	15	12,5	0,26	
17L-4	15	20	17,5	0,27	
17L-5	20	25	22,5	0,31	
17L-6	25	30	27,5	0,40	
17L-7	30	40	35,0	0,49	

V8.81. Kloridinnhold i plateprøve i Grøft B. Terningprøve 17L, referanse over vatn (resept 3, M40S).

Terningar eksponert i saltpåverka tunnelluft i 5,5 år.

Trykkstyrke – terningprøver



Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-1

Utført dato 20.11.2015

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 1	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Terninger	STØPEDATO: 04.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
2A*	2065,9	1080,5	2097	100,1	99,1	100,1	645,7	64,6	
2B	2107,5	1105,9	2104	100,1	100,1	101,1	519,5	51,9	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Dårlig utstøpt

*Utboret støv til kloridanalyse(2 hull av ca.10mm)

V8.82. Trykkstyrke i 100 mm terningar. Resept 1 M45S+P.



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-2

Utført dato 20.11.2015

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 2	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDELNR.:
KONSTRUKSJON: Terninger	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M45P

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
4A	2136,4	1154,5	2177	100,6	98,1	100,2	716,8	72,6	
6A*	2195,1	1201,8	2210	100,8	100,4	100,3	796,7	78,7	

Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Dårlig utstøpt

*Utboret støv til kloridanalyse(2 hull av ca.10mm)

V8.83. Trykkstyrke i 100 mm terningar. Resept 2 M45P (delprøve 4A er ikkje sikkert identifisert).



Statens vegvesen

Region Øst
Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

14.631 Trykkfasthet, terning og sylinder

Oppdragsnr. 6150018-3

Utført dato 20.11.2015

Signatur KBK

PROSJEKTNR.: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 3	LEVERANDØR:
BYGGEPLASS:	RESEPTNR.:
ENTREPRENØR:	FØLGESEDDELNR.:
KONSTRUKSJON: Terninger	STØPEDATO: 05.03.2010
	SIGN.:

Fasthet- og bestandighetsklasse: B35 M40S

Dmaks: Synk: Luft: Bet.temp.: °C Lufttemp.: °C

Prøving av trykkfasthet

Prøve nr.	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Trykkflate		Høyde mm	Bruddlast kN	Trykkfasthet MPa	Gj.snitt trykkfasthet MPa
				Ø(mm) a (mm)	Ø(mm) b (mm)				
7A	2105,9	1132,6	2164	100,8	97,8	100,2	796,9	80,8	
7B	2170,6	1172,1	2173	100,1	100,5	100,2	792,4	78,0	
8A	2105,4	1111,6	2110	100,2	99,6	100,1	657,5	65,9	
8B	2106,6	1106,7	2107	99,8	101,2	100,2	670,0	66,3	
9A	2235,9	1257,8	2286	100,6	98,5	100,5	921,5	93,0	
9B*	2234,9	1245,9	2260	100,5	100,4	100,1	904,2	89,6	


Merknader (bøyningsbruddets karakter, uregelmessigheter ved prøvestykkene, m.v.):

Dårlig utstøpt


*Utboret støv til kloridanalyse(2 hull av ca.10mm)

V8.84. Trykkstyrke i 100 mm terningar. Prøve 9A & 9B er sikkert identifisert som resept 3 M40S. Prøve 7A og 7B er i lys av fiberinnholdet resept 2 (M45P), sjå V8.87.

Fiberinnhold – terningprøver

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong							
Oppdragsnr:	6150018-1	23.11.2015	Signatur: KBK				
Prosjekt:	Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen, felt 1, grøft A						
Resept:	B35 M45 S						
Støpedato:	04.03.2010 (terninger)						
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
1	2A stål	2065,700	1080,500	0,99	2097,16	27,30	27,72
1	2A plast	2065,700	1080,500	0,99	2097,16	2,67	2,71
1	2B stål	2107,500	1105,900	1,00	2103,29	30,69	30,63
1	2B plast	2107,500	1105,900	1,00	2103,29	2,97	2,96
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							16,00
Merknader:							

V8.85. Fiberinnhold i 100 mm terningar. Resept 1 M45P.

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser					
NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong							
Oppdragsnr:	6150018-2	23.11.2015	Signatur: KBK				
Prosjekt:	Varige konstruksjoner, Oslofjordtunellen felt 2, grøft A						
Resept:	B35 M45 P						
Støpedato:	04.03.2010 (terninger)						
Type fiber:							
Tilsiktet dosering:							
Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
2	4A stål	2136,400	1154,500	0,98	2175,56	2,10	2,14
2	4A plast	2136,400	1154,500	0,98	2180,00	1,97	2,01
2	6B stål	2195,100	1201,800	0,99	2217,27	8,90	8,99
2	6B plast	2195,100	1201,800	0,99	2217,27	2,04	2,06
Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m ³):							
Merknader:							

V8.86 Fiberinnhold i 100 mm terningar. Sannsynlegvis resept 2 M45P.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

NB7/NS-EN 14488-7 Bestemmelse av fiberinnhold i herdet sprøytebetong

Oppdragsnr: 6150018-3 23.11.2015 Signatur: KBK

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 3, grøft A
 Resept: B35 M40 S
 Støpedato: 04.03.2010 (terninger)
 Type fiber:
 Tilsiktet dosering:

Prøve nr	Prøve merket	Vekt i luft (g)	Vekt i vann (g)	Volum (l)	Densitet (kg/m ³)	Fiber (g)	Fiberinnhold (kg/m ³)
3	7A stål	2105,900	1132,600	0,97	2171,03	0,64	0,66
3	7A plast	2105,900	1132,600	0,97	2171,03	2,29	2,36
3	7B stål	2170,600	1172,100	1,00	2166,27	0,59	0,59
3	7B plast	2170,600	1172,100	1,00	2166,27	1,29	1,29

Gjennomsnittlig fiberinnhold (kg/m³):

Merknader:

V8.87. Fiberinnhold i 100 mm terningar var tolka som resept 3 (M40S), men er må vere resept 2 (M45P).

Elektrisk motstand – terningprøver

Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-1 Utført dato 20.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt1 Resept: B35 M45 Stål

Støpedato: 04.03.2010 Tidspunkt:

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 17,5°C

Prøve	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
1-2A	Terning		20.11.2015	08:50				4783	8,878
1-2B*	Terning		20.11.2015	08:55				4845	

*Tatt ut pulver til kloridtest

V8.88. Elektrisk motstand i 100 mm terning. Usikker identifisering av resept på grunn av borttæra prøvenummer.



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-2 Utført dato 20.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt2 Resept: B35 M45 Plast

Støpedato: 05.03.2010 Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.

Vann: 17,5°C

Prove	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
2-4A	Terning		20.11.2015	08:55				5610	5,8541
2-6A*	Terning		20.11.2015	09:00				5780	

*Tatt ut pulver til kloridtest

V8.89. Elektrisk motstand i 100 mm terning. Resept 1 (M45S+P).



Statens vegvesen

Region Øst

Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

Herdet betong - Elektrisk motstand

Oppdragsnr. 6150018-3 Utført dato 20.11.2015 Signatur Benteg

Prosjekt: Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt3 Resept: B35 M40 Stål

Støpedato: 05.03.2010 Tidspunkt: _____

Temperatur - Luft: 22°C Avlesning etter: 60 sek.


Vann: 17,5°C

Prove	Type prøvestykke	a*b (Ø) Høyde	Dato	Tidspunkt hh:mm	Vekt i luft g	Vekt i vann g	Densitet kg/m ³	Motstand Ω	Kortslutning Ω
3-7A	Terning		20.11.2015	09:00				6501	5,841
3-7B	Terning		20.11.2015	09:05				6369	
3-8A	Terning		20.11.2015	09:05				4216	
3-8B	Terning		20.11.2015	09:10				4031	
3-9A	Terning		20.11.2015	09:10				4321	
3-9B*	Terning		20.11.2015	09:15				5530	5,339

*Tatt ut pulver til kloridtest


V8.90. Elektrisk motstand i 100 mm terning. Usikker identifisering av resept på grunn av borttæra prøvenummer.

Kloridinntrenging – terningprøver

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser			
		210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering			
Oppdragsnr.:	6150018-1	Utført dato:	17.11.2015	Signatur:	Benteg
Prosjekt:	Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 1	Prøve/Resept:	2A / B35 M45 Stål	Støpedato:	04.03.2010


Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
1	10	10	10,0	0,21	Utboret fra terning, 10mm inn

V8.91. Kloridinnhold i ytre 10 mm. Resept 1 (M45S+P).

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser			
		210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering			
Oppdragsnr.:	6150018-2	Utført dato:	17.11.2015	Signatur:	Benteg
Prosjekt:	Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 2	Prøve/Resept:	6A / B35 M45 Plast	Støpedato:	05.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
2	10	10	10,0	0,12	Utboret fra terning, 10mm inn

V8.92. Kloridinnhold i ytre 10 mm. Resept 2 (M45P).

 Statens vegvesen		Region Øst Sentrallaboratoriet / Regionlaboratoriet Arbeidsskjema for laboratorieanalyser			
		210.432 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering			
Oppdragsnr.:	6150018-3	Utført dato:	17.11.2015	Signatur:	Benteg
Prosjekt:	Varige konstruksjoner, Oslofjordtunnelen, felt 3	Prøve/Resept:	9A / B35 M40 Stål	Støpedato:	05.03.2010

Prøvenr.	Sjikt (x-y mm)		Dybde	Klorider i % av betongvekten	Merknader
	x	y			
3	10	10	10,0	0,09	Utboret fra terning, 10mm inn

V8.93. Kloridinnhold i ytre 10 mm. Resept 3 (M40S).

Vedlegg 9

Analyserapportar – vatn

Vedlegg 9 – Analyserapportar – vatn



Næringsmiddelkontroll og kontroll

Nærsk-
Institutt
for
Vannforskning

Gamstalléen 21
0349 Oslo
Tel: 22 18 51 00
Fax: 22 18 52 00

ANALYSE RAPPORT

Side nr. 1/2



Navn: Statens Vegvesen, Vegdirektoratet
Adresse: Postboks 8142 Dep
033 OSLO

Deres referanse:
Per Hagelia

Vår referanse:
Rakv.nr: 2010-558
O.nr.: O 10045 0)

Dato:
11.05.2010

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Oslofjord 1-2010		2010.03.31	2010.04.06-2010.05.03
2	Oslofjord 2-2010		2010.03.31	2010.04.06-2010.05.03

Analysevariabel	Prøvenr énhet	Prøvenr Metode	Resultat	
			1	2
Burningsgrad	de	A 1-4	6,53	7,44
Konduktivitet	ns/cm	A 0-3	4660	4710
Alkalitet	mg/l	C 1	5,592	1,402
Ammonium	mg/l	D 5-1	1830	1470
Nitrat	mg/l	C 4-3	17820	17800
Sulfat	mg/l	C 4-3	3480	3480
Fluorid	mg/l	C 4-3	890	790
Karbon, organisk	mg/l	C 0-3	0,69	0,87
Kloridion	mg/l	B 0-5	<0,005	<0,005
Arsen	mg/l	B 0-5	<0,03	<0,03
Barsium	mg/l	B 0-5	0,024	0,021
Bortbitter	mg/l	B 0-5	440	417
Kadmium	mg/l	B 0-5	<0,002	<0,002
Kobolt	mg/l	B 0-5	0,003	0,002
Krom	mg/l	B 0-5	<0,003	<0,003
Kobber	mg/l	B 0-5	<0,002	<0,002
Jern	mg/l	B 0-5	0,423	0,023
Kalkium	mg/l	B 0-5	310	376
Magnesium	mg/l	B 0-5	1400	1180
Mangan	mg/l	B 0-5	1,62	1,31
Niolyden	mg/l	B 0-5*	0,008	0,045
Natrium	mg/l	B 0-5	9720	9740
Kaesium	mg/l	B 0-5	<0,05	<0,05
Qly	mg/l	B 0-5	<0,03	<0,03
Svovel	mg/l	B 0-5	892	810
Silikium	mg/l	B 0-5	1,38	0,11
Svoveldioksid	mg/l	B 0-5	0,31	7,69
Vanadium	mg/l	B 0-5	<0,002	<0,002
Zink	mg/l	B 0-5	0,008	0,007

1 = Grøft A

2 = Grøft B

* Metoden er ikke akkreditert.

Denne analyserapporten får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultater gjelder kun for den prøven som er testet.

Kommentarer

- 1 prøve 1 kom inn på fars bris flaske
- prøve 2 kom inn på fars flaske

Norsk institutt for vannforskning



Ivar Dahl
Forsker

Norsk: Gernstølløen 21
 Institutt: 0349 Oslo
 for: Tel: 22 18 51 00
 Vannforskning: Fax: 22 18 52 00

ANALYSE RAPPORT



Navn: Staten: Vegvesen, Vegdirektoratet
 Adresse: Postboks 8142 Dep
 0033 OSLO

Deres referanse:
 Pnr Hagslia

Vår referanse:
 Ref.nr. 2011-620
 Omr. O 11016/04

Dato
 30.05.2011

Provene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Provene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Provenr	Prove-merket	Provetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	OT-1-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
2	OT-2-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
3	OT-1b-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
4				

Analysevariabel	Enhet	Provenr Metode	Provenr		
			1	2	3
Surbetegnelse	pH	A 1-4	7,65	7,58	7,41
Konduktivitet	mS/m	R 2-3	4529	4433	4529
Alkalitet	mmol/l	C 1	2,451	2,520	2,239
Ammonium	µg N/l	D 5-4	1260	179	96
Klorid	mg/l	C 4-3	18800	18200	18700
Sulfat	mg/l	C 4-3	2560	2500	2550
Fluorid	µg/l	C 4-3	2000	2300	2000
Karbon, organisk	mg C/l	G 5-3	0,92	28,0	1,3
Aluminium	mg/l	E 9-5			
Aluminium	mg/l	E 9-5	<0,005	11,1	0,35
Arsen	mg/l	E 9-5			
Arsen	mg/l	E 9-5	<0,03	0,063	0,037
Barium	mg/l	E 9-5			
Barium	mg/l	E 9-5	0,020	0,436	0,026
Kalsium	mg/l	E 9-5	421	791	422
Kadmium	mg/l	E 9-5			
Kadmium	mg/l	E 9-5	<0,002	<0,002	<0,002
Kobolt	mg/l	E 9-5			
Kobolt	mg/l	E 9-5	<0,003	0,0087	0,0032
Krom	mg/l	E 9-5			
Krom	mg/l	E 9-5	<0,003	0,025	<0,003
Kobber	mg/l	E 9-5			
Kobber	mg/l	E 9-5	<0,002	0,034	0,0030
Jern	mg/l	E 9-5			
Jern	mg/l	E 9-5	1,53	238	27,5
Kalium	mg/l	E 9-5	350	300	350
Magnesium	mg/l	E 9-5	1160	1200	1170
Mangan	mg/l	E 9-5			
Mangan	mg/l	E 9-5	1,27	28,0	1,72
Molybden	mg/l	E 9-5			

1 = Rør A
 3 = Grøft A
 2 = Grøft B

Denne analysereporten 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. 2011-620

(fortsettelse av tabellen):

Provenr	Prove- merket	Prøvetaking- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	OT-1-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
2	OT-2-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
3	OT-1b-2011		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.11
4	Jonvilje-1		2011.04.15	2011.04.18-2011.05.19

Analysevariabel	Enhet	Provenr		1	2	3	4
		Metode					
Molybden	mg/l	E 3-5*		0,053	0,029	0,034	
Natrium	mg/l	E 3-5		10300	9940	10300	1,77
Fosfor	mg/l	E 3-5					<0,04
Fosfor	mg/l	E 3-5		0,059	0,33	0,12	
Bly	mg/l	E 3-5					<0,01
Bly	mg/l	E 3-5		<0,02	<0,02	<0,02	
Svovel	mg/l	E 3-5					1,1
Svovel	mg/l	E 3-5		769	527	892	
Silisium	mg/l	E 3-5					4,82
Silisium	mg/l	E 3-5		3,25	79,5	6,29	
Strontium	mg/l	E 3-5					0,0044
Strontium	mg/l	E 3-5		7,61	10,0	7,71	
Vanadium	mg/l	E 3-5					<0,001
Vanadium	mg/l	E 3-5		<0,002	0,015	0,070	
Nitrat	µg N/l	C 4-5		<100	1200	1310	33

* - Metoden er ikke akkreditert.

Norsk institutt for vannforskning

Ivar Dahl
Forsker

Denne analyserapporten får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.



Staberis vevveien
Pb. 8142, Dep
0033 OSLO
Attn: Per Hagella

Eurofins Environment Testing Norway
AS (Moss)
F. noy 905 541 810 MVA
Ålvebakken 50
NO-1628 Moss

TE: +47 09 00 52 00
Fak: +47 09 27 25 40

AR-12-MM-020139-01



EUNOMO-00064814

Proverdato: 12.11.2012
Stasjon:
Analyseperiode: 12.11.2012-26.11.2012
Referans: 303245 Ansvr: 08070
Per Hagella

ANALYSERAPPORT

Teleskrivelse:

- Ikke utført av akkrediteringen
- Mindre enn, = Både inn, rd. Ikke akkred. MPM Moss Private Murbet, ofa -Gately Flaming Ullst. M11 Jernbanen og Masserene, LO2 2048MossAgenda

Opplysninger om innlevert materiale fra ved nevnte laboratorie

Rapporten må ikke gjenbrukes i sin helhet, uten tillatelse av utførende laboratorie. Resultatene gjelder kun for det/ de prøvetilstandene/ prøvene/

2/2011 W 0



Analys	Resultat	Enhet	MU	Metode	LOQ	Grensvärde
Fluorid (F)	0.45	mg/l	15%	EPA Method 340.3	0.05	
Klorid (Cl)	6600	mg/l	10%	EPA Method 325.2	0.1	
Sulfat (SO ₄)	1200	mg/l	10%	EPA Method 375.4	0.25	
Alkalitet	2.35	mmol/l		NS 4764	0.01	
Alumina (Al)	<1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
b) Ammonium						
b) Ammonium (NH ₄ -N)	2000	µg/l		NS EN ISO 11732	3	
Arsen (As)	1.1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Berolin (Bi)	87	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Bly (Pb)	<0.2	µg/l		ISO 17294m:2005	0.2	
NyOC/TOC	1.0	mg/l		NS EN 1484	0.5	
Jern (Fe)	0.12	mg/l		ISO 17294m:2005	0.05	
Kadmium (Cd)	<0.2	µg/l		ISO 17294m:2005	0.2	
Kalium (K)	350	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Kalcium (Ca)	430	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Kobber (Cu)	<3	µg/l		ISO 17294m:2005	3	
Kobolt (Co)	<0.5	µg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Konduktivitet (25°C)	3710	µS/cm		NS 7688	0.1	
Krom (Cr)	<1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Magnesium (Mg)	1200	mg/l		ISO 17294m:2005	0.05	
Mangan (Mn)	1.3	µg/l		ISO 17294m:2005	0.003	
Molybden (Mo)	35	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Natrium (Na)	10000	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
b) Nitrat+nitrit						
b) Nitrit+nitrat-N	1.8	µg/l		NS EN ISO 13395	1	
ph	7.7			ISO 10523:2008	3	
Silicium (Si)	3.1	mg/l		Grasshoff	0.002	
Strontium (Sr)	7500	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Svovad (S)	790	mg/l		SM 3120	2	
Total Fosfor	3.0	µg/l		SFA	2	
Vanadium (V)	<1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	

Information:

- * Skiljer resultat av avrundning
- < = mindre än, > = större än, =1 = lika på två siffror. MPN - Most Probable Number. (b) Only Formic Units, (f) Uncertainty of Measurement, (LOQ) kvantitetsgränsen

Opplýsingar um nákvæmheit fáa við höndunina í laboratoríum.

Rapporten má ikki gengja, unntátt í eini hefti, utan laboratoríets skriftliga godkjenningu. Revisiónin gildir kun for de(n) endrættingu(r) av.



Analyse:	Resultat:	Enhet:	MJ Metode:	LOQ:	Grensverdi:
Fluorid (F)	0.75	mg/l	15% EPA Method 340.3	0.05	
Klorid (Cl)	11000	mg/l	10% EPA Method 325.2	0.1	
Sulfat (SO ₄)	1400	mg/l	10% EPA Method 375.4	0.25	
Alkalitet	2.33	mmol/l	NS 4754	0.01	
Aluminium (Al)	1.8	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
b) Ammonium					
b) Ammonium (NH ₄ -N)	3400	µg/l	NS EN ISO 11732	3	
Arsen (As)	<1	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
Bensen (Ba)	52	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
Bly (Pb)	<0.2	µg/l	ISO 17294m:2005	0.2	
NVOC/TOC	11.6	mg/l	NS EN 1484	0.5	
Jern (Fe)	<0.05	mg/l	ISO 17294m:2005	0.05	
Kadmium (Cd)	<0.2	µg/l	ISO 17294m:2005	0.2	
Kalcium (Ca)	350	mg/l	ISO 17294m:2005	0.5	
Kadmium (Ca)	420	mg/l	ISO 17294m:2005	0.5	
Kobolt (Co)	<3	µg/l	ISO 17294m:2005	3	
Kobolt (Co)	<0.6	µg/l	ISO 17294m:2005	0.5	
Konduktivitet (25°C)	3600	mS/m	NS 7038	0.1	
Krom (Cr)	<1	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
Magnesium (Mg)	1200	mg/l	ISO 17294m:2005	0.05	
Mangan (Mn)	1.3	mg/l	ISO 17294m:2005	0.05	
Molybden (Mo)	37	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
Natrium (Na)	10000	mg/l	ISO 17294m:2005	0.5	
b) Nitratnitrit					
b) Nitratnitrat-N	40	µg/l	NS EN ISO 13995	1	
pH	7.7		ISO 10523:2008	3	
Silicium (Si)	3.1	mg/l	Grensverdi	0.002	
Strontium (Sr)	7600	µg/l	ISO 17294m:2005	1	
Svavel (S)	620	mg/l	SM 3120	2	
Total Fosfor	<2	µg/l	SFA	2	
Vanadium (V)	<1	µg/l	ISO 17294m:2005	1	

Referenser:

+ (Riksstämman av riksdagen)

< (Mindre än), > (Storre än), rd (Rikspolisstyrelsen), MPM (Miljöprovet Miljöprovet) (Rikspolisstyrelsen), MJ (Miljöprovet) (Rikspolisstyrelsen), LOQ (Rikspolisstyrelsen)

Döpningsen om riksdagen har tilldelats till laboratoriet.

Rapporten må inte gämpla, utvärdera eller tillämpas utan laboratoriets skriftliga godkännande. (Rikspolisstyrelsen) (Rikspolisstyrelsen)

Prøveid.	439-2012-11120202	Prøvetaksdato:	08.11.2012			
Prøvetype:	Sjekkprøve	Prøvetaker:	Per			
Prøvemåling:	DT-B	Analyselaborator:	12.11.2012			
Ostefordjupningen						
Analyse	Resultat	Enh.	MU	Metode	LOQ	Grenseverdi
Fluorid (F)	0.50	mg/l	15%	EPA Method 340.3	0.05	
Klorid (Cl)	7900	mg/l	10%	EPA Method 325.2	0.1	
Sulfat (SO ₄)	1100	mg/l	10%	EPA Method 375.4	0.20	
Alkalitet	2.05	mmol/l		NS 4754	0.01	
Aluminium (Al)	12	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
b) Ammonium						
b) Ammonium (NH ₄ -N)	11	µg/l		NS-EN ISO 11732	3	
Arsen (As)	<1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Beryllium (Be)	53	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Bly (Pb)	<0.2	µg/l		ISO 17294m:2005	0.2	
NVOC/TOC	0.5	mg/l		NS-EN 1484	0.5	
Jern (Fe)	<0.05	mg/l		ISO 17294m:2005	0.05	
Kadmium (Cd)	<0.2	µg/l		ISO 17294m:2005	0.2	
Kalium (K)	290	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Kalsium (Ca)	590	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Kobber (Cu)	<3	µg/l		ISO 17294m:2005	3	
Kobolt (Co)	<0.5	µg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
Krom (Cr)	<1	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Magnesium (Mg)	1200	mg/l		ISO 17294m:2005	0.05	
Mangan (Mn)	<0.005	mg/l		ISO 17294m:2005	0.005	
Molybden (Mo)	39	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Natrium (Na)	9700	mg/l		ISO 17294m:2005	0.5	
b) Nitrat-nitritt						
b) Nitrat+nitrit-N	1500	µg/l		NS-EN ISO 13305	1	
Silisium (Si)	3.2	mg/l		Glaxhoff	0.002	
Strontium (Sr)	9300	µg/l		ISO 17294m:2005	1	
Svevel (S)	840	µg/l		SM 3120	2	
Total Fosfor	3.7	µg/l		SFA	2	
Vanadium (V)	2.5	µg/l		ISO 17294m:2005	1	

Merknader:
 pH og konduktivitet ikke utført pga for lite prøvemengde meddele

Legg til:

- (ikke utført av akkreditert)

- (ikke utført) - Spørsmål: (d) ikke påvist: MPN - Most Probable Number; (e) Colony Forming Units; MU - Uncertainty of Measurement; LOQ - Kvalitetsgrenseverdi

Opplysninger om miljøsertifikat: (f) ved henvisning til laboratorid.

Påføringen må ikke gjenopplages, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(i) undersøkte prøve(n).



Prøveid:	439-2012-11120213	Prøvetidspunkt:	06.11.2012
Prøvetype:	Støp	Prøvetekst:	Per
Prøvemerkning:	OT-B-Sureal (filial til OT-B) Ostloforstøtten	Analysertidspunkt:	12.11.2012

Analyse	Resultat	Enhet	MU	Metode	LDQ	Grenseverdi
Total tørrstoff	52	%	12%	NS 4764		0.02
Arsen (As)	41	mg/kg TS	25%	NS EN ISO 17204-2		0.5
Bly (Pb)	16	mg/kg TS	25%	NS EN ISO 17204-2		0.5
Kadmium (Cd)	0.42	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 17204-2		0.01
Kobber (Cu)	5.0	mg/kg TS	40%	NS EN ISO 17204-2		0.6
Krom (Cr)	15	mg/kg TS	25%	NS EN ISO 17204-2		0.3
Aluminium (Al)	6600	mg/kg TS	25%	NS EN ISO 11885		15
Barium (Ba)	140	mg/kg TS	30%	NS EN ISO 11885		0.5
Jern (Fe)	82000	mg/kg TS	25%	NS EN ISO 11885		10
Kalium (K)	1700	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		13
Kalsium (Ca)	26000	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		10
Kobolt (Co)	26	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		0.15
Magnesium (Mg)	19000	mg/kg TS	30%	NS EN ISO 11885		10
Mangan (Mn)	48000	mg/kg TS	30%	NS EN ISO 11885		1.0
Molybden (Mo)	77	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		0.1
Natrium (Na)	12000	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		2
Silisium (Si)	510	mg/kg TS	30%	NS EN ISO 11885		10
Strontium (Sr)	300	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		1
Svevel (S)	1900	mg/kg TS	30%	NS EN ISO 11885		10
Vanadium (V)	29	mg/kg TS	20%	NS EN ISO 11885		0.1

Utferende laboratoriums' Underkreveser:

- a) Eurofins Environment AS (Veien, Ledalundvei 68, UK-6800, Veien)
 e) DISEN ISO/IEC 17025 DANAK 186, Eurofins Environment AS (Veien, Ledalundvei 68, UK-6800, Veien)
 b) NS EN ISO/IEC 17025:2005 NA TEST 003, Eurofins Environment Testing Norway AS (Bølgen, Box 75, NO-1841, Bergen)

Moss 28.11.2012

Stig Tjømsland
 ASM/Bachelor tjøms

Dokumentasjon

- * Ikke utført av akkreditert organ
 - Ifølge innr. - Støps innr. nr. 106 på side 4. MPV: Most Probable Number, du Colony Forming Units, MU: Uncertainty of Measurement, LDQ: Lowest Detectable Quantity

Opplysninger om miljøsertifikat få ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporter må ikke gjenopprettes eller utveksles med laboratoriets driftlige systemer. Resultater gis kun til den(i) innestående prøve(e).

Side 5 av 5

Certificate

Project: 1510001389/52

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information: Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegv

Date of sampling:

Date of arrival:

11.11.2014

Sampling by:

Research started:

11.11.2014

Water analyce

Sampling point	Oslo A-- pipe	Oslo A-- ditch	Oslo B-- ditch	Unit	Method
Sample ID	145L 08386	145L 08387	145L 08388		
ANALYSIS					
Pretreatment, filtration	ok	ok	ok		
Turbidity	<0,20	<0,20	<0,20	NTU	RA2024*
pH	7,6	7,4	7,7		RA2000*
Alkalinity	2,4	2,3	2,2	mmol/l	RA2001*
Dissolved Organic Carbon (DOC)	<1,0	<1,0	1,4	mg/l	RA2007*
Chloride (Cl)	18000	18000	18000	mg/l	RA2018*
Fluoride (F)	1,9	1,9	1,7	mg/l	RA2050
Sulphate (SO4)	2600	2500	2500	mg/l	RA2018*
Nitrate (NO3)	<1,0	4,3	6,6	mg/l	RA2018*
Ammonium (NH4)	1,1	0,016	<0,0060	mg/l	RA2046*
Metals 1 diss	ok	ok	ok		
Aluminium (Al), diss	<50	<50	<50	µg/l	RA3000*
Arsenic (As), diss	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000*
Barium (Ba), diss	25	26	33	µg/l	RA3000*
Boron (B), diss	4000	4100	3400	µg/l	RA3000*
Mercury (Hg), diss	<0,20	<0,20	<0,20	µg/l	RA3000*
Phosphorus (P), diss	<200	<200	<200	µg/l	RA3000
Cadmium (Cd), diss	<0,20	<0,20	<0,20	µg/l	RA3000*
Potassium (K), diss	390000	390000	310000	µg/l	RA3000*
Calcium (Ca), diss	500000	500000	680000	µg/l	RA3000*
Cobalt (Co), diss	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000*
Chromium (Cr), diss	<5,0	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000*
Copper (Cu), diss	<10	<10	<10	µg/l	RA3000*
Lead (Pb), diss	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000*
Magnesium (Mg), diss	1200000	1300000	1200000	µg/l	RA3000*
Manganese (Mn), diss	1300	110	<5,0	µg/l	RA3000*
Molybdenum (Mo), diss	31	28	36	µg/l	RA3000*
Sodium (Na), diss	10000000	11000000	9800000	µg/l	RA3000*
Nickel (Ni), diss	<10	<10	<10	µg/l	RA3000*
Silicon (Si), diss	4000	4800	4500	µg/l	RA3000
Iron (Fe), diss	<50	<50	<50	µg/l	RA3000*
Sulfur (S), diss	1100000	1300000	1100000	µg/l	RA3000
Zinc (Zn), diss	<20	<20	<20	µg/l	RA3000*

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics

Certificate

Project: 1510001389/52

Date: 20.11.2014

2/2

RAMBOLL

	14SL 08386	14SL 08387	14SL 08388	Unit	Method
Strontium (Sr), diss.	8400	8500	10000	µg/l	RA3000
Thorium (Th), diss.	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000
Uranium (U), diss.	8,7	11	27	µg/l	RA3000*
Vanadium (V), diss.	<5,0	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000*

* Method is accredited by the PTNAS. Uncertainty of measurement is reported if requested.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahtela
M.Sc., Chemist, +358 40 074 5295

The certificate has been accepted electronically.

Delivery per.hagels@vegvesien.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti
Kilberinkuja 2, FI-01600 Vantaa

Tel +358 20 755 611 www.ramboll-analytics.fi
Business ID 0101197-5 Domicile Espoo

FINAS
Finnish Accreditation Council
2020 FINAS ACCREDITED

Ramboll Analytics
Certificate
Project: 1510001389/53

Date: 27.11.2014
2/2

RAMBOLL

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
M.Sc., chemist, +358 50 434 4092

The certificate has been accepted electronically.

Delivery per.hagelta@vegvesen.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti Tel +358 20 755 611 www.ramboll-analytics.fi
Kilberinkuja 2, FI-01600 Vantaa Business ID 0101197-5 Domicile Espoo

Certificate

Project: 1510001389/53

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegva		
Reference:	pro.no: 603245 v/Bård Pedersen	Date of sampling:	
		Date of arrival:	11.11.2014
Sampling by:		Research started:	11.11.2014

Results

Sampling point	Oslo A-- pipe	Oslo A-- ditch	Oslo B-- ditch	Unit	Method
Sample ID	1455 02545	1455 02546	1455 02547		
ANALYSIS					
Dry matter		65	45	wt-%	RA4016
Loss of ignition (LOI) 550 °C		4,4	12	% dw	RA4016
Pretreatment, filtration	ok	ok	ok		
Pretreatment, microwave oven (HNO3/HF)	ok	ok	ok		RA3009
Metals 1	ok	ok	ok		
Aluminium (Al)	<100	6500	47000	mg/kg dw	RA3000
Arsenic (As)	84	110	170	mg/kg dw	RA3000
Barium (Ba)	13	190	580	mg/kg dw	RA3000
Boron (B)	260	170	190	mg/kg dw	RA3000
Mercury (Hg)	<1,0	<0,10	<0,10	mg/kg dw	RA3000
Phosphorus (P)	<1000	<100	580	mg/kg dw	RA3000
Cadmium (Cd)	<2,0	0,22	1,2	mg/kg dw	RA3000
Potassium (K)	9500	33000	29000	mg/kg dw	RA3000
Calcium (Ca)	20000	5100	66000	mg/kg dw	RA3000
Cobalt (Co)	<10	6,0	35	mg/kg dw	RA3000
Chromium (Cr)	<10	10	38	mg/kg dw	RA3000
Copper (Cu)	<100	<10	30	mg/kg dw	RA3000
Lead (Pb)	<10	24	30	mg/kg dw	RA3000
Magnesium (Mg)	27000	1000	18000	mg/kg dw	RA3000
Manganese (Mn)	330	20000	110000	mg/kg dw	RA3000
Molybdenum (Mo)	<10	130	360	mg/kg dw	RA3000
Sodium (Na)	270000	20000	26000	mg/kg dw	RA3000
Nickel (Ni)	<20	7,9	42	mg/kg dw	RA3000
Silicon (Si)	<20000	250000	170000	mg/kg dw	RA3000
Iron (Fe)	150000	69000	150000	mg/kg dw	RA3000
Sulfur (S)	23000	1400	2600	mg/kg dw	RA3000
Zinc (Zn)	<50	51	300	mg/kg dw	RA3000
Strontium (Sr)	410	96	630	mg/kg dw	RA3000
Thorium (Th)	<10	3,7	17	mg/kg dw	RA3000
Uranium (U)	<10	17	20	mg/kg dw	RA3000
Vanadium (V)	<10	27	65	mg/kg dw	RA3000

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/53

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegva		
Reference:	pro.no: 603245 v/Bård Pedersen	Date of sampling:	
		Date of arrival:	11.11.2014
Sampling by:		Research started:	11.11.2014

Results

Sampling point	Oslo A-- pipe	Oslo A-- ditch	Oslo B-- ditch	Unit	Method
Sample ID	1455 02545	1455 02546	1455 02547		
ANALYSIS					
Dry matter		65	45	m-%	RA4016
Loss of ignition (LOI) 550 °C		4,4	12	% dw	RA4016
Pretreatment, filtration	ok	ok	ok		
Pretreatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok	ok	ok		RA3009
Metals 1					
Aluminium (Al)	<100	6500	47000	mg/kg dw	RA3000
Arsenic (As)	84	110	170	mg/kg dw	RA3000
Barium (Ba)	13	190	580	mg/kg dw	RA3000
Boron (B)	260	170	190	mg/kg dw	RA3000
Mercury (Hg)	<1,0	<0,10	<0,10	mg/kg dw	RA3000
Phosphorus (P)	<1000	<100	580	mg/kg dw	RA3000
Cadmium (Cd)	<2,0	0,22	1,2	mg/kg dw	RA3000
Potassium (K)	9500	33000	29000	mg/kg dw	RA3000
Calcium (Ca)	20000	5100	66000	mg/kg dw	RA3000
Cobalt (Co)	<10	6,0	35	mg/kg dw	RA3000
Chromium (Cr)	<10	10	38	mg/kg dw	RA3000
Copper (Cu)	<100	<10	30	mg/kg dw	RA3000
Lead (Pb)	<10	24	30	mg/kg dw	RA3000
Magnesium (Mg)	27000	1000	18000	mg/kg dw	RA3000
Manganese (Mn)	330	20000	110000	mg/kg dw	RA3000
Molybdenum (Mo)	<10	130	360	mg/kg dw	RA3000
Sodium (Na)	270000	20000	26000	mg/kg dw	RA3000
Nickel (Ni)	<20	7,9	42	mg/kg dw	RA3000
Silicon (Si)	<20000	250000	170000	mg/kg dw	RA3000
Iron (Fe)	150000	69000	150000	mg/kg dw	RA3000
Sulfur (S)	23000	1400	2600	mg/kg dw	RA3000
Zinc (Zn)	<50	51	300	mg/kg dw	RA3000
Strontium (Sr)	410	96	630	mg/kg dw	RA3000
Thorium (Th)	<10	3,7	17	mg/kg dw	RA3000
Uranium (U)	<10	17	20	mg/kg dw	RA3000
Vanadium (V)	<10	27	65	mg/kg dw	RA3000

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics

Certificate

Project: 1510001389/53

Date: 27.11.2014
2/2

RAMBOLL

Ramboll Analytics



Sami Tyrvänen
M.Sc., chemist, +358 50 434 4092

The certificate has been accepted electronically.

Delivery per.hagala@vegvesen.fi

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti
Kilberinkuja 2, FI-01600 Vantaa

Tel +358 20 755 611
Business ID 0101197-5

www.ramboll-analytics.fi
Domicile Espoo

Certificate

Project: 1510001389/85

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information: Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegva
Reference: pro.no: 603245 v/Synnøve A Myrnes Date of sampling: 31.8.2015
Date of arrival: 31.8.2015
Sampling by: Research started: 31.8.2015

Water analysis

Sampling point	Oslo A-- pipe 2015	Oslo A-- ditch 2015	Oslo B-- ditch 2015	Unit	Method	
Sample ID	155L 05849	155L 05850	155L 05851			
ANALYSIS						
Pretreatment, filtration	ok	ok	ok			L
Turbidity	<0,20	<0,20	<0,20	NTU	RA2024*	L
pH	7,7	7,5	7,7		RA2000*	L
Alkalinity	2,5	2,2	2,1	mmol/l	RA2001*	L
Dissolved Organic Carbon (DOC)	<1,0	<1,0	1,3	mg/l	RA2007*	L
Chloride (Cl)	15000	17000	14000	mg/l	RA2018*	L
Fluoride (F)	2,0	2,0	1,8	mg/l	RA2050	L
Sulphate (SO4)	2200	2200	1800	mg/l	RA2018*	L
Nitrate (NO3)	<1,0	<1,0	5,3	mg/l	RA2018*	L
Ammonium (NH4)	1,0	0,34	<0,0060	mg/l	RA2046*	L
Metals 1 soluble	ok	ok	ok			L
Aluminium (Al), soluble	<50	<50	<50	µg/l	RA3000*	L
Arsenic (As), soluble	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000*	L
Barium (Ba), soluble	23	23	29	µg/l	RA3000*	L
Boron (B), soluble	4000	4300	3500	µg/l	RA3000*	L
Mercury (Hg), soluble	<0,20	<0,20	<0,20	µg/l	RA3000*	L
Phosphorus (P), soluble	<200	<200	<200	µg/l	RA3000*	L
Cadmium (Cd), soluble	<0,20	<0,20	<0,20	µg/l	RA3000*	L
Potassium (K), soluble	350000	350000	290000	µg/l	RA3000*	L
Calcium (Ca), soluble	440000	460000	650000	µg/l	RA3000*	L
Cobalt (Co), soluble	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000*	L
Chromium (Cr), soluble	<5,0	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000*	L
Copper (Cu), soluble	<10	<10	<10	µg/l	RA3000*	L
Lead (Pb), soluble	<2,0	<0,50	<2,0	µg/l	RA3000*	L
Magnesium (Mg), soluble	1100000	1100000	1100000	µg/l	RA3000*	L
Manganese (Mn), soluble	1600	1500	<5,0	µg/l	RA3000*	L
Molybdenum (Mo), soluble	39	38	44	µg/l	RA3000*	L
Sodium (Na), soluble	9900000	9900000	9100000	µg/l	RA3000*	L
Nickel (Ni), soluble	<10	<10	<10	µg/l	RA3000*	L
Silicon (Si), soluble	3700	3700	4100	µg/l	RA3000	L
Iron (Fe), soluble	<50	<50	<50	µg/l	RA3000*	L
Sulfur (S), soluble	830000	820000	790000	µg/l	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics

Certificate

Project: 1510001389/85

Date: 18.9.2015

2/2

RAMBOLL

	155L 05849	155L 05850	155L 05851	Unit	Method	
Zinc (Zn), soluble	<20	<20	<20	µg/l	RA3000*	L
Strontium (Sr), soluble	8700	7500	10000	µg/l	RA3000	L
Thorium (Th), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000	L
Uranium (U), soluble	8,8	8,8	28	µg/l	RA3000*	L
Vanadium (V), soluble	<5,0	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000*	L

* Method is accredited by the FINAS. Uncertainty of measurement is reported if requested.

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
M.Sc., chemist, +358 50 434 4092

This certificate has been signed electronically with certificate.

More info: All the samples have been filtered before analyses.

Laboratories: L Analyzed in Lahti (FI)

Delivery: per.hagella@vegvesen.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti
Kilberinkuja 2, FI-01600 Vantaa

Tel: +358 20 755 611
Business ID: 0101197-5

www.ramboll-analytics.fi
Domicile: Espoo


FINAS
FINAS Accreditation Service
1018 (EN-ISO/IEC 17025)

Certificate

Project: 1510001389/86

Statens vegvesen Vegdirektoratet
 Søndre Meland
 Postboks 8142 Dep
 0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjemiske analyser av kontaminert vegvann, sedimenter og p		
Reference:	pro.no: 603245 v/Synnøve A Myren	Date of sampling:	
		Date of arrival:	31.8.2015
Sampling by:		Research started:	31.8.2015

Results

Sampling point	Oslo A-- ditch 2015	Oslo B-- ditch 2015	Unit	Method	
Sample ID	15SS 01710	15SS 01711			
ANALYSIS					
Loss of ignition (LOI) 550 °C	18	15	% dw	RA4016	L
Pre-treatment, filtration	ok	ok			L
Pre-treatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok	ok		RA3009	L
Metals 1	ok	ok			L
Aluminium (Al)	12000	48000	mg/kg dw	RA3000	L
Arsenic (As)	190	150	mg/kg dw	RA3000	L
Barium (Ba)	190	510	mg/kg dw	RA3000	L
Boron (B)	370	220	mg/kg dw	RA3000	L
Mercury (Hg)	<0,10	<0,10	mg/kg dw	RA3000	L
Phosphorus (P)	510	570	mg/kg dw	RA3000	L
Cadmium (Cd)	<0,20	0,29	mg/kg dw	RA3000	L
Potassium (K)	17000	22000	mg/kg dw	RA3000	L
Calcium (Ca)	12000	56000	mg/kg dw	RA3000	L
Cobalt (Co)	3,8	18	mg/kg dw	RA3000	L
Chromium (Cr)	5,2	27	mg/kg dw	RA3000	L
Copper (Cu)	<5,0	17	mg/kg dw	RA3000	L
Lead (Pb)	9,2	25	mg/kg dw	RA3000	L
Magnesium (Mg)	4000	16000	mg/kg dw	RA3000	L
Manganese (Mn)	25000	91000	mg/kg dw	RA3000	L
Molybdenum (Mo)	150	270	mg/kg dw	RA3000	L
Sodium (Na)	23000	19000	mg/kg dw	RA3000	L
Nickel (Ni)	5,0	28	mg/kg dw	RA3000	L
Silicon (Si)	190000	210000	mg/kg dw	RA3000	L
Iron (Fe)	180000	160000	mg/kg dw	RA3000	L
Sulfur (S)	2400	1800	mg/kg dw	RA3000	L
Zinc (Zn)	39	180	mg/kg dw	RA3000	L
Strontium (Sr)	290	560	mg/kg dw	RA3000	L
Thorium (Th)	1,3	12	mg/kg dw	RA3000	L
Uranium (U)	19	18	mg/kg dw	RA3000	L
Vanadium (V)	16	38	mg/kg dw	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/86

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjemiske analyser av kontaminert vegvann, sedimenter og p		
Reference:	pro.no: 603245 v/Synneve A Myren	Date of sampling:	
		Date of arrival:	31.8.2015
Sampling by:		Research started:	31.8.2015

Results

Sampling point	Oslo A-- ditch 2015	Oslo B-- ditch 2015	Unit	Method	
Sample ID	1558 01710	1558 01711			
ANALYSIS					
Loss of ignition (LOI) 550 °C	18	15	% dw	RA4016	L
Pretreatment, filtration	ok	ok			L
Pretreatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok	ok		RA3009	L
Metals 1	ok	ok			L
Aluminium (Al)	12000	48000	mg/kg dw	RA3000	L
Arsenic (As)	190	150	mg/kg dw	RA3000	L
Barium (Ba)	190	510	mg/kg dw	RA3000	L
Boron (B)	370	220	mg/kg dw	RA3000	L
Mercury (Hg)	<0,10	<0,10	mg/kg dw	RA3000	L
Phosphorus (P)	510	570	mg/kg dw	RA3000	L
Cadmium (Cd)	<0,20	0,29	mg/kg dw	RA3000	L
Potassium (K)	17000	22000	mg/kg dw	RA3000	L
Calcium (Ca)	12000	56000	mg/kg dw	RA3000	L
Cobalt (Co)	3,8	18	mg/kg dw	RA3000	L
Chromium (Cr)	5,2	27	mg/kg dw	RA3000	L
Copper (Cu)	<5,0	17	mg/kg dw	RA3000	L
Lead (Pb)	9,2	25	mg/kg dw	RA3000	L
Magnesium (Mg)	4000	16000	mg/kg dw	RA3000	L
Manganese (Mn)	25000	91000	mg/kg dw	RA3000	L
Molybdenum (Mo)	150	270	mg/kg dw	RA3000	L
Sodium (Na)	23000	19000	mg/kg dw	RA3000	L
Nickel (Ni)	5,0	28	mg/kg dw	RA3000	L
Silicon (Si)	190000	210000	mg/kg dw	RA3000	L
Iron (Fe)	180000	160000	mg/kg dw	RA3000	L
Sulfur (S)	2400	1800	mg/kg dw	RA3000	L
Zinc (Zn)	39	180	mg/kg dw	RA3000	L
Strontium (Sr)	290	560	mg/kg dw	RA3000	L
Thorium (Th)	1,3	12	mg/kg dw	RA3000	L
Uranium (U)	19	18	mg/kg dw	RA3000	L
Vanadium (V)	16	38	mg/kg dw	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/87

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjemiske analyser av kontaminert vegvann, sedimenter og p	Date of sampling:	
Place of sampling:	Oslo A-pipe 2015	Date of arrival:	31.8.2015
		Research started:	31.8.2015

Results

Analysis	15SS01836	Unit	Method	
Pretreatment, filtration	ok			L
Pretreatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok		RA3000	L
Metals 1	ok			L
Aluminium (Al)	<100	mg/kg dw	RA3000	L
Arsenic (As)	41	mg/kg dw	RA3000	L
Barium (Ba)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Boron (B)	200	mg/kg dw	RA3000	L
Mercury (Hg)	<1,0	mg/kg dw	RA3000	L
Phosphorus (P)	<1000	mg/kg dw	RA3000	L
Cadmium (Cd)	<2,0	mg/kg dw	RA3000	L
Potassium (K)	3900	mg/kg dw	RA3000	L
Calcium (Ca)	13000	mg/kg dw	RA3000	L
Cobalt (Co)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Chromium (Cr)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Copper (Cu)	<100	mg/kg dw	RA3000	L
Lead (Pb)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Magnesium (Mg)	24000	mg/kg dw	RA3000	L
Manganese (Mn)	210	mg/kg dw	RA3000	L
Molybdenum (Mo)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Sodium (Na)	200000	mg/kg dw	RA3000	L
Nickel (Ni)	<20	mg/kg dw	RA3000	L
Silicon (Si)	93000	mg/kg dw	RA3000	L
Iron (Fe)	80000	mg/kg dw	RA3000	L
Sulfur (S)	17000	mg/kg dw	RA3000	L
Zinc (Zn)	<50	mg/kg dw	RA3000	L
Strontium (Sr)	270	mg/kg dw	RA3000	L
Thorium (Th)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Uranium (U)	<10	mg/kg dw	RA3000	L
Vanadium (V)	<10	mg/kg dw	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics


Certificate

Project: 1510001389/87

Date: 12.10.2015
2/2

RAMBOLL

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
Ph.D., chemist, +358 50 434 4091

This certificate has been signed electronically with certificate.

Laboratory: L Analyzed in Lahti (FI)

Delivery: jer.hagala@mbgveson.fi

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemiskatu 75, FI-15140 Lahti
Kilttikatu 2, FI-01600 Varkaa

Tel: +358 20 755 611
Business ID: 0104107-5

www.ramboll-analytica.fi
Domicile: Espoo

Certificate

Project: 1510001389/94

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Søndre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegva		
Reference:	603245 v/Synneve A Hyren	Date of sampling:	
		Date of arrival:	21.3.2016
Sampling by:		Research started:	21.3.2016

Water analysis

Sampling point	Unit					Method		
	A-pipe 2016	A-ditch 2016	B-ditch 2016	Field 1 2016	Pump rock water			
Sample ID	16SL 01482	16SL 01483	16SL 01484	16SL 01485	16SL 01486			
ANALYSIS								
Pretreatment, filtration	ok	ok	ok	ok	ok		L	
Turbidity	20	<0,20	<0,20	1,3	10	NTU	RA2024	L
pH	7,6	7,1	7,6	7,6	7,5		RA2000	L
Conductivity	53000	53000	51000	52000	54000	µS/cm	RA2013	L
Alkalinity	2,3	2,2	2,0	2,4	2,3	mmol/l	RA2001	L
Dissolved Organic Carbon (DOC)	<1,0	<1,0	1,1			mg/l	RA2007	L
Chloride (Cl)	19000	20000	19000	19000	20000	mg/l	RA2018	L
Fluoride (F)	1,4	1,4	1,2	1,3	1,2	mg/l	RA2050	L
Sulphate (SO4)	2700	2700	2600	2600	2700	mg/l	RA2018	L
Nitrate (NO3)	<50	<50	<50	<50	<50	mg/l	RA2018	L
Ammonium (NH4)	1,0	<0,0060	<0,0060	1,1	0,74	mg/l	RA2046	L
Metals 1 soluble	ok	ok	ok	ok	ok		RA3000	L
Aluminium (Al), soluble	<10	<10	<10	<10	<10	µg/l	RA3000	L
Arsenic (As), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000	L
Barium (Ba), soluble	21	21	28	26	26	µg/l	RA3000	L
Boron (B), soluble	3700	3800	3200	3700	3900	µg/l	RA3000	L
Mercury (Hg), soluble	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	µg/l	RA3000	L
Phosphorus (P), soluble	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	µg/l	RA3000	L
Cadmium (Cd), soluble	<0,030	<0,030	0,034	<0,030	<0,030	µg/l	RA3000	L
Potassium (K), soluble	340000	340000	270000	310000	330000	µg/l	RA3000	L
Calcium (Ca), soluble	460000	470000	660000	540000	550000	µg/l	RA3000	L
Cobalt (Co), soluble	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	µg/l	RA3000	L
Chromium (Cr), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000	L
Copper (Cu), soluble	<1,0	1,0	<1,0	1,1	<1,0	µg/l	RA3000	L
Lead (Pb), soluble	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	µg/l	RA3000	L
Magnesium (Mg), soluble	1200000	1200000	1200000	1200000	1300000	µg/l	RA3000	L
Manganese (Mn), soluble	1200	1100	<1,0	1700	1700	µg/l	RA3000	L
Molybdenum (Mo), soluble	33	32	35	40	30	µg/l	RA3000	L
Sodium (Na), soluble	9500000	9600000	8900000	9500000	10000000	µg/l	RA3000	L
Nickel (Ni), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000	L
Silicon (Si), soluble	3900	3700	3800	4100	3900	µg/l	RA3000	L
Iron (Fe), soluble	<10	<10	<10	<10	<10	µg/l	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Certificate

Project: 1510001389/94

	16SL 01482	16SL 01483	16SL 01484	16SL 01485	16SL 01486	Unit	Method	
Sulfur (S), soluble	840000	840000	800000	830000	880000	µg/l	RA3000	L
Zinc (Zn), soluble	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Strontium (Sr), soluble	7700	7500	9800	8700	9000	µg/l	RA3000	L
Thorium (Th), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000	L
Uranium (U), soluble	8,2	7,6	26	18	13	µg/l	RA3000 ¹	L
Vanadium (V), soluble	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L

Water analyce

		Unit	Method	
Sampling point	15935-- 16			
Sample ID	16SL 01487			
ANALYSIS				
Pretreatment, filtration	ok			L
Turbidity	6,5	NTU	RA2024 ¹	L
pH	7,6		RA2000 ¹	L
Conductivity	51000	µS/cm	RA2013 ¹	L
Alkalinity	2,4	mmol/l	RA2001 ¹	L
Dissolved Organic Carbon (DOC)		mg/l	RA2007 ¹	L
Chloride (Cl)	18000	mg/l	RA2018 ¹	L
Fluoride (F)	1,5	mg/l	RA2050	L
Sulphate (SO ₄)	2500	mg/l	RA2018 ¹	L
Nitrate (NO ₃)	<50	mg/l	RA2018 ¹	L
Ammonium (NH ₄)	1,2	mg/l	RA2046 ¹	L
Metals 1 soluble	ok		RA3000	L
Aluminium (Al), soluble	<10	µg/l	RA3000 ¹	L
Arsenic (As), soluble	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Barium (Ba), soluble	24	µg/l	RA3000 ¹	L
Boron (B), soluble	3800	µg/l	RA3000 ¹	L
Mercury (Hg), soluble	<0,020	µg/l	RA3000 ¹	L
Phosphorus (P), soluble	2,4	µg/l	RA3000 ¹	L
Cadmium (Cd), soluble	<0,030	µg/l	RA3000 ¹	L
Potassium (K), soluble	330000	µg/l	RA3000 ¹	L
Calcium (Ca), soluble	470000	µg/l	RA3000 ¹	L
Cobalt (Co), soluble	<0,50	µg/l	RA3000 ¹	L
Chromium (Cr), soluble	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Copper (Cu), soluble	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Lead (Pb), soluble	<0,50	µg/l	RA3000 ¹	L
Magnesium (Mg), soluble	1200000	µg/l	RA3000 ¹	L
Manganese (Mn), soluble	1400	µg/l	RA3000 ¹	L
Molybdenum (Mo), soluble	39	µg/l	RA3000 ¹	L
Sodium (Na), soluble	9500000	µg/l	RA3000 ¹	L
Nickel (Ni), soluble	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Silicon (Si), soluble	3900	µg/l	RA3000	L
Iron (Fe), soluble	<10	µg/l	RA3000 ¹	L
Sulfur (S), soluble	840000	µg/l	RA3000	L
Zinc (Zn), soluble	<5,0	µg/l	RA3000 ¹	L
Strontium (Sr), soluble	7600	µg/l	RA3000	L
Thorium (Th), soluble	<1,0	µg/l	RA3000	L
Uranium (U), soluble	11	µg/l	RA3000 ¹	L
Vanadium (V), soluble	<1,0	µg/l	RA3000 ¹	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics

Date: 13.4.2016

RAMBOLL

Certificate

3/3

Project: 1510001389/94

* Method is accredited by the FINAS. Uncertainty of measurement is reported if requested.

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
M.Sc., chemist, +358 50 434 4092

This certificate has been signed electronically with certificate.

More info: 16SL01482-16SL01487: nitrate limit of determination is higher due to matrix interference.

Laboratories L Analyzed in Lahti (FI)

Delivery per.hagala@vegvesen.no

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti
Kilberinkuja 2, FI-01600 Vantaa

Tel +358 20 755 611
Business ID 0101197-5

www.ramboll-analytics.fi
Domicile Espoo

FINAS
FINAS Accreditation Service
1000 00 00000 00000

Certificate

Project: 1510001389/95

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Sondre Meland
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Sample information:	Statens vegvesen Vegdirektoratet, Tunnel wash water, Kjemiske analyser av kontaminert vegva		
Reference:	603245	Date of sampling:	
		Date of arrival:	21.3.2016
Sampling by:		Research started:	21.3.2016

Results

	A-ditch	B-ditch	Unit	Method	
Sampling point	2016	2016			
Sample ID	16SS 00569	16SS 00570			
ANALYSIS					
Dry matter	31	48	m-%	RA4016	L
Loss of ignition (LOI) 550 °C	9,2	11	% dw	RA4016	L
Pretreatment, filtration	ok	ok			L
Pretreatment, microwave oven (HNO ₃ /HF)	ok	ok		RA3009	L
Metals 1	ok	ok		RA3000	L
Aluminium (Al)	2400	18000	mg/kg dw	RA3000	L
Arsenic (As)	73	94	mg/kg dw	RA3000	L
Barium (Ba)	42	220	mg/kg dw	RA3000	L
Mercury (Hg)	<0,10	<0,10	mg/kg dw	RA3000	L
Phosphorus (P)	220	360	mg/kg dw	RA3000	L
Cadmium (Cd)	<0,20	0,35	mg/kg dw	RA3000	L
Potassium (K)	2300	9800	mg/kg dw	RA3000	L
Calcium (Ca)	5400	30000	mg/kg dw	RA3000	L
Cobalt (Co)	<1,0	12	mg/kg dw	RA3000	L
Chromium (Cr)	1,2	15	mg/kg dw	RA3000	L
Copper (Cu)	<5,0	12	mg/kg dw	RA3000	L
Lead (Pb)	1,4	13	mg/kg dw	RA3000	L
Magnesium (Mg)	2500	8900	mg/kg dw	RA3000	L
Manganese (Mn)	15000	53000	mg/kg dw	RA3000	L
Molybdenum (Mo)	77	180	mg/kg dw	RA3000	L
Sodium (Na)	11000	12000	mg/kg dw	RA3000	L
Nickel (Ni)	<2,0	18	mg/kg dw	RA3000	L
Silicon (Si)	22000	72000	mg/kg dw	RA3000	L
Iron (Fe)	120000	92000	mg/kg dw	RA3000	L
Sulfur (S)	860	710	mg/kg dw	RA3000	L
Zinc (Zn)	9,3	130	mg/kg dw	RA3000	L
Strontium (Sr)	160	310	mg/kg dw	RA3000	L
Thorium (Th)	<1,0	8,6	mg/kg dw	RA3000	L
Uranium (U)	6,5	12	mg/kg dw	RA3000	L
Vanadium (V)	2,3	22	mg/kg dw	RA3000	L

The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Certificate
Project: 1510001389/95

Date: 13.4.2016
2/2

RAMBOLL

Ramboll Analytics



Sami Tyrväinen
M.Sc., chemist, +358 50 434 4092

This certificate has been signed electronically with certificate.

Laboratories L Analyzed in Lahti (FI)

Delivery per.hagelia@vegvesen.no

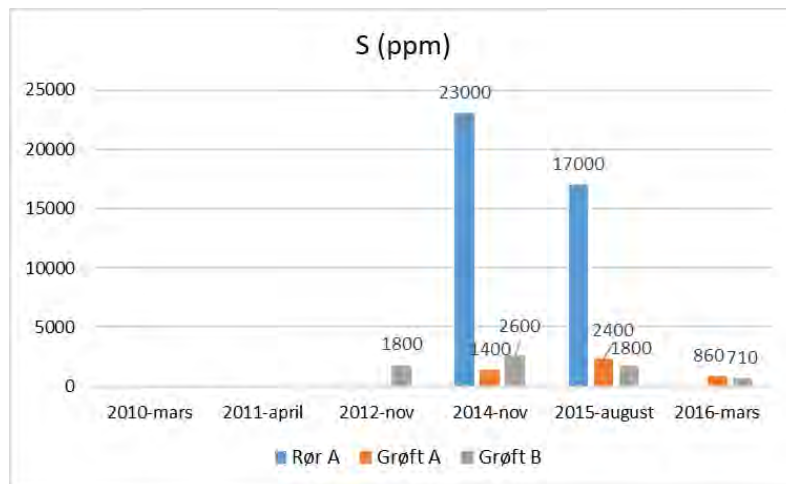
The results apply solely to the samples analyzed. The certificate may only be copied as whole.

Ramboll Analytics
Niemenkatu 73, FI-15140 Lahti
Kiliterinkuja 2, FI-01600 Vantaa

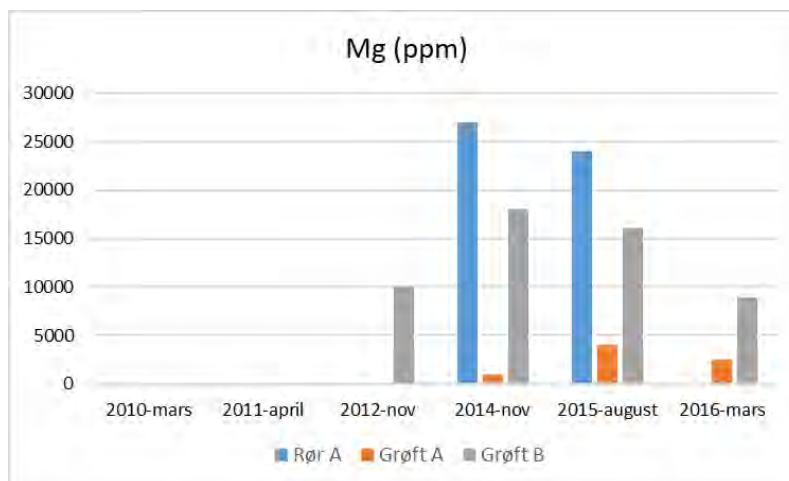
Tel +358 20 755 611
Business ID 0101197-5

www.ramboll-analytics.fi
Domicile Espoo

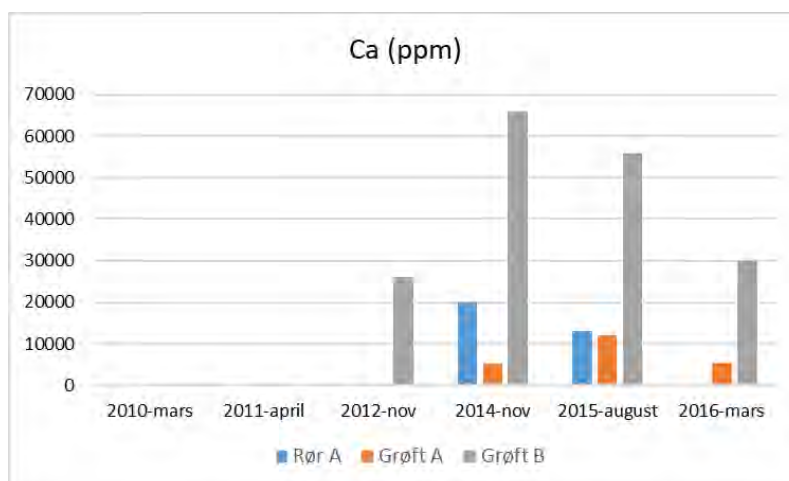
Partiklar – svovel, magnesium og kalsium



V9.1. Totalt svovel i partiklane. Data frå 2010 og 2011 manglar.



V9.2. Totalt magnesium i partiklane. Data frå 2010 og 2011 manglar.

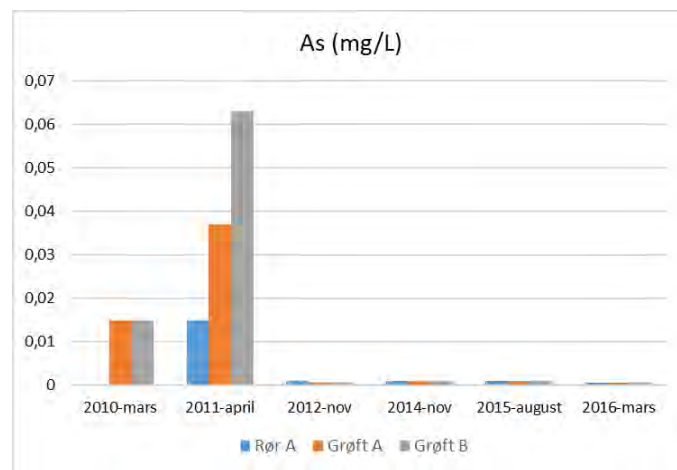


V9.3. Totalt kalsium i partiklane. Data frå 2010 og 2011 manglar.

Toksiske element – oppløyst i vatn og i partikkelfraksjon (> 0,45 µm)

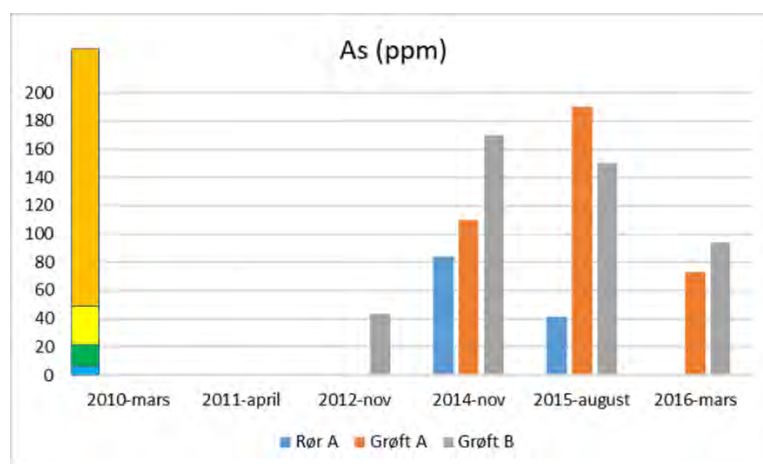
Dei kjemiske analysane viser også at vatn og partiklar inneheld toksiske element med konsentrasjonar som delvis er høgare enn grenseverdiar som gjeld for utslepp. Det er særleg partiklane som fangar opp tungelement. I Oslofjordtunnelen går drenerørre ofte tette på grunn av opphoping av rusta bakterielt slim tilsvarende Grøft A. Drenerørre blir blåst reine etter behov, ofte meir enn ein gong i året, og drenert til pumpesumpen og deretter ut i Oslofjorden.

Utviklinga av oppløyst arsen viste auka konsentrasjon frå 2010 til 2011, der konsentrasjonane låg langt over øvre grense for kystvatn gitt i Klasse III (0,0085 mg/L), men har sidan ligge under 0,002 mg/L (V9.4). Analysane viser likevel at ein bør vere særleg merksame på arsen i partikkelfraksjonen i grøfter og dren, som ligg i Klasse IV «Dårlig». Vi betraktar her partiklar i lys av krava til sediment (Veileder M-608, Miljødirektoratet 2016). Arsen er knytta til rusta og mørkt bakterielt materiale. Også krom (sjå vedlagte datalister) er noko høgt.

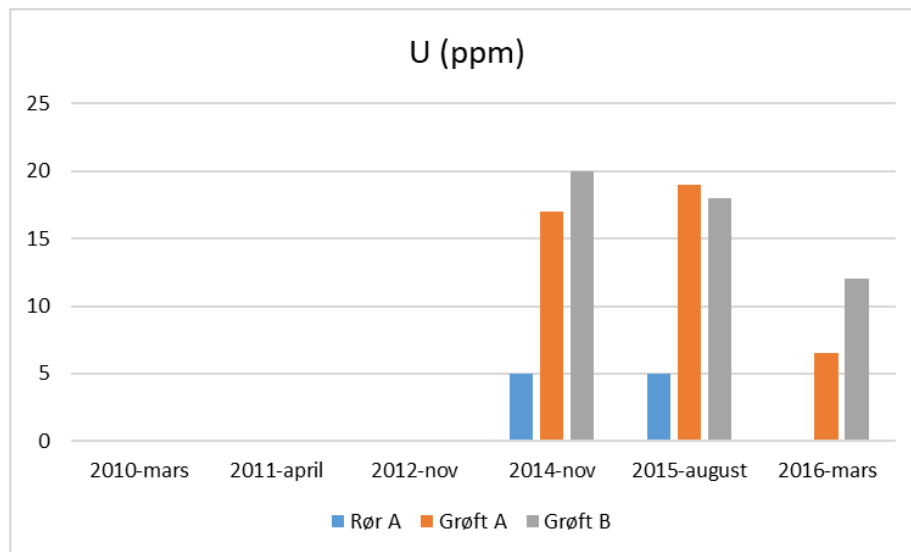


V9.4. Totalt oppløyst arsen.

Vanlege krav til reinsing av vatn for arsen i drift og vedlikehald av tunnelar er på 4,5 µg/L (= 0,0045 mg/L). Resultata frå Oslofjord testfelt viser at oppløyst arsen i grøfter i nokre tilfelle kan bli 2–14 gongar høgare enn grenseverdiar.



V9.5. Arsen (ppm = mg/kg) i partiklar. Ingen analysar i 2010 og 2011. Partiklane har generelt høge konsentrasjonar.



V9.6. Uran (ppm = mg/kg) i partikkelfraksjonen, med $U > 8$ mm i grøftene.

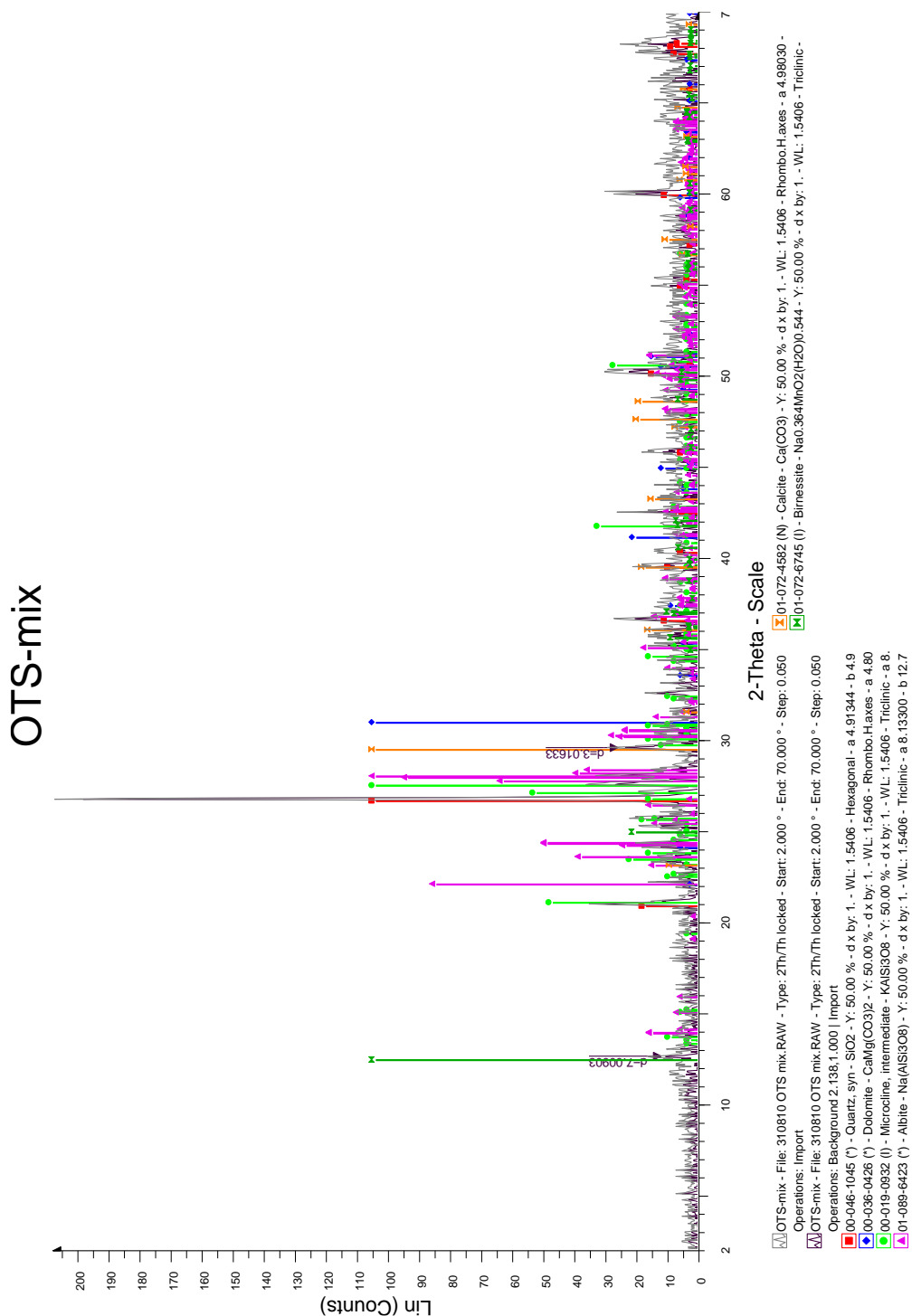
Det viser seg at uran i partikkelfraksjonen i grøftene er høgare enn 8 ppm, som svarar til spesifikk aktivitet $>0,1$ Bq/gram. I følgje «Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall» er spesifikk aktivitet $\geq 0,1$ Bq/gram (men < 1 Bq/gram som er deponipliktig radioaktivt avfall) søknadspliktig med referanse til kategorien; «Tilførsel av radioaktive stoffer som alltid trenger tillatelse» (Vedlegg II til forskrifta). Dette gjeld utslepp av radioaktive stoff til luft, vatn eller grunn. Analysane i vedlegget viser at thorium ligg godt under grenseverdien på 0,1 Bq/gram (tilsvarar 25 ppm Th). Avhending av slam med uran eller thorium $\geq 0,1$ Bq/gram behandlast av Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) etter søknad. Slammet ligg likevel langt under 1 Bq/gram er ikkje r deponipliktig radioaktivt avfall.

Vedlegg 10

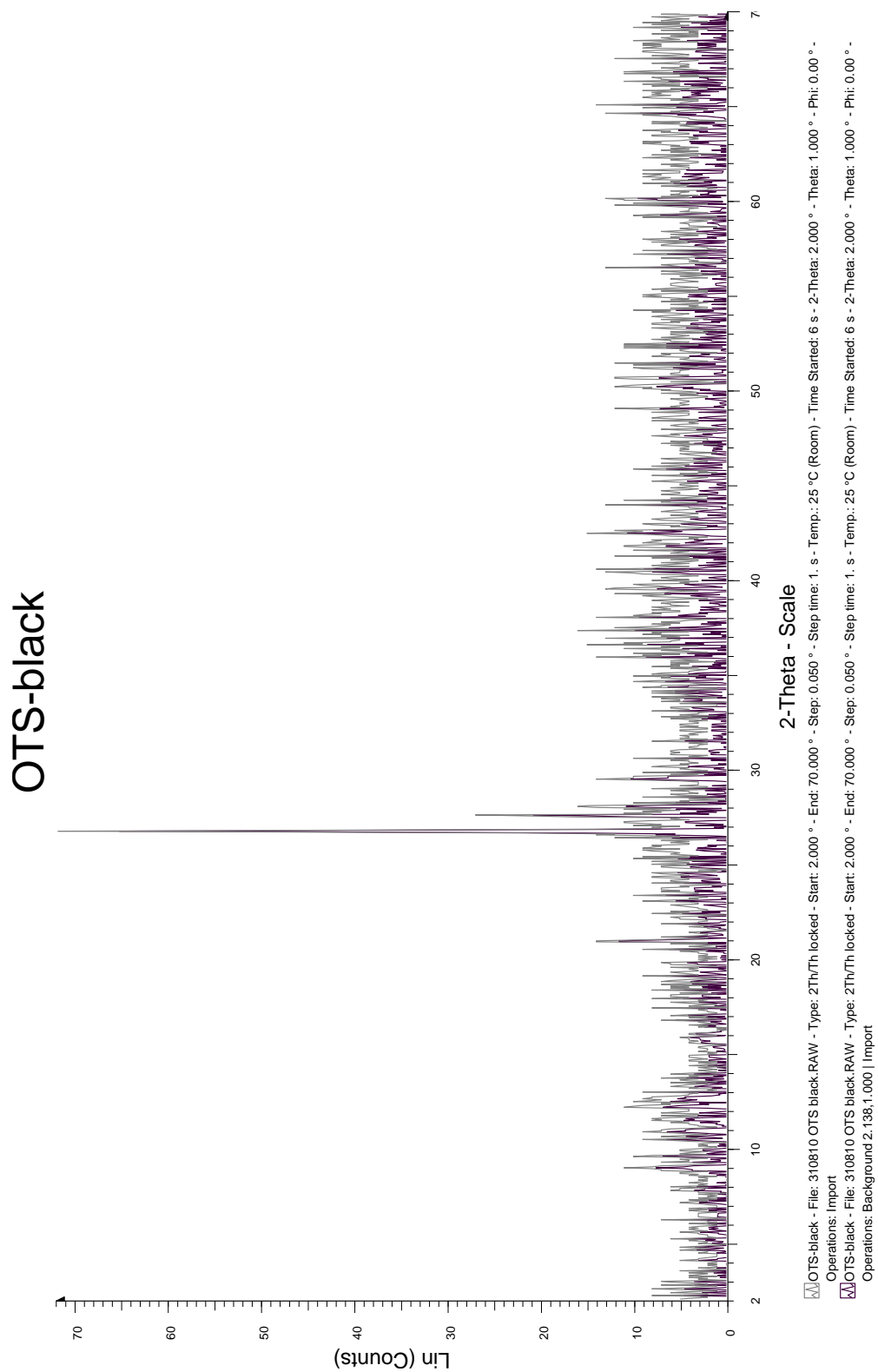
XRD og SEM av utfellingar 2010-2015

Vedlegg 10 – XRD og SEM av utfellingar 2010–2015

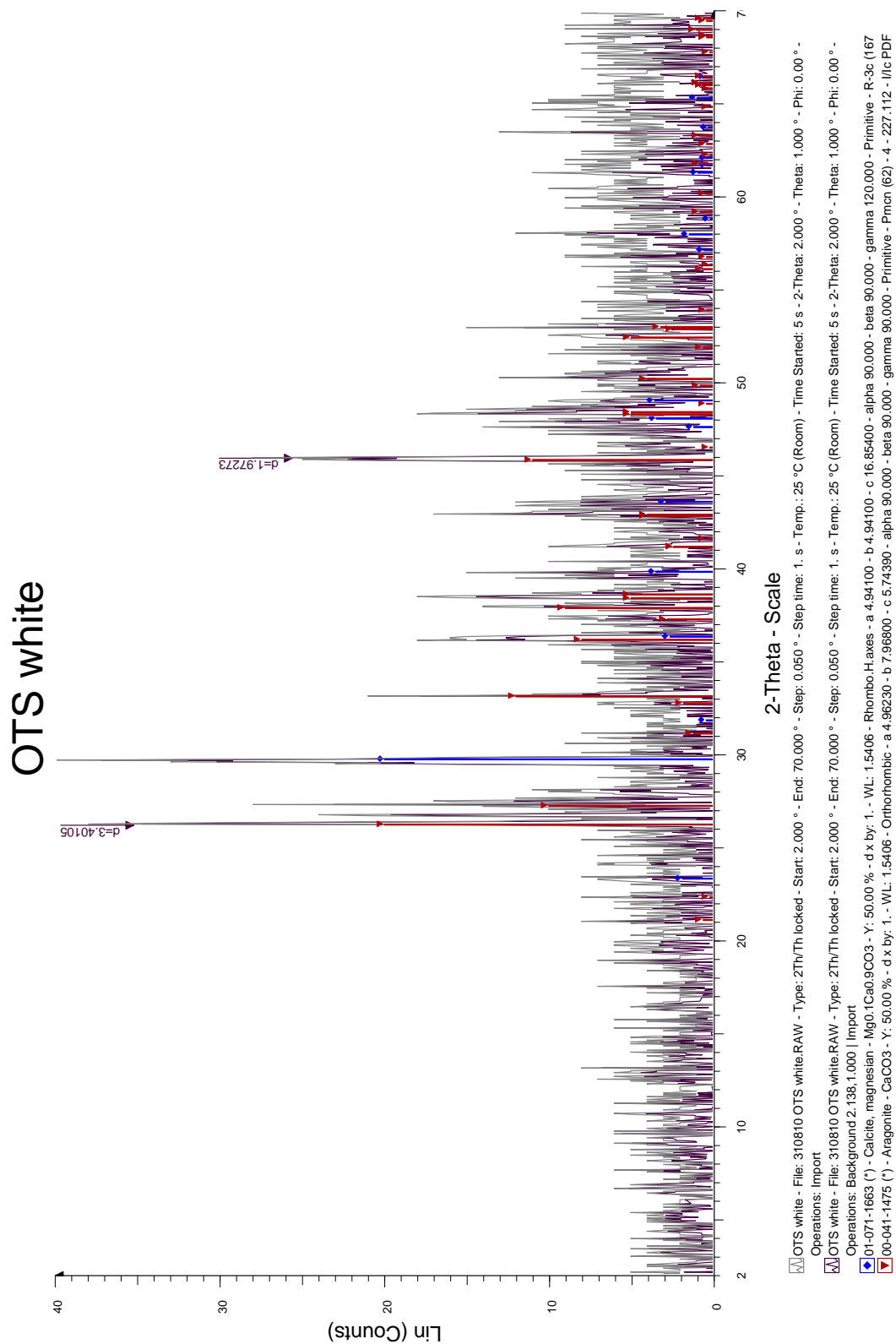
Røntgenopptak (XRD) av utfellingar på sprøytebetong, Felt 2 og Felt 3 i 2010



V10.1. Felt 2 (2010). Utfelling i lekkasjestripe med biofilm på sprøytebetongoverflata (blanding av mørkt og rustfarga): birnessitt (Mn-oksiderende bakterie), kalsitt og dolomitt (begge er kalsiumkarbonat). Opptaket viser litt høg bakgrunn (= innslag av uidentifisert amorf materiale). Kvarts og feltspatar er partiklar frå tilslaget. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

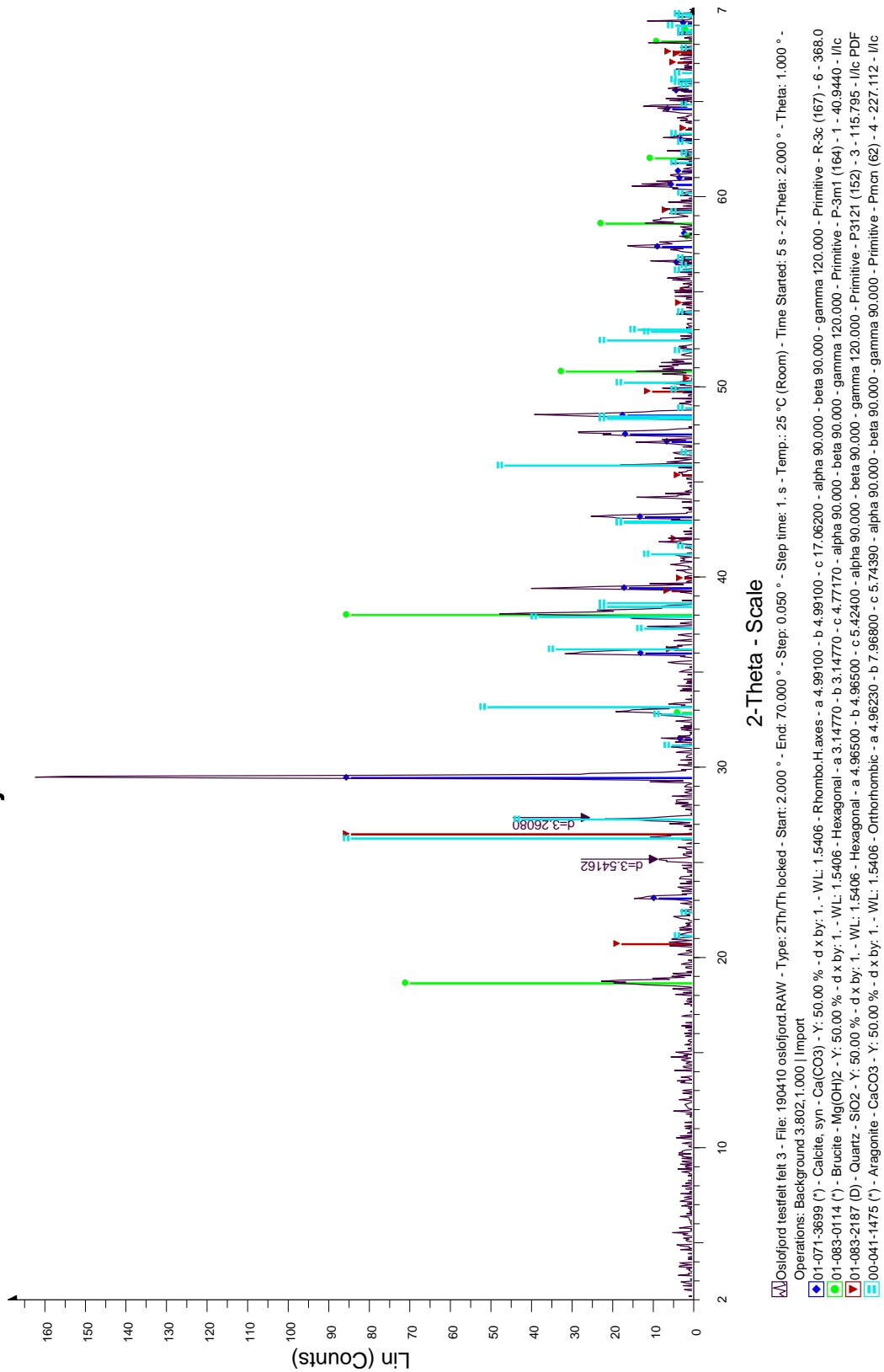


V10.2. Felt 2 (2010). Prøve frå lekkasjestripe dominert av mørk Mn-rik- og litt rustfarga biofilm på sprøytebetongoverflata. Stort sett amorph bakterielt materiale. Den mest markerte toppen er kvarts. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.



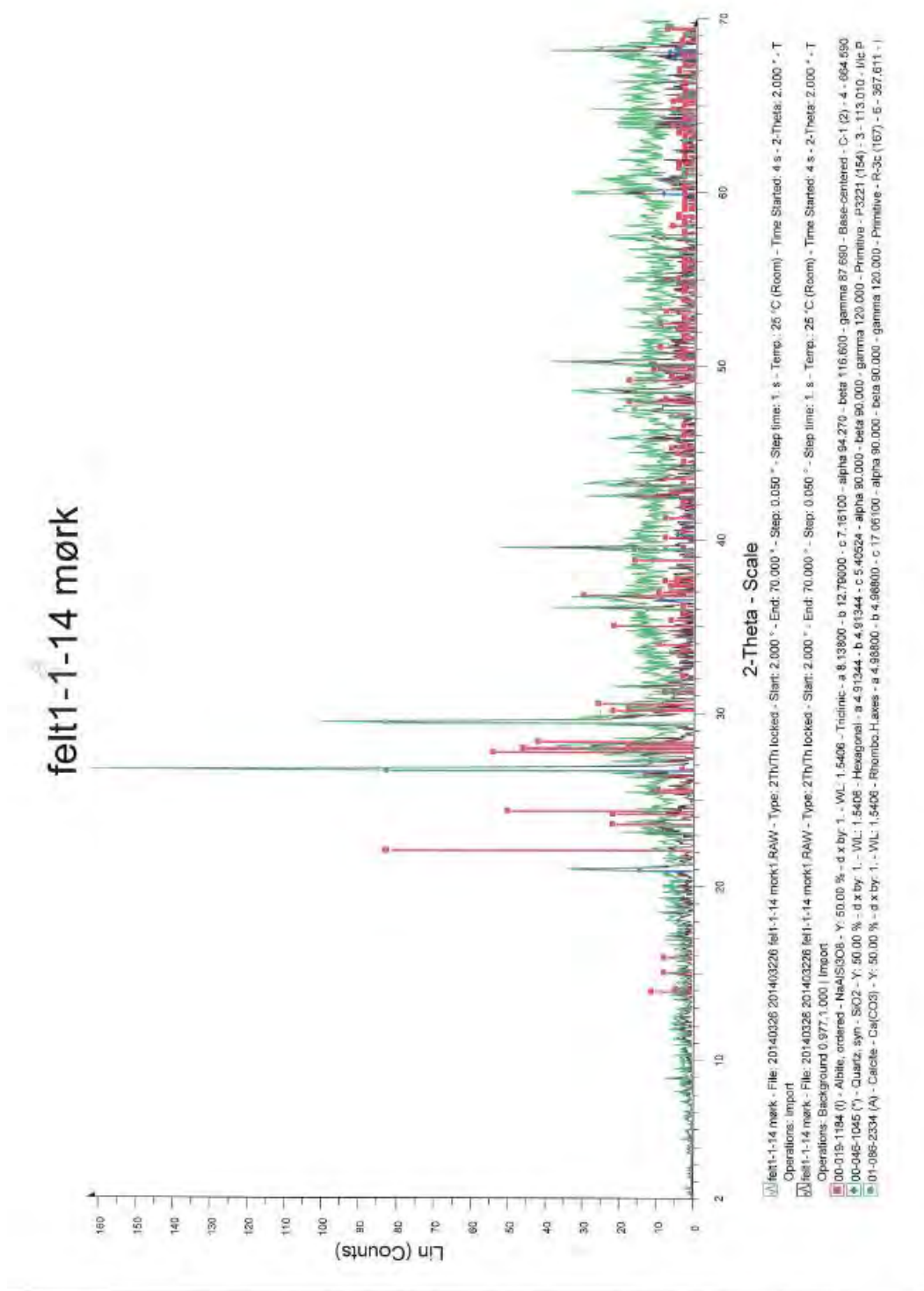
V10.3. Felt 2 (2010). Lys utfelling i lekkasjestrøpe på overflata av sprøytebetong, med kalsiumkarbonata kalsitt og aragonitt. Stort sett amorft materiale (høg bakgrunn) og nokre uidentifiserte. Relativt høgst bakgrunn mellom 30°–40° og 55°–65° (2-theta) kan representere ferrihydritt ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), som typisk dannast ved bakteriell oksidasjon av jern. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Oslofjord testfelt felt 3



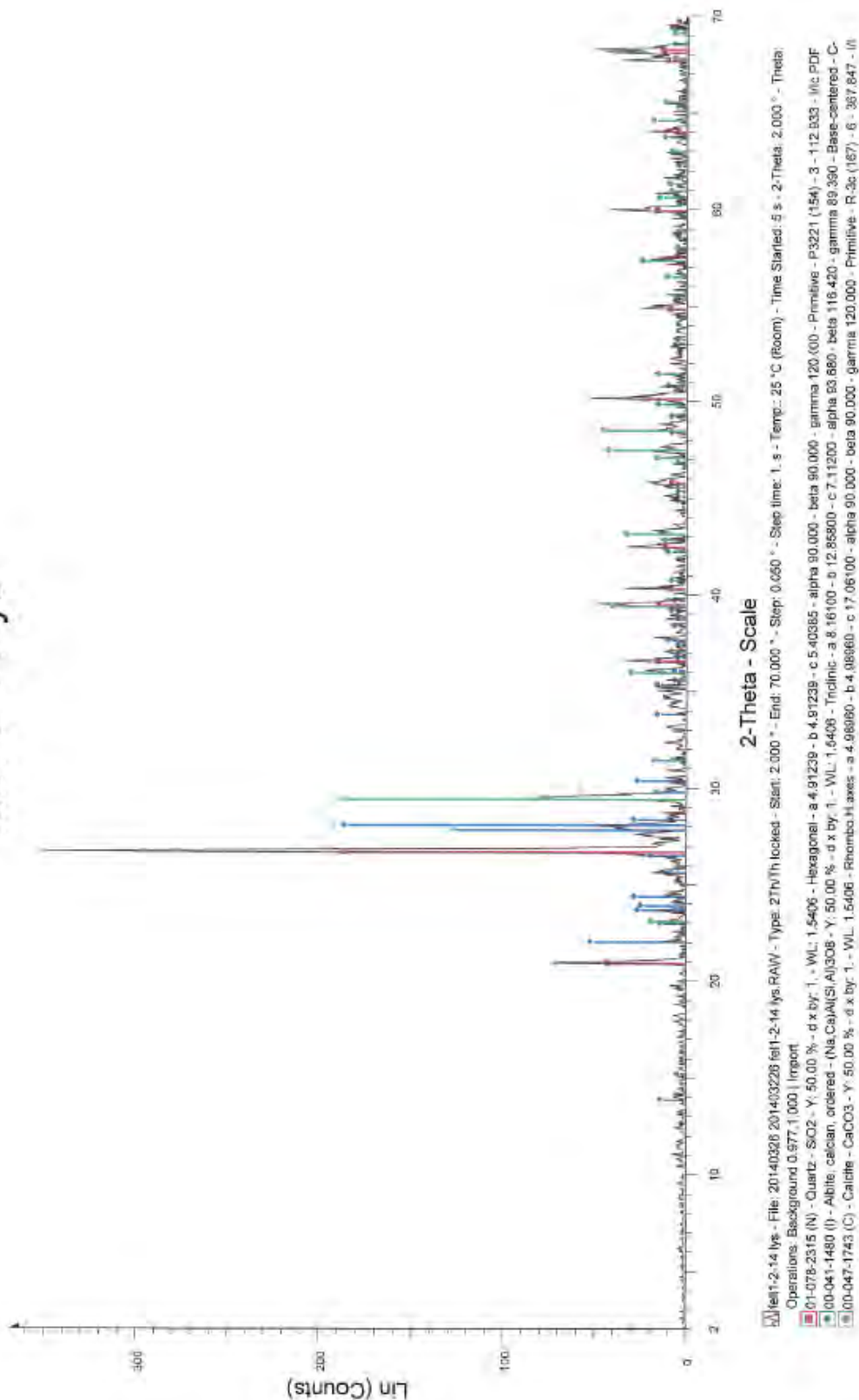
V10.4. Felt 3 (2010). Kvit fast utfelling av brucitt ($Mg(OH)_2$), kalsitt og aragonitt (begge er kalsiumkarbonat) på overflata, danna ved utfelling frå liten lekkasje gjennom sprøytebetongen. Viser at sprøytebetongen på Felt 3 er påverka av salt grunnvatn frå bergmassen. Overflata mot tunnelrommet var relativt tørr utan biofilm. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Røntgenopptak (XRD) av utfellingar på sprøytebetong, Felt 1, Felt 2 og Felt 3 i 2014



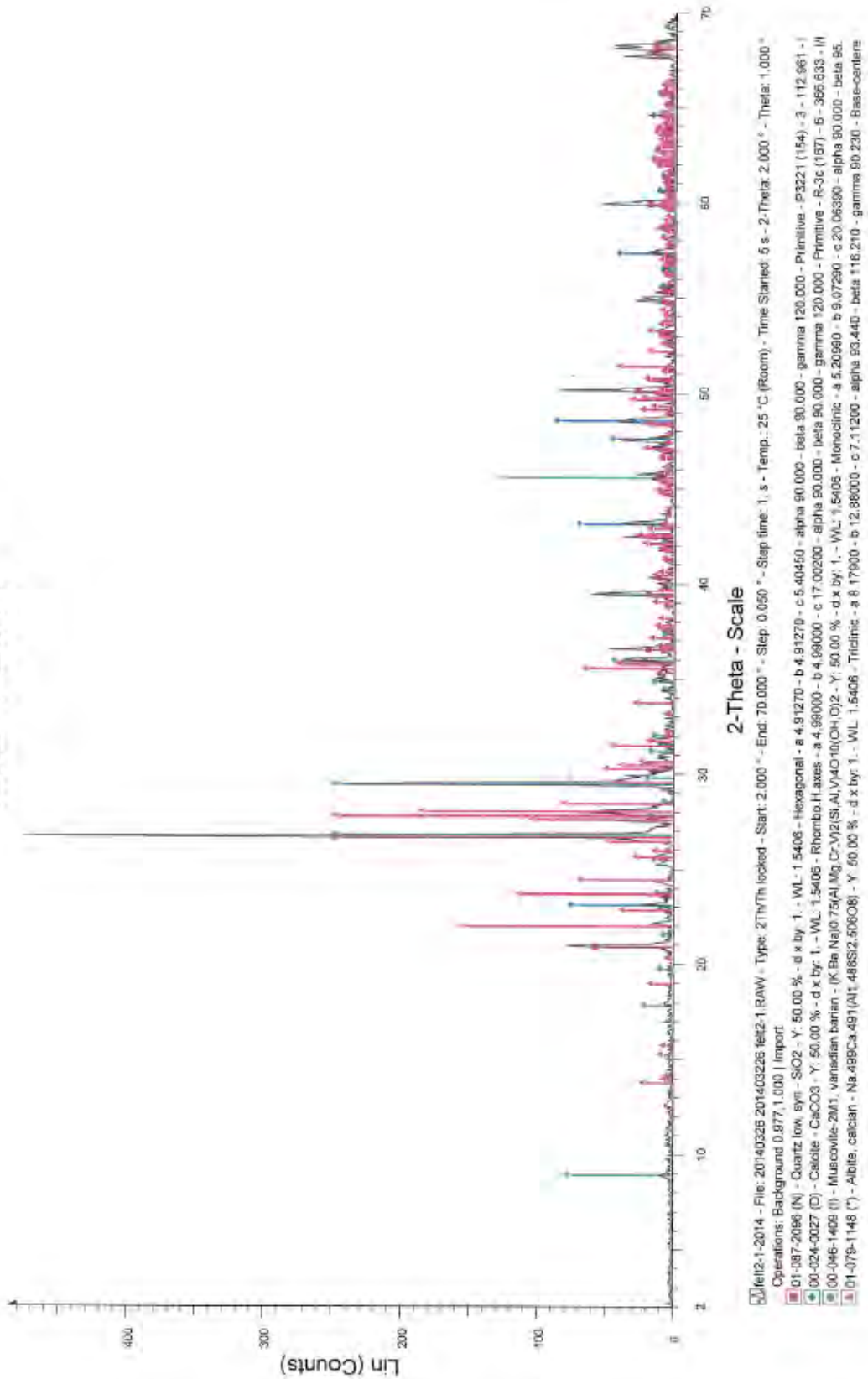
V10.5. Felt 1 (2014). Mørkt biofilmmateriale med Mn og Fe på PP-fiber i overflata. Kalsitt er danna ved utvasking av sementlimet. Kvarts og albitt representerer partiklar frå tilslaget. Bakgrunnsstøyen (grøn linje) er relativt høg og viser at det er ein god del amorfe bestanddelar i biofilmen. Relativt høgst bakgrunn mellom 30°–40° og 55°–65° (2-theta) kan representere ferrihydritt ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) som typisk dannast ved bakteriell oksidasjon av jern. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

felt1-2-14 lys

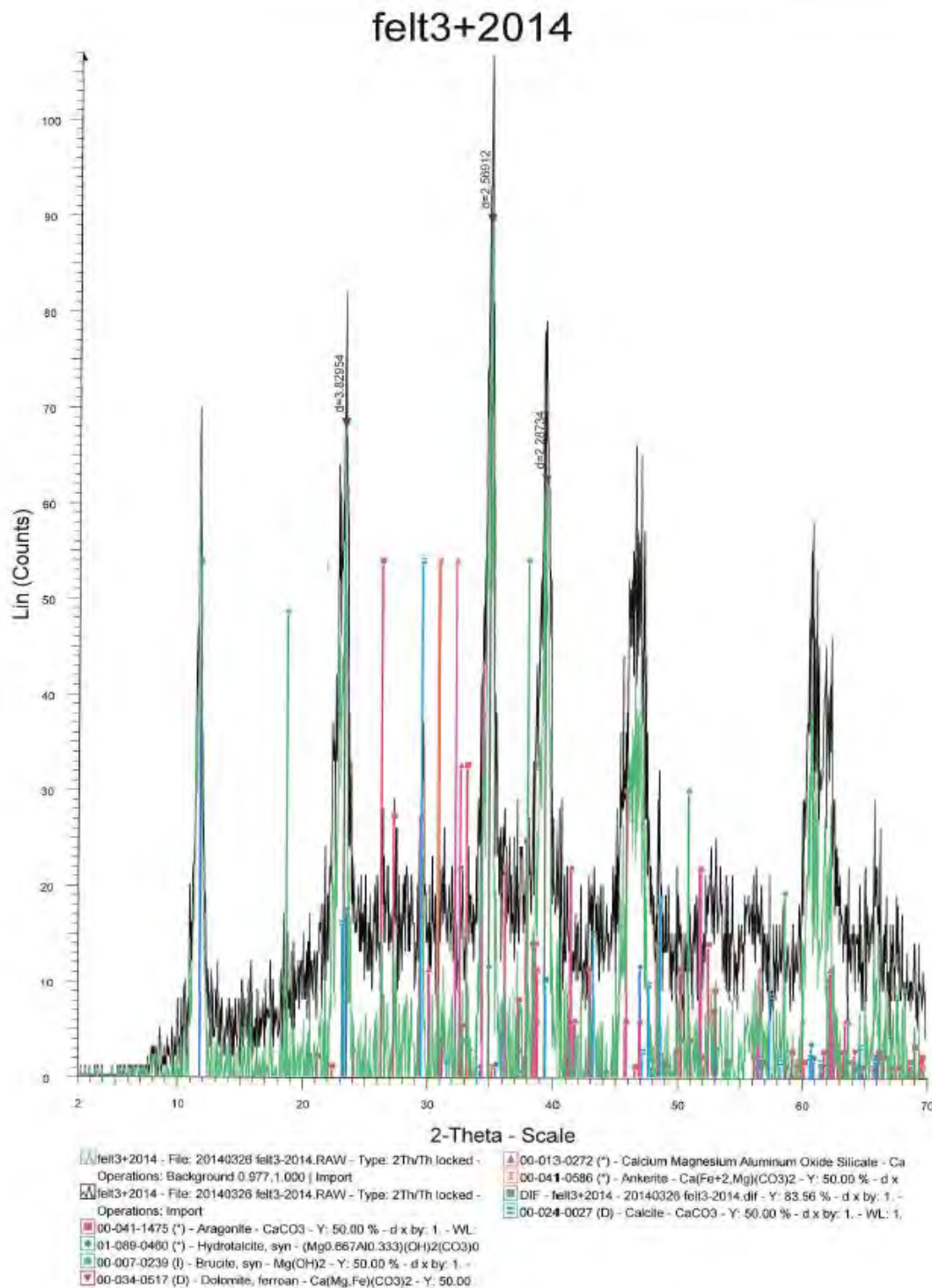


V10.6. Felt 1 (2014). Utfelling «felt1-2-14 lys» av svak betongsprut på PP-fiber er tatt av lyst materiale rett under prøve «felt1-1-14 mørk» (V10.5). Består hovedsakleg av kalsitt danna ved utluting av sprøytebetongen og tilslagspartiklar av kvarts og plagioklasfeltspat (albite-calcian). Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

felt2-1-2014



V10.7. Felt 2 (2014). Ytre sprøytebetong med litt utfelling med kalsitt dannet ved utlutning av sprøytebetongen. Elles innslag av tilslagspartiklar av kvarts, plagioklas og Ba- og V-førande muskovitt. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

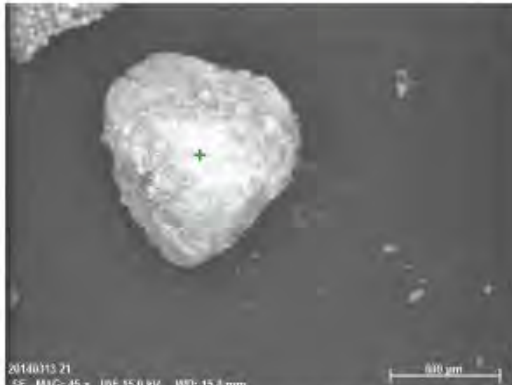


V10.8. Felt 3 (2014). Kvit utfelling på sprøytebetong med karbonatminerala (aragonitt, kalsitt, dolomitt, ankeritt), brucitt, hydrotalkitt og kalium magnesium aluminium oksid silikat. Karbonata og brucitt er danna ved utfelling frå vatn i kontakt med sprøytebetong og stålfiber. Hydrotalkitt er eit sementhydrat, men kan også danne utfellingar i samband med sulfatangrep. Ca-Mg-Al silikatet er truleg danna ved interaksjon mellom magnesium i grunnvatnet og nedbryting av sementlimet. Fleire toppar er uidentifiserte. Den svært høge bakgrunnen vitnar om stort innslag av amorge utfellingsprodukt. Figur V.16 viser totalkjemi for denne prøva. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Scanning elektronmikroskopi (SEM): prøver fra sprøytebetong, Felt 1, Felt 2 og Felt 3 i 2014

Felt 1 utfelling

Application Note
Company / Department



20140313 21 Date:19.03.2014 12:18:20 Image size:300 x 225 Mag:45x HV:15.0kV

20140319 felt1 Date:19.03.2014 12:18:33 HV:15.0kV Puls th.:1.52kcps

EI	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound	Comp. C [wt.%]	norm. Comp. C [wt.%]	Error (1 Sigma)
Fe	26	K-series	45,78	41,86	18,22	FeO	52,86	58,85	1,42
O	8	K-series	42,84	38,93	59,12		0,00	0,00	6,64
C	6	K-series	7,78	7,12	14,40	CO2	26,08	28,50	2,21
Si	14	K-series	5,06	4,63	4,01	SiO2	9,90	10,82	0,27
Mn	25	K-series	4,05	3,70	1,64	MnO	4,78	5,23	0,18
Ca	20	K-series	2,19	2,01	1,22	CaO	2,81	3,07	0,11
Cl	17	K-series	0,75	0,69	0,47		0,69	0,75	0,07
Al	13	K-series	0,41	0,38	0,24	Al2O3	0,71	0,78	0,06

Spectrum: 2014037 Felt 1

EI	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	45,78	41,86	18,22	1,42
O	8	K-series	42,84	38,93	59,12	6,64
C	6	K-series	7,78	7,12	14,40	2,21
Si	14	K-series	5,06	4,63	4,01	0,27
Mn	25	K-series	4,05	3,70	1,64	0,18
Ca	20	K-series	2,19	2,01	1,22	0,11

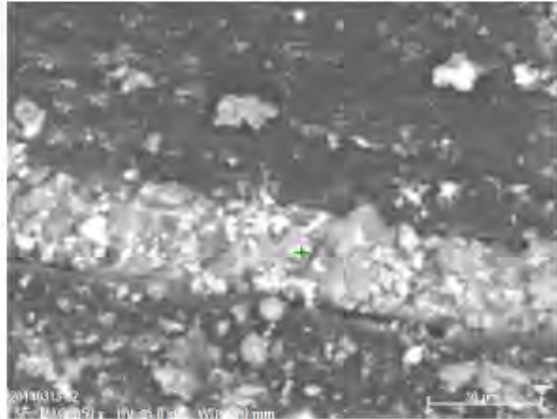
19.03.2014

1. Page

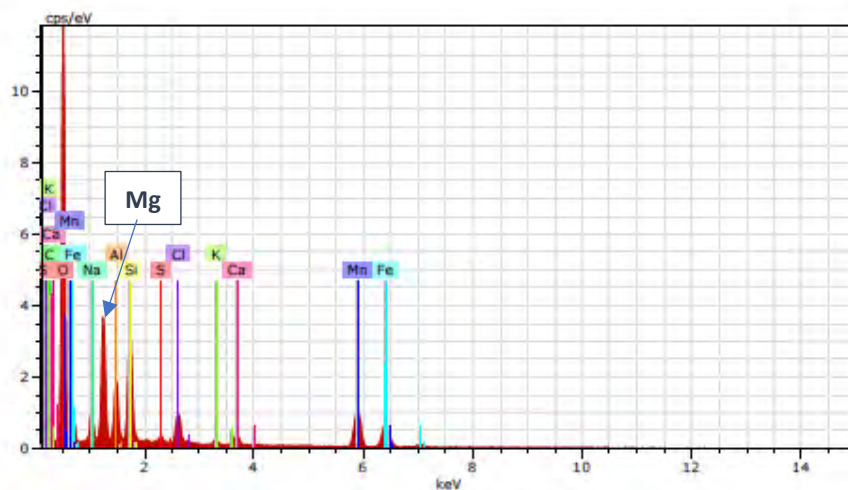
V10.9. Felt 1 (2014). Punktanalyse «Felt 1». Utrekning basert på atom % viser at utfellinga består av FeOOH (substituert med Mn), samt litt CaCO₃ og organisk karbon. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Felt 1 – Utfelling langs oppflisa makro PP-fiber

Application Note
Company / Department



20140313 22Date:19.03.2014 12:25:31Image size:300 x 225Mag:850xHV:15.0kV



20140319 felt1 Date:19.03.2014 12:28:03 HV:15.0kV Puls th.:3.48kcps

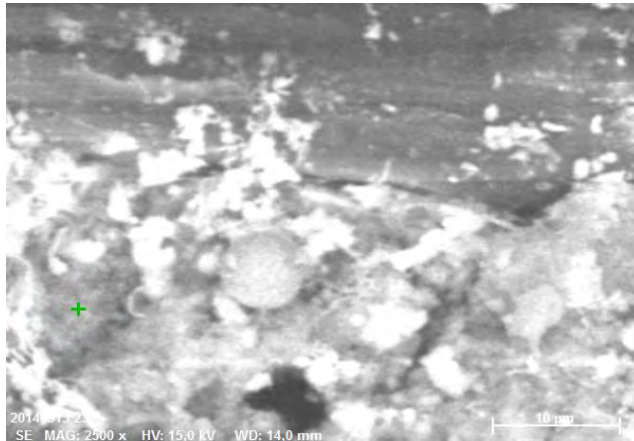
Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
2014037 felt1	26,45	89,14	2,47	-	2,90	5,43	0,41	2,45	0,49	1,39	15,54	11,36

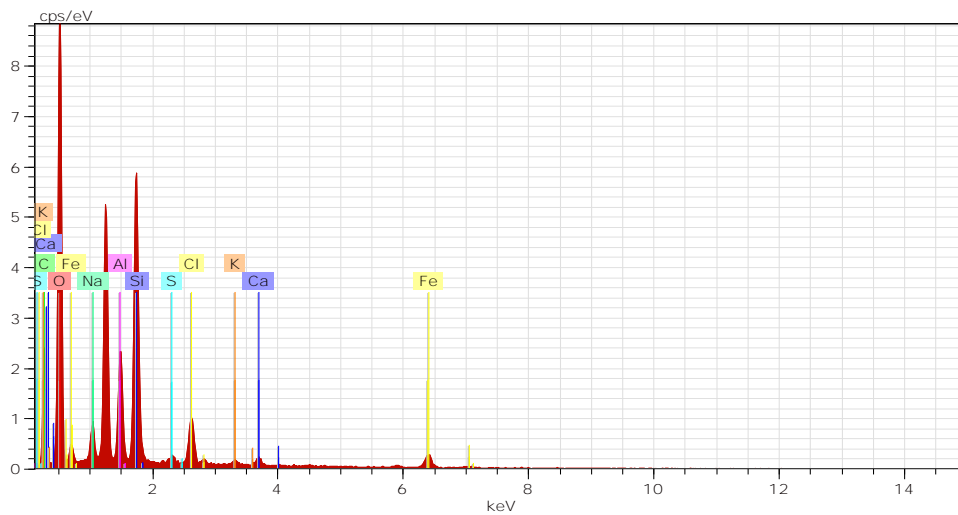
V10.10. Felt 1 (2014). Punktanalyse «Felt 1b» av kuleforma utfelling mellom fibrar i PP-fiber. Utfellinga består av mangan- og jernoksid, magnesium & kalsium (truleg som karbonat), samt Si, Al, Na, Cl og S. På grunn av problem med softwaret kom Mg bare fram på EDS spekteret og ikkje i tabellen. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Felt 1 – Utfelling langs oppflisa makro PP-fiber

Application Note Company / Department



20140313 23 Date:19.03.2014 12:32:50 Image size:300 x 225 Mag:2500x HV:15,0kV



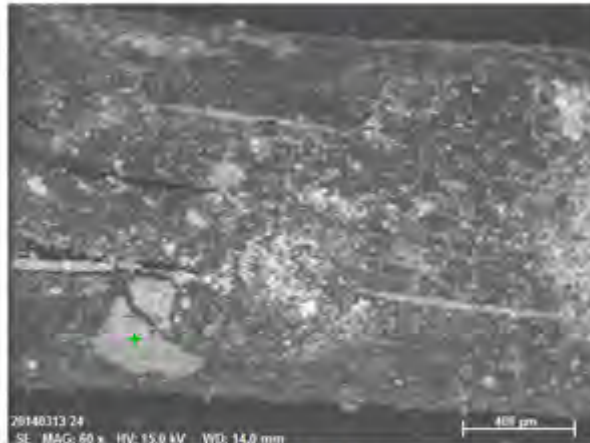
2014felt1 c Date:19.03.2014 12:33:37 HV:15,0kV Puls th.:3,17kcps

Mass percent (%)

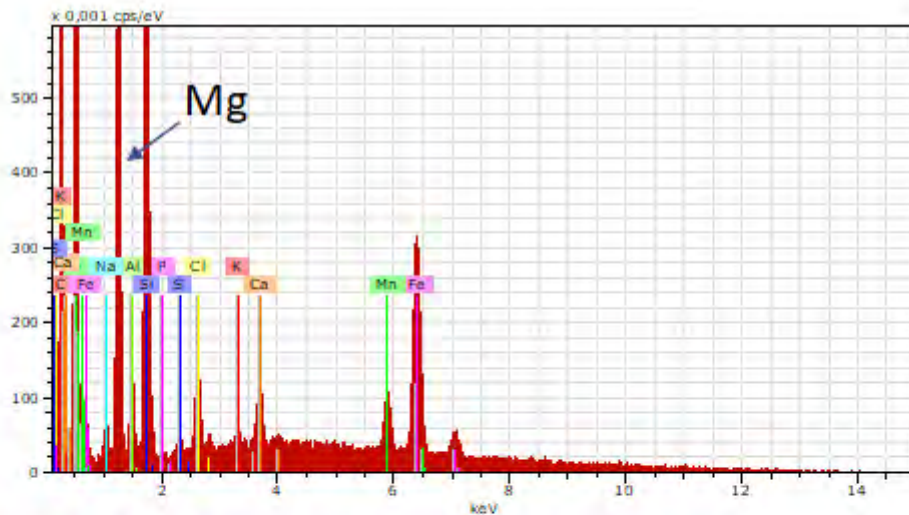
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
Mean value:	20,68	75,37	1,70	0,16	2,61	7,33	0,37	2,21	0,32	1,40	9,79	20,62

V10.11. Felt 1 (2014). Punktanalyse «Felt 1c» av biofilmmateriale internt i PP-fiber, med høgt innhald av Fe og Mn oksid, elles nokså likt «felt 1b». Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Felt 1 – Utfelling på makro PP-fiber



20140313 24 Date: 19.03.2014 12:48:53 Image size: 300 x 225 Mag: 60x HV: 15,0kV



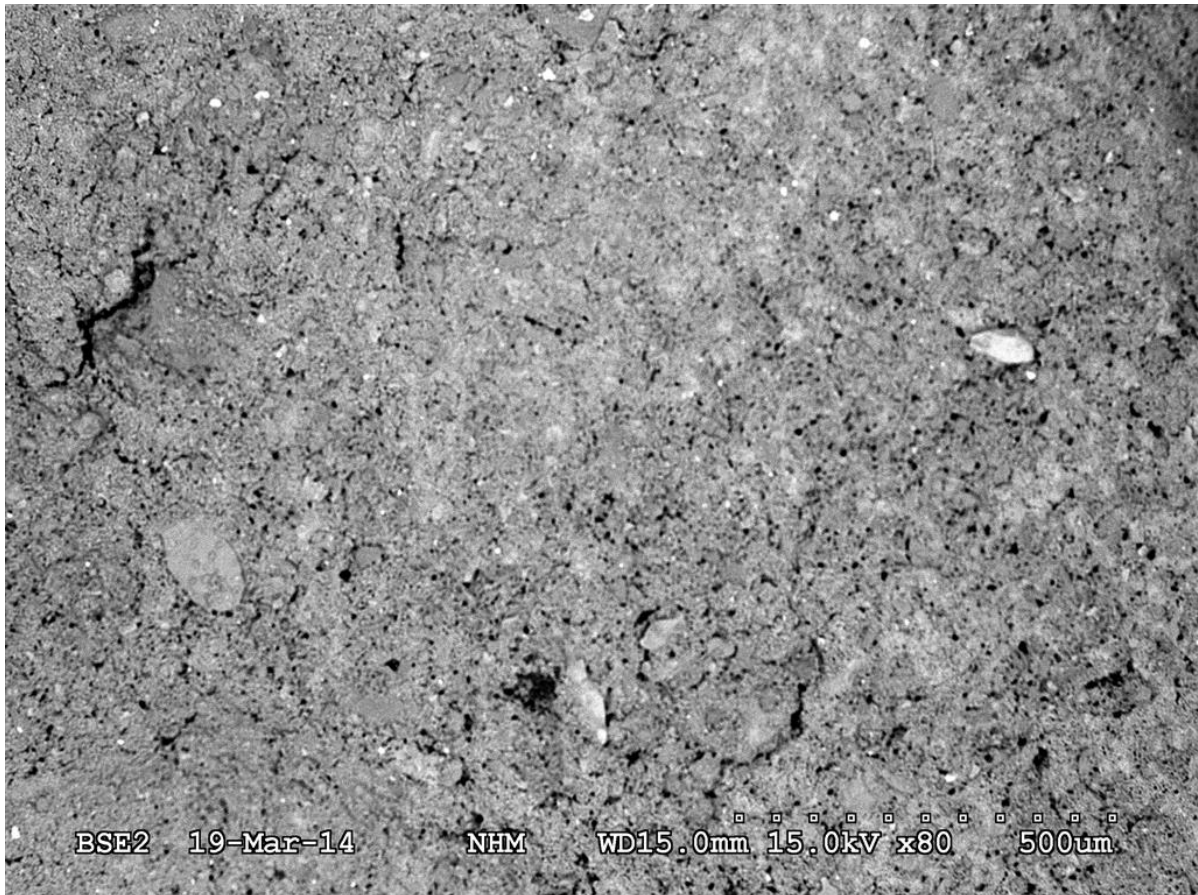
2014 felt1 f Date: 19.03.2014 12:47:12 HV: 15,0kV Puls th.: 0,87kcps

Mass percent (%)

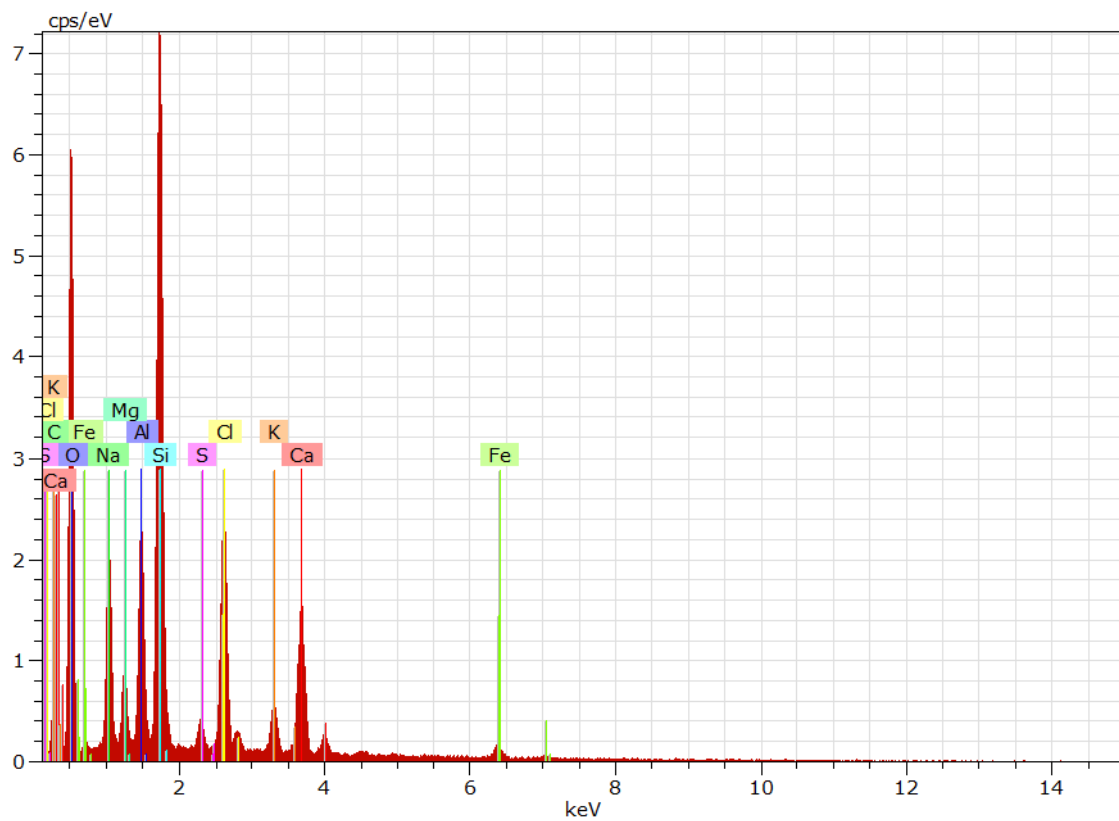
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
	9,87	36,40	0,23	-	0,43	5,42	0,00	0,01	1,12	0,23	1,04	1,81	8,63

V10.12. Felt 1 (2014). Punktanalyse «Felt 1f» av utfelling på utsida av PP-fiber. Fe-Mn oksid dannet fra biofilm med litt kalsitt, samt Mg rik fase (truleg magnesitt), Si, Al og Ca. Muleg innslag av organisk C. Små mengder av Na, Cl og S fra salt lekkasjevatn. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Felt 2 – Utfelling knytta til biofilm



V10.13. Felt 2 (2014). Område 1. Utfelling med innslag av biofilm. SEM-Back scatter foto. Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.



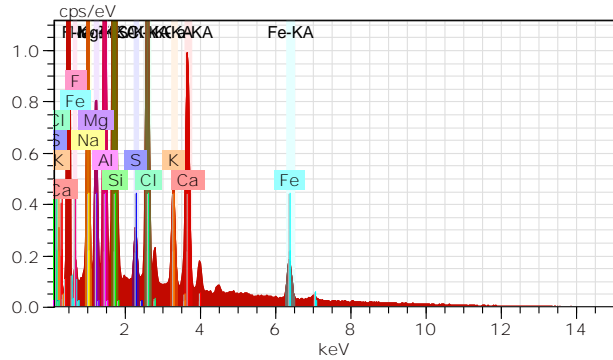
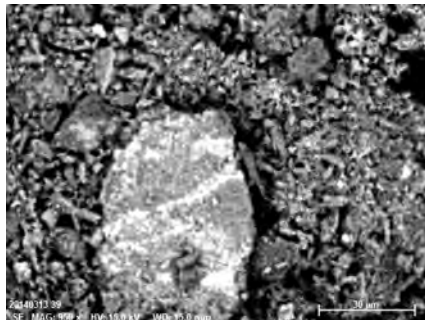
Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
	7,94	54,62	6,64	1,91	5,23	17,38	0,89	8,74	1,98	7,51	2,42

V10.14. Felt 2 (2014). Område 1. Totalkjemisk scan over heile arealet i V10.13. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Application Note

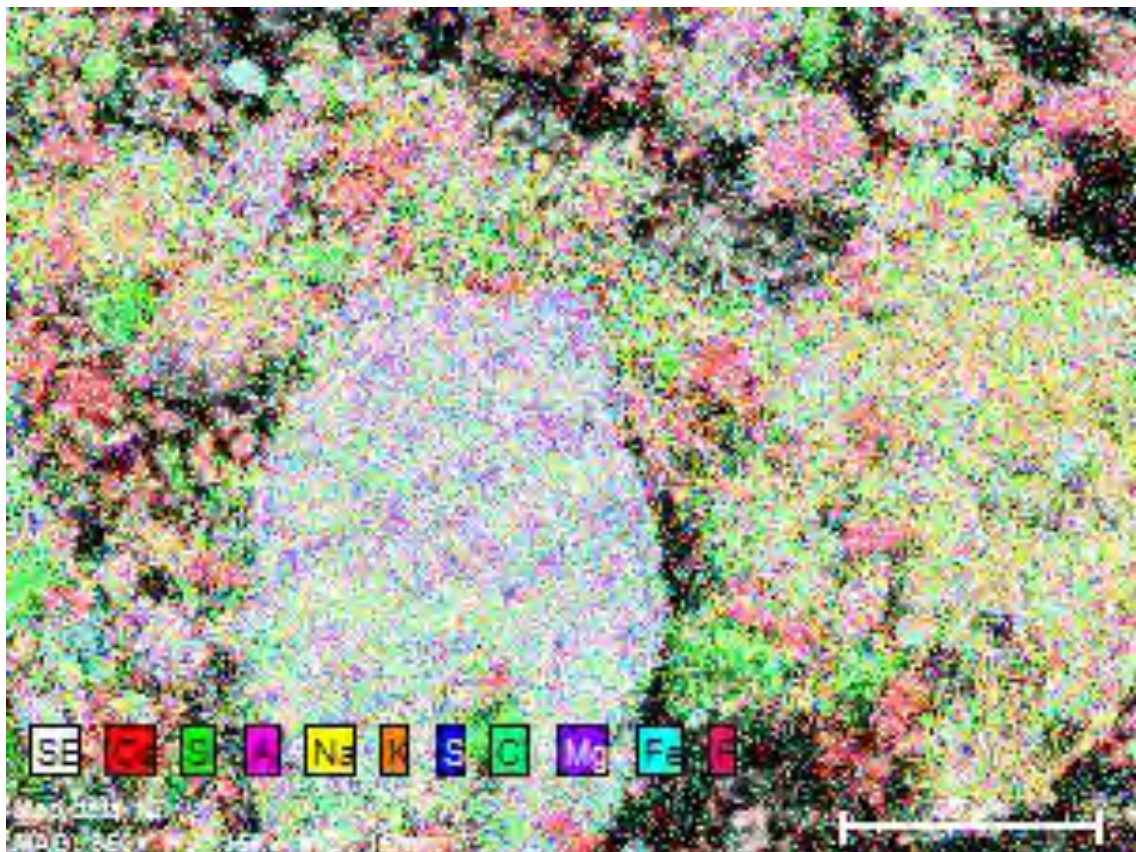
Company / Department

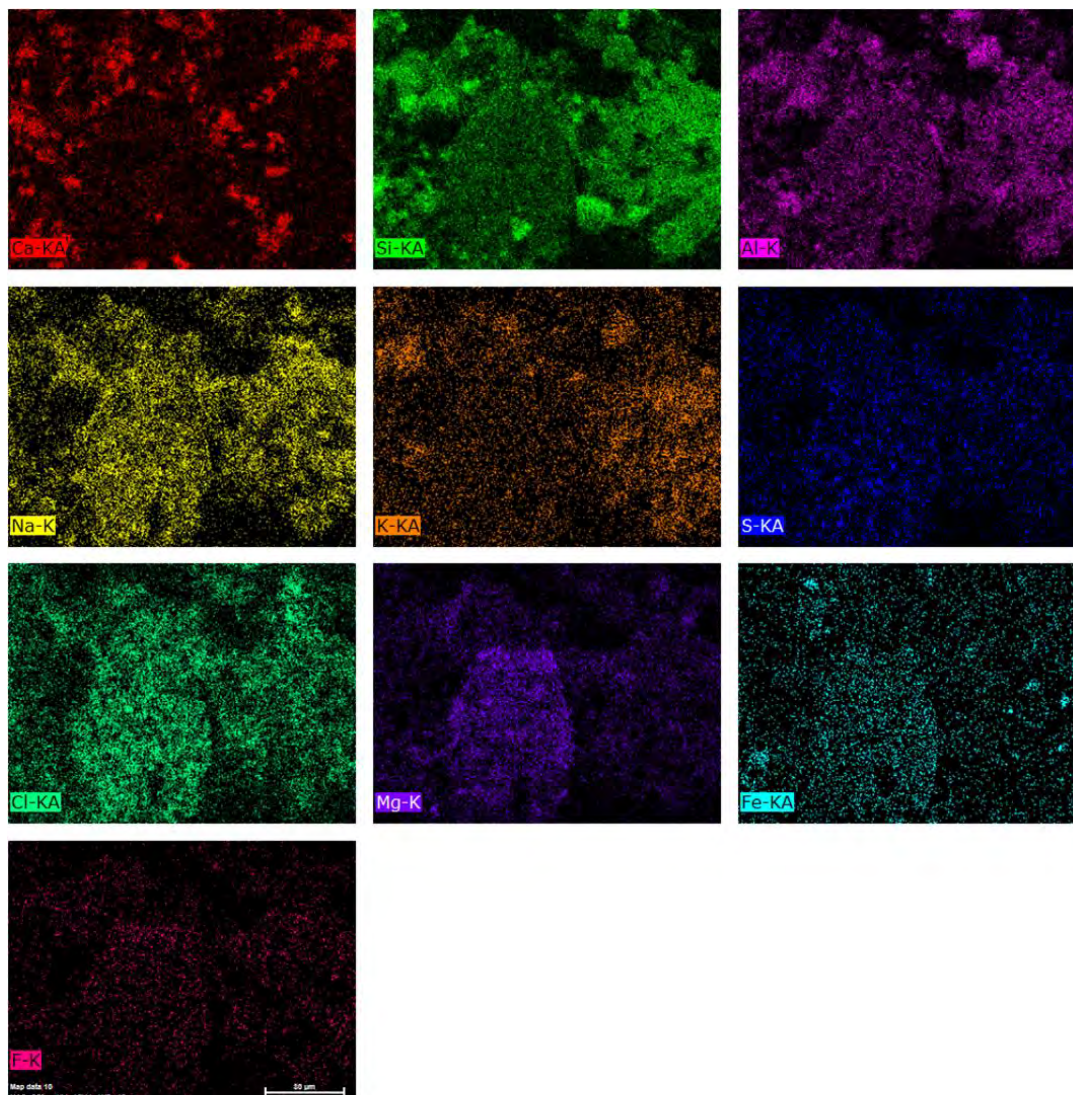


20140313 39 Date:19.03.2014
10:31:43 Image size:300 x
225 Mag:950x HV:15,0kV

Map Date:19.03.2014 10:50:10 HV:15,0kV
Puls th.:2,41kcps

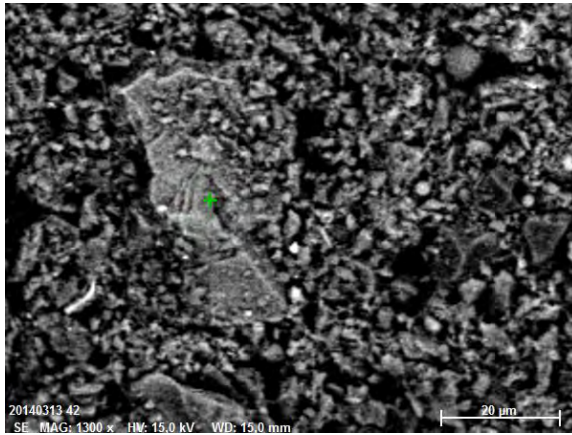
Map data 10 Date:19.03.2014 10:50:13 Image size:300 x 225 Mag:950x HV:15,0kV



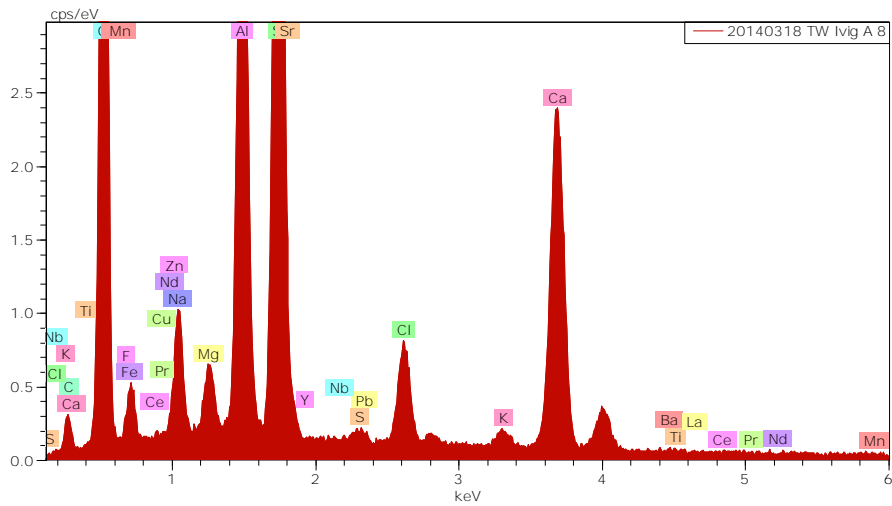


Ca-KA, Si-KA, Al-K, Na-K, K-KA, S-KA, Cl-KA, Mg-K, Fe-KA, F-KDate:19.03.2014
 10:59:26
 Image size:300 x 225
 Mag:950x
 HV:15,0kV

V10.15. Felt 2 (2014). Område 2.Elementfordeling («X-ray mapping») av eit lite område innanfor figur V10.13. Målestokk = 30 μm . Bilde på førre side viser bilde i SEM (secondary electron modus, som viser formene til partiklane, dei lyse stripene er artefakt på grunn av overlading). Denne sida: Partikkelen sentralt i bildet består av Na ~ Cl > Mg ~ Fe med innslag av Si, K, Al, S og F. Matriksen omkring viser område med hovudsakleg Ca (kalsitt og sementhydrat). Samanfall mellom K, Si og Al viser område med kalifeltspat. Si utan samanfall med andre element representerer kvarts. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.



20140313 42 Date: 19.03.2014 11:07:51 Image size: 300 x 225 Mag: 1300x HV: 15,0kV



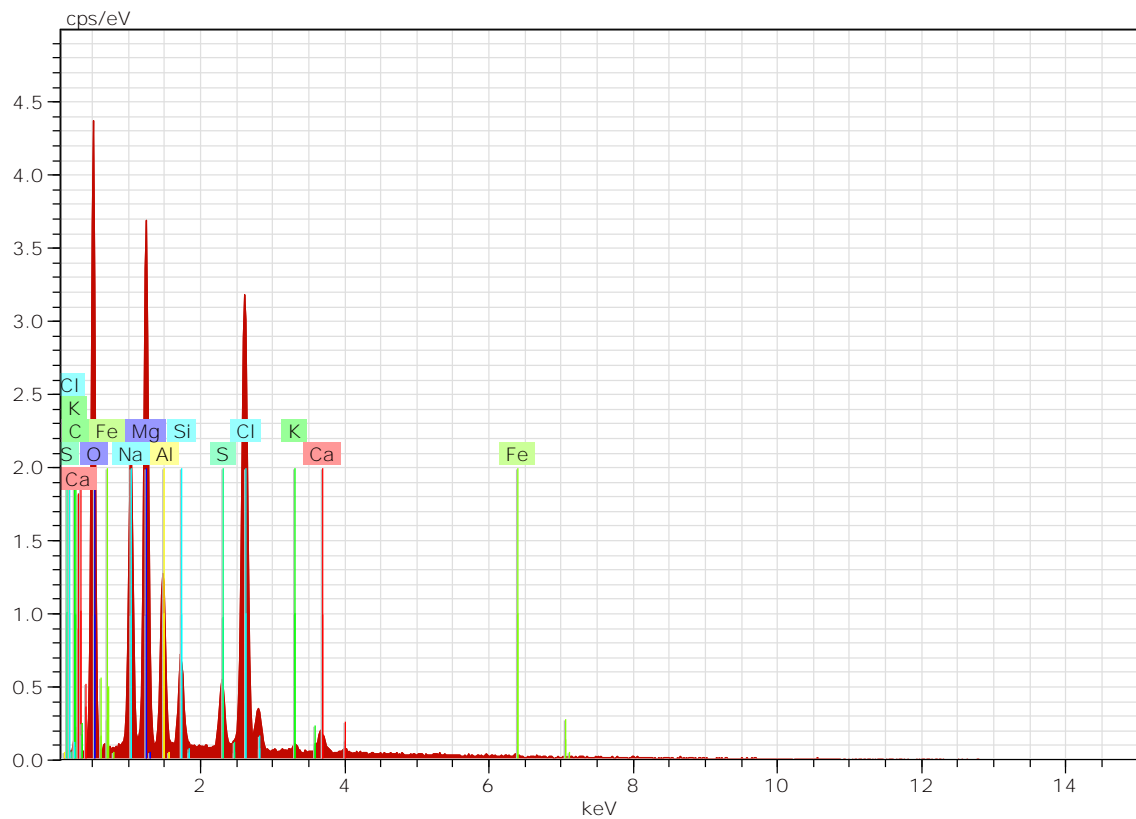
20140318 felt2-1-2014 d Date: 19.03.2014 11:08:02 HV: 15,0kV Puls th.: 3,03kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti
	1,60	46,44	-	3,33	1,45	12,40	17,69	-	0,23	2,56	0,56	15,54	-
	Mn	Fe	Zn	Sr	Y	Nb	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pb	
	-	7,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

V10.16. Felt 2 (2014). Punktanalyse av eit enkeltmineral innan området i figur V10.13. Ikkje identifisert. Målestokk = 20 µm. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Felt 3 – Totalkjemisk sammansetning av kvit utfelling



Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	
2014 felt3	2,90	34,17	10,74	16,68	5,16	2,75	2,23	17,55	0,25	1,39	0,24

V10.17. Felt 3 (2014). Bulkkjemisk analyse av kvit utfelling (same prøve med XRD: sjå V10.8). Viser at utfellinga i tillegg til minerala som blei identifiserte ved XRD inneheld mykje natrium, klor og litt svovel: mengdeforholda er omtrent likt sjøvatn og salt grunnvatn på staden. Utført av Hans-Jørgen Berg, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

Vedlegg 11

XRF- og SEM analysar etter eksponering til 2015

Vedlegg 11 – XRF- og SEM analysar etter eksponering til 2015

Røntgenopptak (XRD) av utfellingar på to plateprøver og ei «karprøve»

Plateprøver: P-GA1 (resept 1/Grøft A) og P-GB1 (resept 1/Grøft B).

Karprøve: K-GA3 (resept 3/Grøft A) på utbora 75 mm sylinder.

Tabellen på neste side viser mineralinnhaldet i prøvene (prøver utanom ramma er ikkje frå testfeltet).



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for geologi og bergteknikk

Vår dato
27.10.2015
Deres dato
12.10.2015

Vår referanse
LT / 15-112
Deres referanse
603245

1 av 8

Statens vegvesen Vegdiktoretet
Per Hagelia
Postboks 8142 Dep.
0033 Oslo

XRD-analyse av 6 prøver av utfellingar.

Analysene er utført på en Bruker D8 ADVANCE, DIFFRAC.SUITE.EVA programvare i kombinasjon med databasen PDF-4+ foreslår følgende mineralfaser (se tabell side 2).

Rietveld (Topas 4) er brukt til mineral-kvantifisering på 4 prøver.

Prøve K-GA3 og 15930-1 er analysert på en enkelt silisiumkrystall og resultatene er derfor kvalitative.

Med hilsen

Laurentius Tjihuis
Overingeniør

Torill Serløkk
Torill Serløkk
Overingeniør

Postadresse
7491 Tinnheim

Org.nr. 974 767 880
E post:
gib-info@vvl.ntnu.no
<http://www.vt.ntnu.no/itb>

Besøksadresse
Sem Sælands vei 1
0404 Hauken

Telefon
+47 73 59 48 10
Telefaks
+47 73 59 48 14

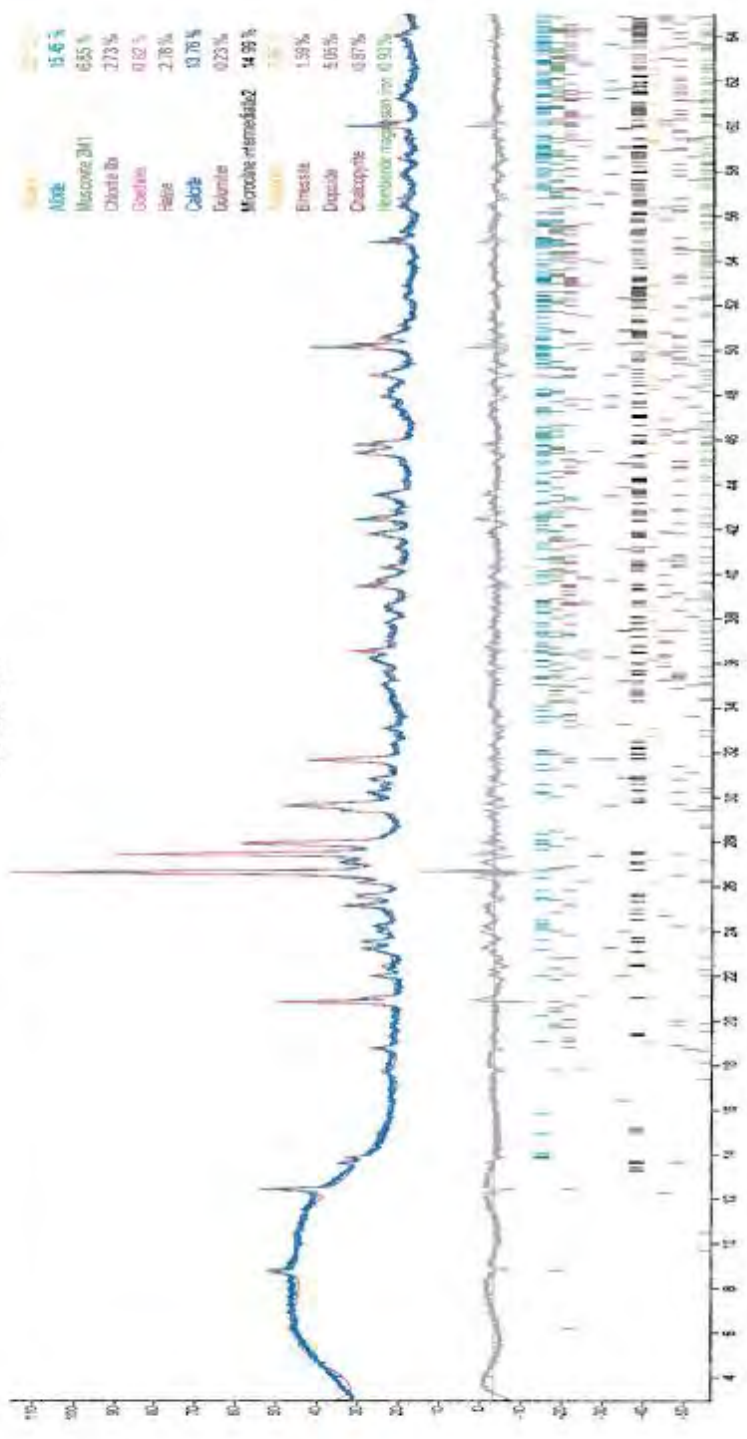
Laurentius Tjihuis
Mobil: +47 91 89 71 34

Prøve mrk.	P-GB1	P-GA1	K-GA3	15930-1	887V	1377H
J.nr.	150650	150651	150652	150653	150654	150655
Kvarts	26 %	33 %	X	X	1 %	< 1 %
Plagioklas	15 %	23 %	X	X	1 %	< 1 %
Alkalifeltspat	15 %	24 %	X	X	2 %	2 %
Pyroksen	5 %	5 %				
Amfibol	< 1 %	< 1 %	X	X		
Epidot					1 %	2 %
Glimmer	7 %	7 %	X	X	4 %	3 %
Kloritt	3 %	3 %		X	2 %	
Kalsitt	14 %	2 %	X	X		4 %
Aragonitt	8 %					
Dolomitt	< 1 %	< 1 %				
Gøthitt	< 1 %	1 %				
Halitt	3 %					
Birnessitt	2 %	< 1 %	X	X		1 %
Kopperkis	< 1 %					
Lepidokrositt		1 %				< 1 %
Svovelkis				X		
Bassanitt					88 %	84 %
Gips					1 %	2 %

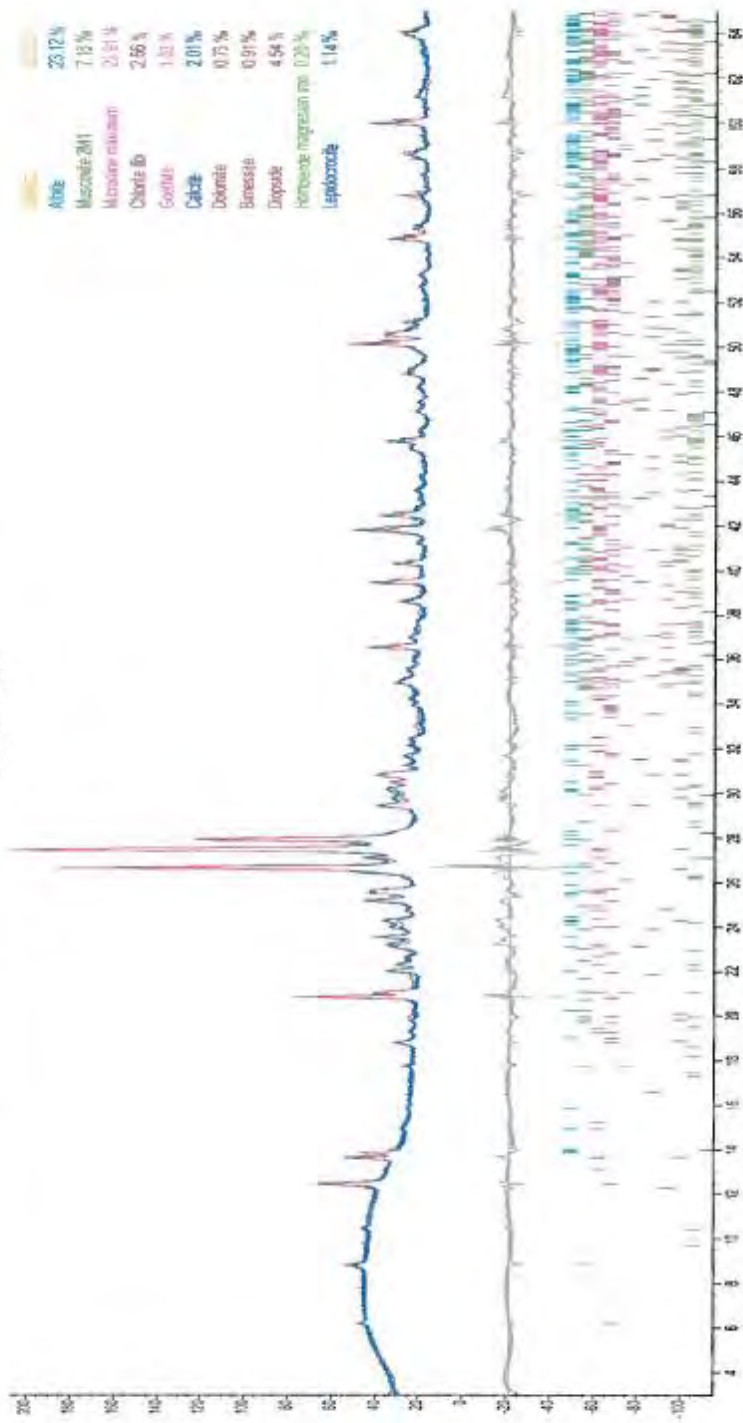
Vår dato 27.10.2015 Vår referanse LT / 15-112

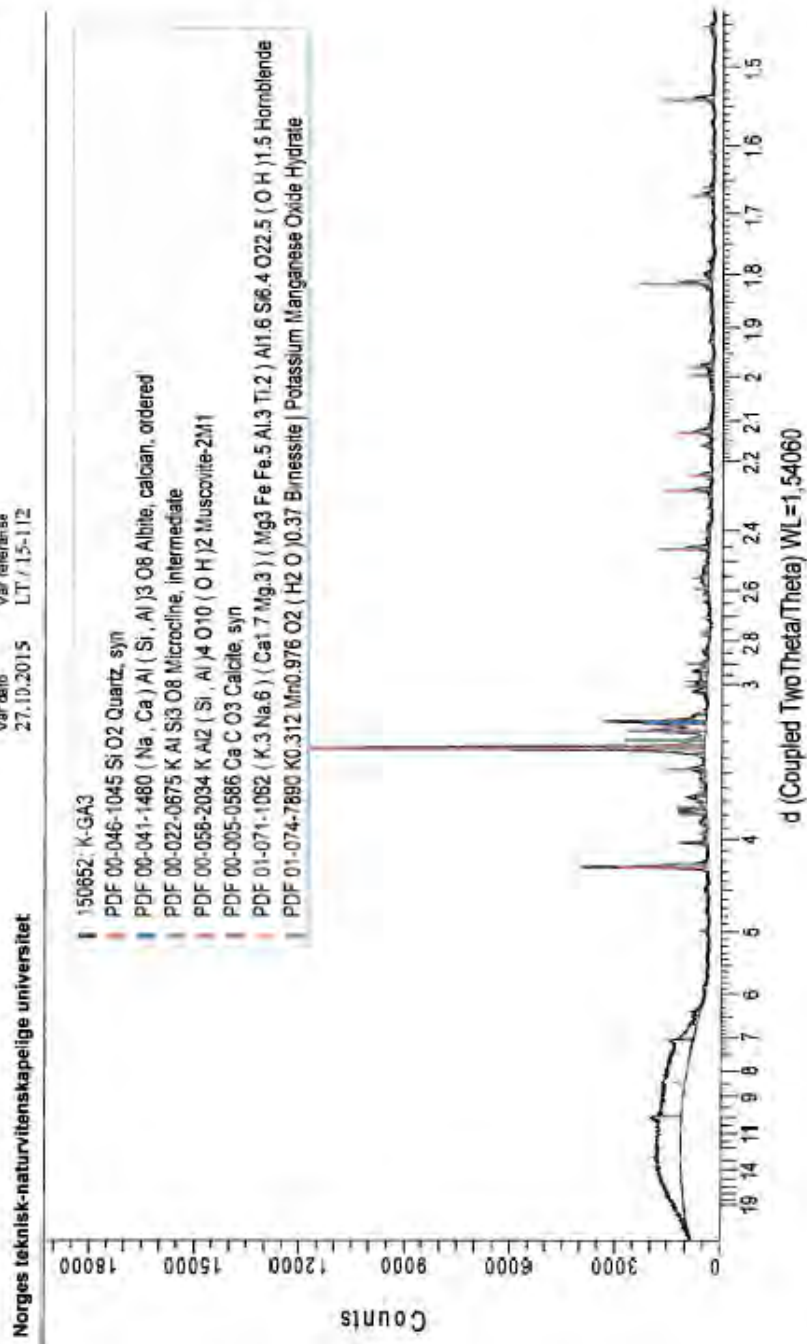
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

150650: P-GB1

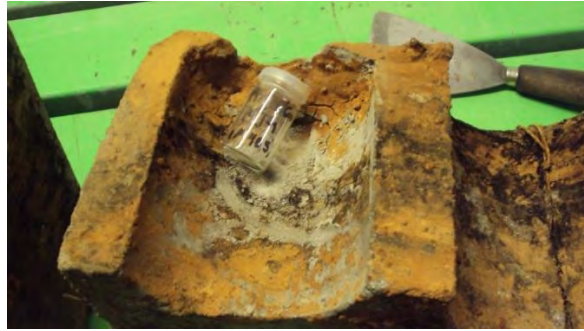


150651: P-GAI





V11.1. Utfellingar på prøver lagt ut i grøfter etter eksponering til 2015 (5,5 år). A4 plateprøver: P-GA1 eksponert i Grøft A med resept 1 har utfelling av kalsitt, aragonitt, dolomitt (Mg-karbonat), gøthitt (FeOOH) og halitt (NaCl). P-GB1 med resept 1 eksponert i Grøft B har omtrent same type utfellingar. Karprøve K-GA3 eksponert i Grøft A med utfelling på utbora sylindrar har utfelling av kalsitt og biomineralet birnessitt ($K_{0,31}Mn_{0,98}O_2(H_2O)_{0,37}$). Mineral som kvarts, feltspat, amfibol, kloritt m.m. er mineralpartiklar fanga inn i utfellingane (Prøvenummera 15930, 887V og 1377H i tabellen over er ikkje frå Oslofjord testfelt).



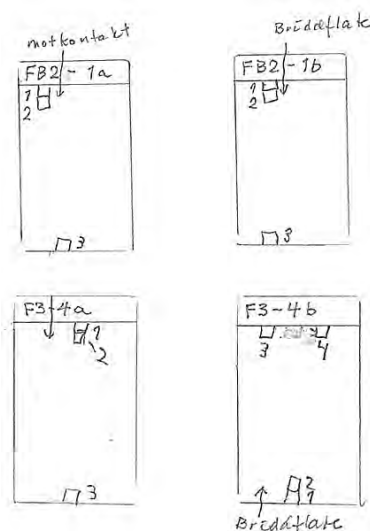
V11.2 Utfelling på karprøve M40S i Grøft A. XRD-prøve K-GA3. Består av kalsitt og birnessitt (manganoksid).

SEM-analyse og mikrobiologisk karakterisering av biofilm

Det er utført omfattende undersøkingar av biofilm i tidsrommet 2004 –2020. Frå 2004 til 2011 var det lagt vekt på SEM analyse av dei relativt større bakterielle fenomena, som er dominert av mangan- og jernutfellingar. Dette er samanstilt med kjemiske analysar av tilhøyrande lekkasjevatn, stabilisotop undersøkingar m.m, og det er vist klare samanhengar mellom vekst av biofilm og nedbryting av sprøytebetong (Hagelia 2007, 2011b, 2013). Frå 2011 til 2020 blei det lagt stor vekt på mikrobiologisk identifikasjon ved DNA-teknikkar, som viser ein ekstrem kompleksitet (Karačić mfl. 2016, 2018, 2019). Hagelia (2011b) og Hagelia mfl. (2020) gir oversikt over kjemiske reaksjonar mellom biofilm og sprøytebetong, og Karačić (2021) gir ein samla oversikt over dei kompleks biofilmene og påverknaden på betong.

SEM-analyse med elementmapping av på tynnslip av sprøytebetong og plateprøver

IFE utførte svært omfattande analysar ved element fordeling («X-ray mapping») av tynnslip frå sprøytebetongfelta (resept 2 og 3) og plateprøver (resept 1, 2 og 3) i Grøft A og Grøft B etter 5,5 års eksponering. Elementfordeling og punktanalysar er vist i Kapittel 3.6. Figur V11.3 viser prinsippet for undersøkinga.



V11.3. Prinsipp for elementanalyse illustrert med tynnslipa av sprøytebetong.

Vedlegg 12

Foto av utviklingstrekk i Oslofjord testfelt frå 2010-2020

Vedlegg 12 – Foto av utviklingstrekk i Oslofjord testfelt frå 2010–2020

Sprøytebetong i Felt 1, 2 og 3. Eksempel



V12.1. Felt 1 i april 2010 ein måned etter etablering. Område grenser mot Felt 2 (venstre bilde) og nedste del av høgre side av Felt 1 mot avslutning (høgre bilde). Merk kvite utfellingar av kalsitt og brucitt omkring lagdelt typisk våt biofilm knytta til vasslekkasjar med rusta jernrikt slim utanpå manganrike mørkt materiale. Kjerneuttak i 2010 var frå grå overflatefuktig betong utan biofilm utført med tanke på å analysere for initialeigenskapane (sjå Vedlegg 6). Foto: Per Hagelia.



V12.2. Felt 2 i mai 2010 (første borehola er synlege). Venstre foto mot Felt 3 og høgre foto mot Felt 1 (grensene mellom felta er indikert med blå farge). Kjernene frå 2015 blei bora ut frå rusta biofilm midt på venstre bildet og frå grå overflatefuktig betong utanfor (sjå V13.2). Kjerneuttak i 2010 var frå grå overflatefuktig betong utan biofilm utført med tanke på å analysere for initialeigenskapane (sjå Vedlegg 6). Foto: Per Hagelia.



V12.3. Felt 3 utan biofilm i mai 2010 med lokale utfellingar av kalsitt og brucitt og fuktig overflate. Det blei bora gjennom sprøytebetongen i hop om å få etablert lekkasjar med biofilm på overflata, men var ikkje vellykka. Området endra seg ikkje særleg merkbart fram til 2020. Områder med kjerneuttak er vist i Vedlegg 6 og Vedlegg 13. Foto: Per Hagelia.



V12.4. Felt 1 i mars 2017. Foto: Per Hagelia.



V12.5. Felt 2 i mars 2017. Foto: Per Hagelia.



V12.6. Felt 3 i mars 2017. Foto: Per Hagelia.



V12.7. Felt 1 og Felt 2 i september 2020 med prøvetaking av biofilm. PhD kandidat Sabina Karačić og Frank Persson i stigen. Grensa mot Felt 2 er merka omtrentleg med stipla linje. Merk at biofilmen var blitt mørkare med mindre innslag av rust. Biofilmen hadde omkring 2018 fått eit tørrare ytre preg enn tidlegare år, men var våt straks under ytterflata mot sprøytebetongen. Områder med kjerneuttak er vist i Vedlegg 6 og Vedlegg 13. Foto: Per Hagelia.



V12.8. Felt 1 og 2 i september 2020. Foto: Per Hagelia.

Rør A, Grøft A og Grøft B



V12.9. Grøft A mai 2010 rett etter utplassering av plateprøver. Merk låg vasstand i første tida. Foto: Per Hagelia.



V12.10. Grøft B, 1 juni-2010, vatnet var fortsatt brunt, tre måneder etter etablering av testfeltet. Foto: Per Hagelia.



V12.11. Grøft B den 6 november 2012, mørkt stillestående partikkelrikt vatn med omtrent same vasstanden som i 2010 Foto: Per Hagelia.



V12.12. Grøft B i mars 2017. Merk høgare vasstand enn i 2012, typisk for mesteparten av eksponeringstida fram til september 2015. Bildet viser dei tre siste plateprøvene (alle tre reseptar) for vidare eksponering. Foto: Per Hagelia.



V12.13. Grøft A mai 2010 rett etter utplassering av plateprøver for testing av energiabsorpsjon. Foto: Per Hagelia.



V12.14. Grøft A i mars 2017 med høgt vassnivå. Karprøvene var skjult i gjørma og A4 plateprøvene var stakk så vist opp (midt på bildet).. Foto: Per Hagelia.



V12.15. Grøft A med tilførsel av lekkasjevatn i mars 2017 («RørA»). Svært stort innhold av brun-oransje biofilm. Foto: Per Hagelia.

Måling av kjemisk utvikling ved hjelp av mikrosensorar

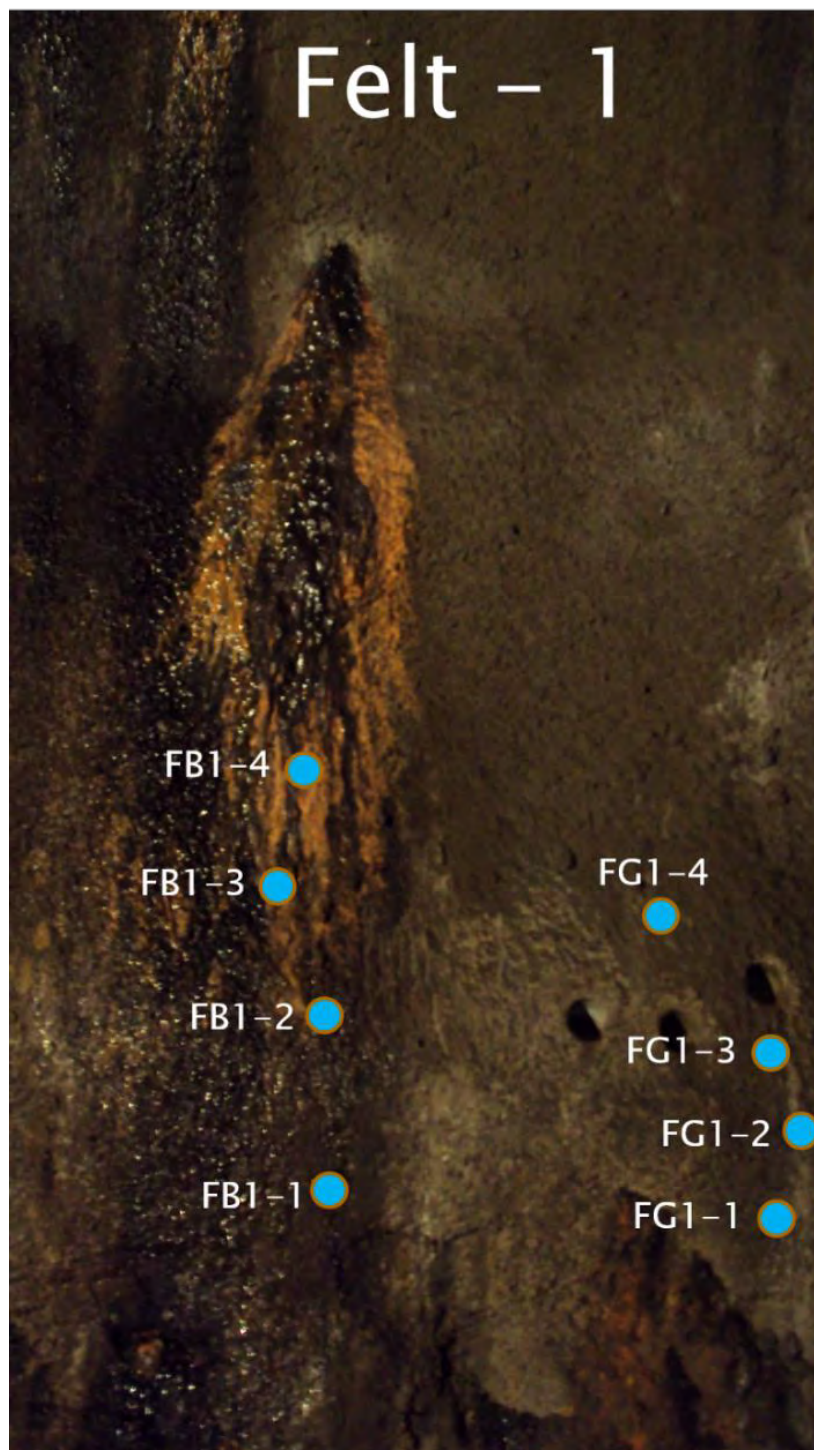


V12.16. Frå lokalitet ved pumpesumpen i Oslofjordtunnelen. Måling av pH og oksygenmetting gjennom biofilm i samband med doktorgradsarbeidet til Sabina Karačić (blå hjelm). Brit-Marie Wilén (grøn hjelm ved datamaskina). Arbeidet med sensitivt utstyr under drypplekkasjar er krevande. Foto: Per Hagelia.

Vedlegg 13

Foto av borepunkt i 2015

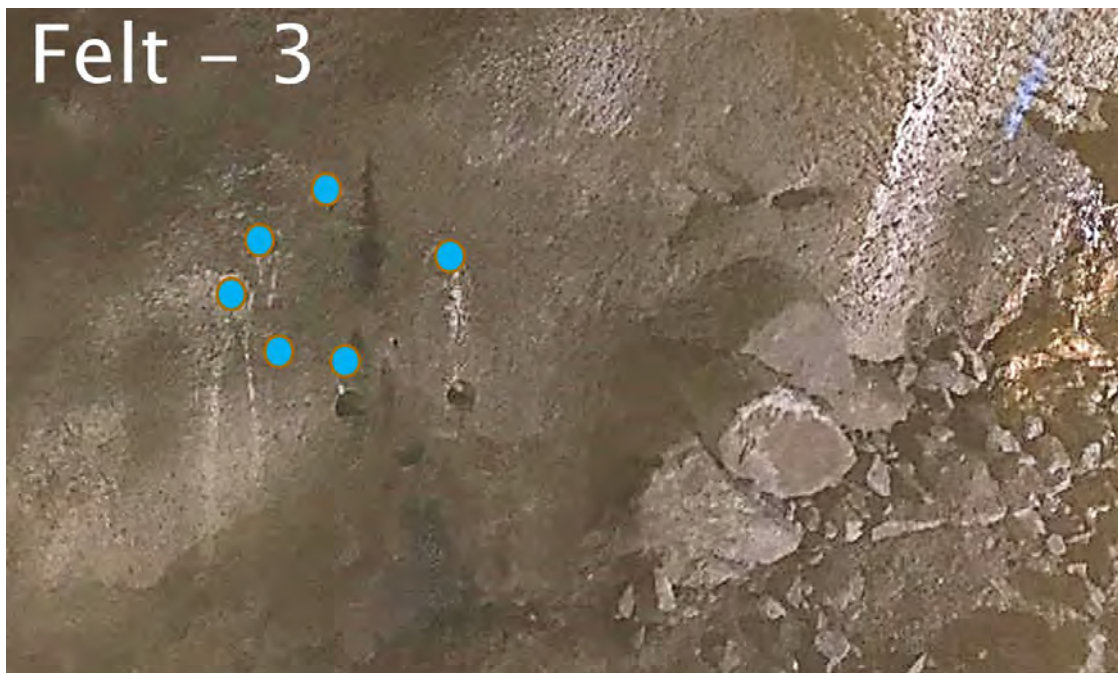
Vedlegg 13 – Foto av borepunkt i 2015



V13.1. Felt 1. Lokalisering av kjerner bora ut i september 2015 ved borepunktene frå 2010. Foto: Per Hagelia.



V13.2. Felt 2. Lokalisering kjerner bora ut i september 2015, til venstre for borepunkta frå 2010. Prøver frå grå overflatefuktig sprøytebetong (høgre) og prøver under biofilm (venstre). Merk at ein del av biofilmen blei vasa vekk under utboring. Foto: Per Hagelia.



V13.3. Felt 3. Lokalisering kjerner bora ut i september 2015 (blå), rett ved borepunkta frå 2010. Alle prøvene var frå grå overflatefuktig sprøytebetong. Foto: Per Hagelia.

Vedlegg 14

Pilottest med CT-scanning av fiberarmert sprøytebetong

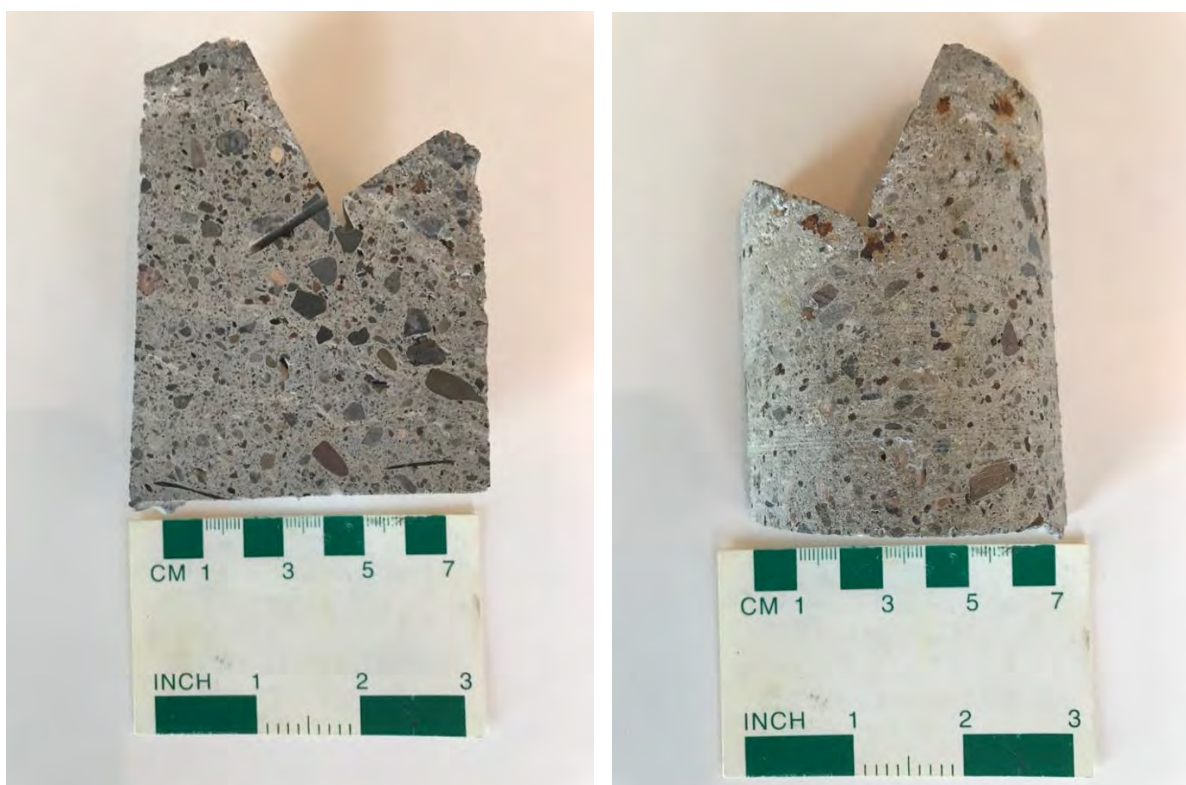
Vedlegg 14 – Pilottest med CT-scanning av fiberarmert sprøytebetong

Etter avtale med Nélia Castro og Øyvind Hammer ved Naturhistorisk Museum (NHM) ved Universitetet i Oslo fekk vi utført undersøkning av sprøytebetong med tanke på identifikasjon og fordeling av stålfiber, makro PP-fiber, luftporer og tilslag. Testen blei utført som pilot med tanke på å klargjere om enkel CT-scanning og representasjon i 3D kan vere nyttig i samband med betongundersøkingar. Øyvind Hammer utførte CT-scanning og analyse.

Scanning blir utført ved hjelp av røntgenstrålar, i dette tilfellet over ca. 45 minutt per prøve. Auka scannetid gir større oppløysing (fleire pixlar). Små prøver gir større oppløysing enn store prøver.

Det blei ikkje testa med omfattande scanning med ulike scannetid og heller ikkje utført systematisk testing med avansert segmentering. Grunnlaget for segmentering er basert på densitetskontrastar i materialet.

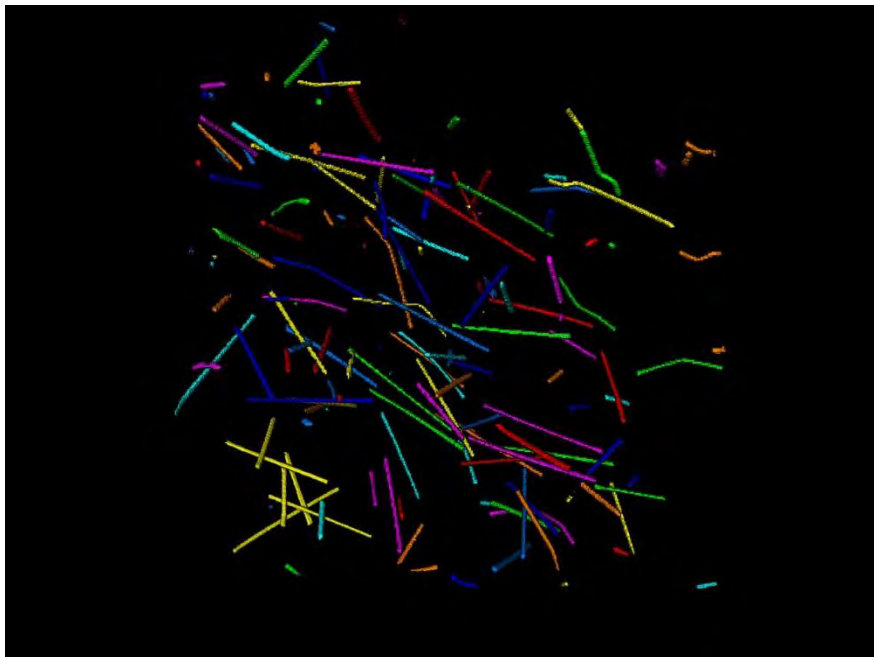
Resultata viser at det er lett å få fram svært mange detaljar i 3D. Det er muleg å rotere datamodellane og i tillegg plassere 2D snitt gjennom interessante område.



V14.1. Kjerne FB-1 (del av halvkjerne frå ytre sprøytebetong under biofilm) bora ut frå Felt 1 i september 2015, omtrent vinkelrett frå betongoverflata. Venstre bilde viser sagflata. Høgre bilde viser avrunda del motsett side (sagflata vender ned). Merk stålfiberkorrosjon (høgre bilde) som er danna på og nær overflata etter utboring. Foto: Per Hagelia.

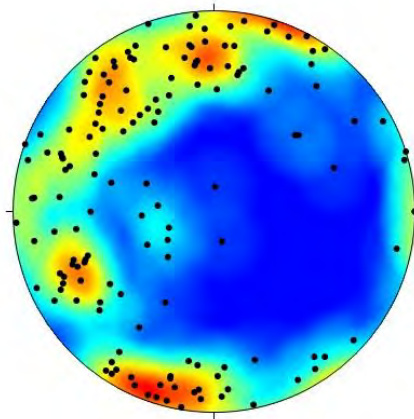


V14.2. Kjerne FB-1 etter CT-scanning og bildebehandling med terskel sett slik at både stålfiber og tilslag kjem fram. Sett frå same retning som i V14.1 venstre bilde. Her ser vi inn i prøva, tre dimensjonar er representerte og det er muleg å rotere. Foto: Øyvind Hammer.

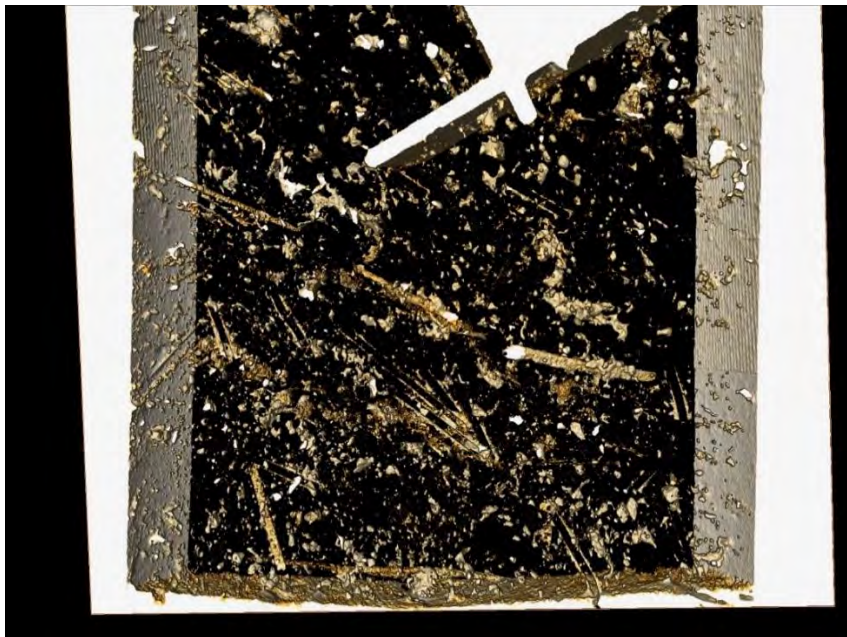


V14.3. Kjerne FB-1 etter CT-scanning og bildebehandling med terskel sett slik at bare stålfiber kjem fram. Fiberen er her segmentert for vidare analyse i 3D. Sett frå same retning som vist i V14.2. Foto: Øyvind Hammer.

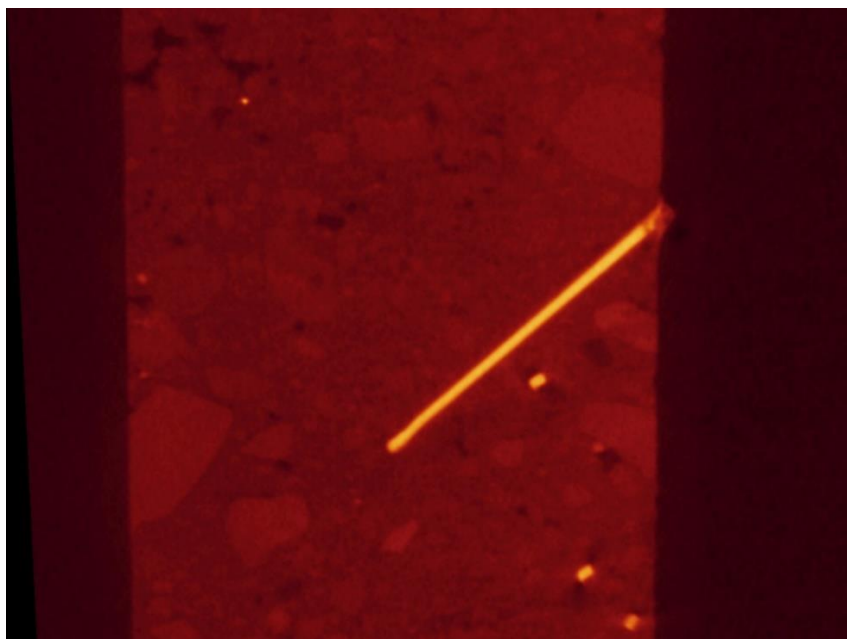
Stereoplot



V14.4. Kjerne FB-1. Stereoplott (vinkeltru projeksjon = Wulff nett) som viser orienteringa til stålfiber plotta som linjestrukturar sett parallelt med kjerneaksen. Polar til enkeltfibrar (svarte prikkar) og konturering viser største føretrekte orientering som gule og raude fargar. Stereoplottet viser at den føretrekte orienteringa til fibrane er omtrent parallell med sprøytebetongsjiktet. Plottet bygger på segmentering av stålfiber som vist i V14.3.



V14.5. Kjerne FB-1 etter CT-scanning og bildebehandling med terskel sett slik at område med låg densitet kjem fram. Makro PP- fiber visast som langstrakte tynne strekar, medan luftporer står fram som mindre avrunda område. Det blei ikkje brukt tid på å segmentere PP-fiberen. Men dette er fullt muleg: ved bildeanalyse kan ein spesifisere kriterium som skil mellom ulike former og lengder, for eksempel basert på aspektrate: Forholdet mellom lengde og breidde til fiber er svært forskjellig frå luftporer. Sett frå omtrent same retning som V14.2 og V14.3. Foto: Øyvind Hammer.

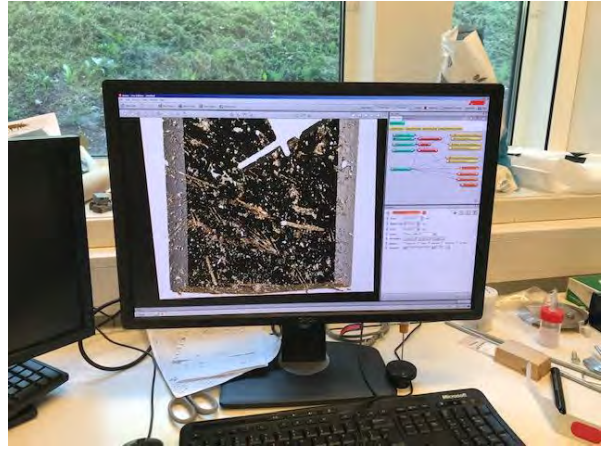
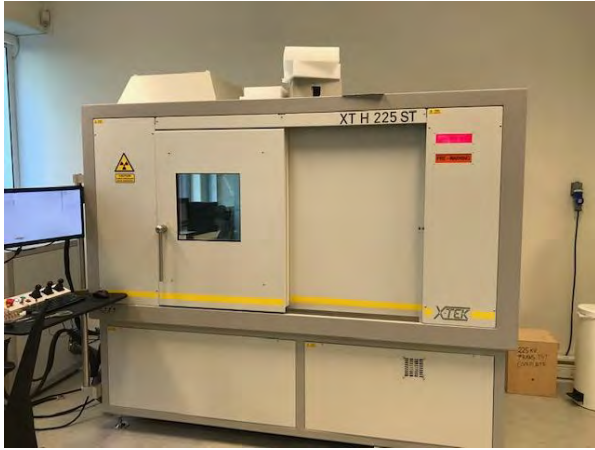


V14.6. Kjerne FB-1. 2D seksjon plassert parallelt med stålfiber som går fra indre betong og ut til ytterflata med overflatenær korrosjon. Fibrar med anna orientering står her fram som gule prikkar. Terskelverdiane er sett slik at ukorrodert stålfiber (høg densitet med sterkast gul farge) skil seg frå delvis korrodert stålfiber (relativt lågare densitet, svakare gul farge mot kanten). Testen viser at det er muleg å skaffe oversikt over korrosjonstilstanden til stålfiber utan knusing i laboratoriet. I dette tilfelle er det snakk om fiberkorrosjon etter at kjerna blei bora ut. Foto: Øyvind Hammer.

Den enkle testen viste også at fibertellingar kan utførast mykje raskare og minst like nøyaktig som standard metode med utseparering av fiber i laboratoriet. Nøyaktig fibertelling basert på knusing av betongprøver er svært tidkrevande og ikkje minst tung jobb som krev at ein får med alt materiale av både betong og fiber. Med tilgang på CT-scanning som rutine vil fibertelling kunne utførast ikkje-destruktivt på ein enklare og svært raskare måte. Vidare utvikling vil krevje at ein etablerer gode segmenteringsrutinar og tilordnar vektorer til dei ulike fibertypene. Rutinane vil nødvendigvis vere forskjellig med tanke på telling av stålfiber og PP-fiber.

Orienteringsdata og fiberfordeling kjem også tydeleg fram ved hjelp av CT-scanning. Slike data er ikkje tilgjengelege ved standard metode med utseparering av fiber i laboratoriet.

I samband med undersøking av sprøytebetong i aggressivt undersjøisk miljø ser det ut til at ein også vil kunne skille mellom intakt og tydeleg korrodert stålfiber. Det vil vidare vere mogleg å bruke CT-scan som grunnlag for å finne fram til dei mest interessante snitta med tanke på tynnslip.



V14.7. Utstyr for CT-scanning ved Naturhistorisk museum. Foto: Per Hagelia.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram saman