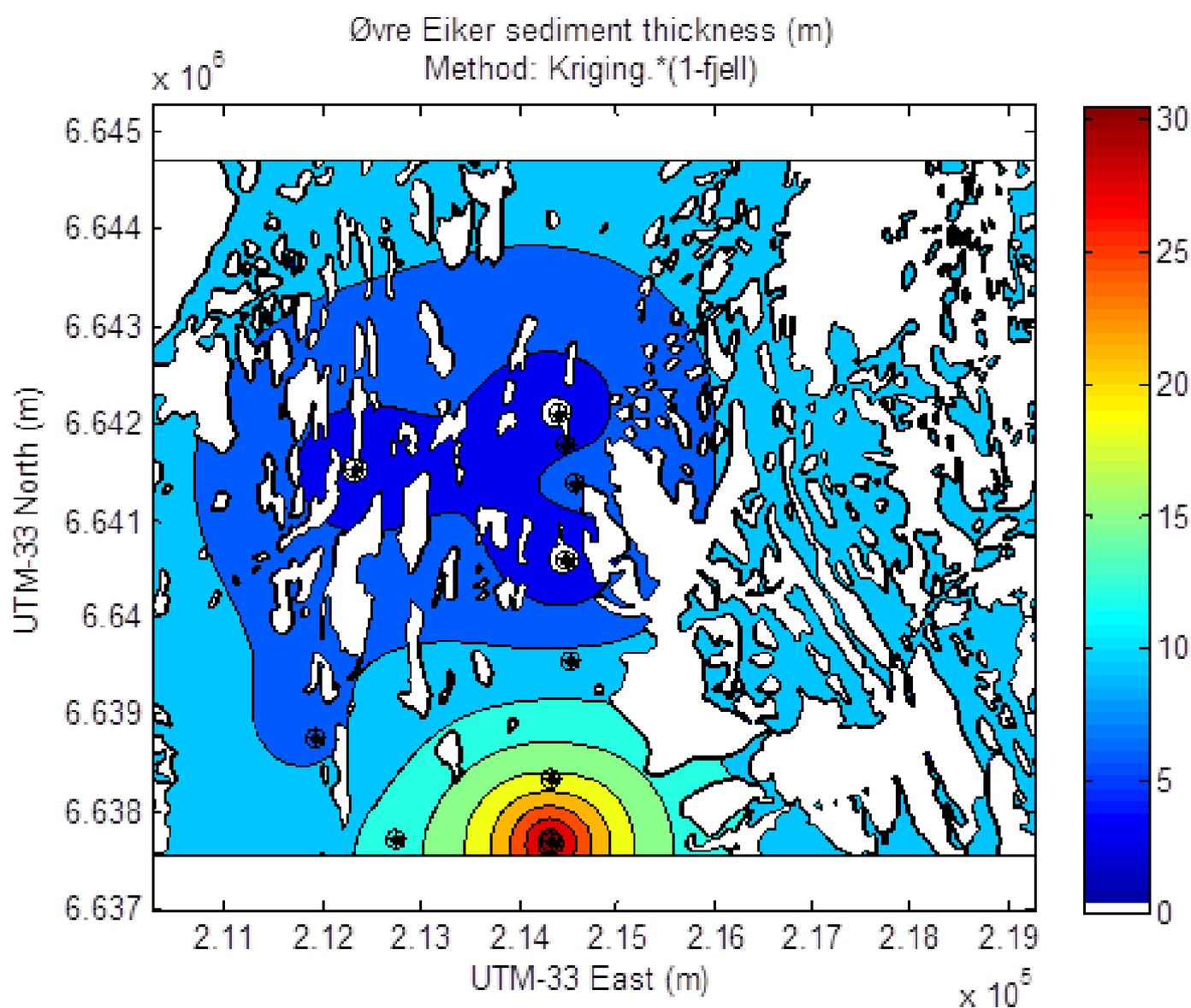




Salt SMART Salt i grunnvann

Dokumentasjon av datakilder og metodikk for estimering av sårbarhet



Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-programmet “Salt SMART”, 2007-2011. Hensikten med prosjektet er å opprettholde framkommelighet og trafikksikkerhet om vinteren uten å gi uakseptabel skade på miljøet. Dette skal oppnås med en miljøforsvarlig saltpraksis som ikke bryter med Vannforskriftens krav.

Gjennom Vannforskriftens karakteriseringsarbeid av grunnvannsforekomster i Norge har det blitt tydeliggjort at det er et begrenset datagrunnlag i forhold til grunnvann. I denne rapporten er det laget en grov metode for å estimere løsmassemektighet i Norge. I tillegg er relevant datagrunnlag og dataanalyse dokumentert. Metodikken er basert på tilgjengelig informasjon fra offentlige databaser. Løsmassemektighet er en parameter som er nødvendig i en metode som er utarbeidet på oppdrag fra den tverretatlige direktoratsgruppen for Vannforskriften. Rapporten er dermed relevant for arbeidet med karakterisering av grunnvannsforekomster i Norge og er støttet økonomisk av Klima og Forurensningsdirektoratet.

Rapporten er i sin helhet skrevet av Nils-Otto Kitterød (Universitetet for Miljø -og Biovitenskap), Sylvi Gaut (Norges Geologiske Undersøkelse), Stein Turtumøygard, Camille Jouin, Paul Andreas Aakerøy (Bioforsk). Per Stålnacke (Bioforsk) har vært prosjektleder. Oppdragsgiver hos Statens vegvesen har vært Kjersti Wike.

Statens vegvesen

Oslo, 2011

VD rapport

Tittel

Salt SMART
Salt i grunnvann

Undertittel

Dokumentasjon av datakilder og metodikk
for estimering av sårbarhet

Forfatter

Nils-Otto Kitterød, Stein Turtumøygard,
Sylvi Gaut, Per Stålnacke, Camille Jouin,
Paul-Andreas Aakerøy

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Seksjon

Miljø seksjonen

Prosjektnummer

602070

Rapportnummer

Nr. 36

Prosjektleder

Kjersti Wike

Godkjent av**Emneord**

Vegsalt, sårbarhet, grunnvann

Sammendrag

Se sammendrag på neste side

VD report

Title

Salt SMART
Salt in groundwater

Subtitle

Documentation of data sources and meth-
odology for the estimation of vulnerabil-
ity

Author

Nils-Otto Kitterød, Stein Turtumøygard,
Sylvi Gaut, Per Stålnacke, Camille Jouin,
Paul-Andreas Aakerøy

Department

Traffic safety, Environment- and Technology
Department

Section

Environmental assessment section

Project number

602070

Report number

No. 36

Project manager

Kjersti Wike

Approved by**Key words**

Road salt, vulnerability, groundwater

Summary

See summary on next page

Tittel/Title:

Salt i grunnvann - Dokumentasjon av datakilder og metodikk i 2010

Forfatter(e)/Author(s):

Nils-Otto Kitterød, Stein Turtumøygard, Sylvi Gaut, Camille Jouin, Paul Andreas Aakerøy

<i>Dato/Date:</i> 15. september 2011	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 8052	<i>Saksnr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 6(107) 2011	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-00830-9	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 81	<i>Antall vedlegg/Number of appendices:</i> 3

Oppdragsgiver/Employer:

Statens Vegvesen, Vegdirektoratet

Kontaktperson/Contact person:

Per Stålnacke

Stikkord/Keywords:

Vegsalt, sårbarhet, grunnvann
Road salt, vulnerability, groundwater

Fagområde/Field of work:

Hydrogeologi, vannkjemi
Hydrogeology, water chemistry

Sammendrag:

Rapporten inneholder bidrag til generell metodikk, basert på tilgjengelig informasjon fra offentlige databaser, for estimering av sårbarhet for angitte grunnvannsforekomster i Norge med hensyn til kontaminering fra vegsalt. Det viktigste bidraget i denne rapporten, er det omfattende datamaterialet som er innsamlet, og prosedyrer for bearbeiding av datamaterialet.

Summary:

This report contributes to a general methodology to estimate the vulnerability of groundwater contamination from road salt. The work is based on information from available national databases. The most important contribution from this report is the extensive data collected, and documentation of the processing of those.

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader



Per Stålnacke

Nils-Otto Kitterød

Innhold

1.	Sammendrag.....	5
2.	Innledning.....	7
3.	Nasjonalt og internasjonalt lovverk.....	8
3.1	Grunnvannsdirektivet i Norge	8
3.1.1	Overvåking og prøvetaking.....	8
3.2	Grenseverdier for klorid (Cl) og natrium (Na) i Norge.....	10
3.3	Håndtering av vegsalt i Sverige og Danmark	11
3.3.1	Sverige	11
3.3.2	Danmark	11
4.	<i>Bakgrunnsverdier av NaCl</i>	13
4.1	Kjemidata fra Landsomfattende mark- og grunnvannnett (LGN)	13
4.1.1	Analyseresultatene.....	13
4.2	Geokjemidata fra eksisterende NGU-prosjekter.	19
4.3	Målte gjennomsnittsverdier av Cl og Na i nedbør	23
4.4	Kilder til salt i grunnvann	25
5.	Klorid i nedbør og grunnvann	26
6.	Beregning av løsmassemektighet	27
6.1	Datakilder	27
6.2	Data fra NGU.....	27
6.3	Beskrivelse av datasettene	27
6.3.1	Landsdekkende data fra løsmassedatabasen.....	28
6.3.2	Prøvetakingspunkter Lithoprosjektet	28
6.3.3	Brønndatabasen.....	28
6.3.4	Grus- og pukkdatabasen.....	29
6.3.5	Vannkjemi	29
6.3.6	Statistisk analyse av løsmassemektighet	29
7.	<i>Vannuttak fra grunnvannsbrønner</i>	37
7.1	Datakilder	37
7.2	Sonekart over vannforbruk og vannføring	37
8.	Konklusjon	39
9.	Referanser.....	40
10.	Vedlegg 1: Sediment thickness and distance to outcrops	42
10.1	Introduction	42
10.2	Data	42
10.2.1	GRANADA database.....	42
10.2.2	Geological cover map.....	43
10.2.3	Map of water level	43
10.3	Methods.....	44
10.3.1	Data processing.....	44
10.3.2	Choice of a relevant statistical sample	46
10.3.3	Definition of variables	47
10.3.4	Statistical analysis of data	47
10.4	Results	51
10.4.1	GRANADA wells and different sediment covers.....	51
10.4.2	Horizontal distance to the nearest outcrop (L).....	53
10.4.3	Thickness of sediment (d) related to L	53
10.4.4	Variable $\ln(d/L)$	57
10.5	Discussion.....	65
10.5.1	Sorting of wells according to sediment cover.....	65

10.5.2	Horizontal distance to the nearest outcrop	65
10.5.3	Estimation of sediment thickness	65
10.5.4	Use of the estimations	69
10.6	Conclusion	72
10.7	References	73
10.8	Appendix 1: Codes of the types of soil cover	74
11.	Vedlegg 2: Salt groundwater in the Nordic Countries	76
11.1	Denmark	76
11.2	Sweden	76
11.3	Finland	78
12.	Vedlegg 3. Chloride concentration in groundwater.	79

1. Sammendrag

Denne rapporten dokumenterer datagrunnlag og dataanalyser med hensikt på å lage en generell metodikk for estimering av sårbarhet for angitte grunnvannsforekomster i Norge med hensyn til forurensning fra vegsalt. Metodikken er basert på tilgjengelig informasjon fra offentlige databaser.

Bakgrunnen for prosjektet er nasjonale og internasjonale lover og retningslinjer for konsentrasjoner av natrium og klorid i ulike vannforekomster. En oppsummering av dette arbeidet er gitt i kap.3. Datagrunnlaget som er relevante i sårbarhetsanalysen, er beskrevet i kapittel 4, mens resultatet av beregninger for bakgrunnsverdier av salt i grunnvann fra atmosfærisk nedfall er gitt i kapittel 5. Parametre som kan inngå i ulike sårbarhetsanalyser er gitt i kapittel 6. I dette kapitlet inngår også en enkel estimeringsmetodikk av løsmassemektheten. Denne variabelen er ikke direkte tilgjengelig i dagens geodatabaser, men den kan avledes fra annen tilgjengelig informasjon. I kapittel 7 er det gitt eksempler på enkel sårbarhetsanalyse basert på det innsamlede datamaterialet.

En viktig variabel for estimering av sårbarhet for grunnvann i fast fjell og i løsmasser, er løsmassemektheten. Løsmassene virker beskyttende for grunnvann i fast fjell, samtidig er det en indikator for hvor mye vann som kan produseres fra vannforekomster i løsmasser. I dette prosjektet er det gjennomført en statistisk analyse av datamaterialet for hele Norge. Basert på disse resultatene er det estimert dyp til fjell for utvalgte lokaliteter med en romlig oppløsning på 25 x 25 m. Resultatene er sammenliknet med standard geostatistiske beregninger for en lokalitet (Øvre Eiker). Konklusjonen fra denne lokaliteten er at de enkle beregningene basert på statistiske gjennomsnitt for hele Norge, overensstemmer godt med beregninger som utelukkende er betinget på lokale observasjoner. For enkle sårbarhetsestimeringer hvor mektigheten av løsmassene inngår, kan anslått mektighet basert på horisontal avstand til nærmeste fjellblotning benyttes.

Basert på resultatene som er presentert i denne rapporten, anbefales det at sedimentmektheter beregnes ved å kombinere ulike datakilder: Observasjoner av sedimentmektheter bør kombineres med horisontal avstand til nærmeste fjellblotning. Fordelen med å betinge estimatene på horisontal avstand til fjellblotning, er at denne parameteren kan beregnes for ethvert punkt for hele landet. Det anbefales videre at det benyttes landsgjennomsnitt for statistiske parametre i beregningene samtidig som det betinges på lokale observasjoner. Landsomfattende gjennomsnitt av statistiske parametrene (som rekkevidde av korrelasjonen og romlig varians også kalt range, sill and nugget i den geostatistiske faglitteraturen) er langt mer robuste enn estimer basert på lokale felt med begrenset antall målinger. Alternativt kan det estimeres romlig fordelte statistiske parametre, men kostnaden er langt tyngre beregningsprosedyrer. Fordelen med landsgjennomsnitt er at vektningen av lokale observasjoner kun er en funksjon av avstanden mellom punktet som skal estimeres og observasjonene som benyttes for lokal betingning. Poenget med å betinge estimatet på lokale observasjoner, er at estimatet i slike tilfeller alltid vil være konsistent med observasjonene. Det innebærer også at når det gjøres nye observasjoner, kan estimatene oppdateres. Fordelen med denne typen estimerer er at usikkerheten også kvantifiseres.

Innenfor rammen av dette prosjektet ble metodikken testet på et begrenset datamateriale.

Det viktigste bidraget fra dette prosjektet, er det omfattende datamaterialet som er innsamlet. Prosedyrer for bearbeiding av datamaterialet er dokumentert i eget vedlegg.

2. Innledning

Bioforsk Jord og miljø har som del av SaltSMART-prosjektet i regi av Statens Vegvesen, bidratt til å utvikle metodikk for å beregne vannforekomsters sårbarhet med tanke på kontaminasjon av veksalt. Arbeidet som er rapportert i dette dokumentet, har vært innrettet spesielt med tanke på grunnvann i løsmasser. En av målsetningene i SaltSMART har vært å utvikle metodikk som er så generell at den kan anvendes på enhver vannforekomst i Norge. (Kitterød m.fl, 2010). Det innebærer at metodikken forutsetter landsomfattende informasjon som er angitt med geografiske koordinater. En vesentlig del av arbeidet har derfor bestått i å innhente og legge til rette informasjon som er spredt på flere ulike databaser på flere ulike institutt og etater. Statens Vegvesen har deltatt aktivt i denne datainnsamlingen. I tillegg til Statens Vegvesen har de viktigste bidragsyterne vært Universitet for miljø- og biovitenskap (UMB), Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges vassdrags- og energiverk (NVE), Norsk institutt for luftforskning (NILU), Statens Kartverk, samt en rekke vannverk. Alle instanser og personer som har bidratt i datainnsamlingen og analysene takkes hermed for innsatsen.

Bakgrunnen for prosjektet er nasjonale og internasjonale lover og retningslinjer for konsentrasjoner av natrium og klorid i ulike vannforekomster. En oppsummering av dette arbeidet er gitt i kap.3. Datagrunnlaget som er relevante i sårbarhetsanalysen, er beskrevet i kapittel 4, mens resultatet av beregninger for bakgrunnsverdier av salt i grunnvann fra atmosfærisk nedfall er gitt i kapittel 5. Parametre som kan inngå i ulike sårbarhetsanalyser er gitt i kapittel 6. I dette kapitlet inngår også en enkel estimeringsmetodikk av løsmassemektigheten. Denne variabelen er ikke direkte tilgjengelig i dagens geodatabaser, men den kan avledes fra annen tilgjengelig informasjon. I kapittel 7 er det gitt eksempler på enkel sårbarhetsanalyse basert på det innsamlede datamaterialet. Kapittel 8 oppsummerer resultatene.

3. Nasjonalt og internasjonalt lovverk

3.1 Grunnvannsdirektivet i Norge

Ansvar for gjennomføring av rammedirektivet for vann (Vanndirektivet) i Norge er fordelt på flere departement, koordinert av Miljøverndepartementet (www.vannportalen.no). Det er opprettet en direktoratsgruppe som består av direktorater og etater under de berørte departementene. Direktoratsgruppa, og arbeidsgrupper under denne, skal legge til rette for gjennomføring av direktivets krav om blant annet karakterisering, klassifisering og overvåking.

Grunnvannsdirektivet er et datterdirektiv til Vanndirektivet. I Norge gjennomføres begge direktivene gjennom Forskrift om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften) (Miljøverndepartementet 2010). Formålet med denne forskriften er å gi rammer for fastsettelse av miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene. Forskriften skal sikre at det utarbeides og vedtas regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogrammer med sikte på å oppfylle miljømålene, og sørge for at det fremskaffes nødvendig kunnskapsgrunnlag for dette arbeidet.

Miljømål for grunnvann er følgende (§ 6): Tilstanden i grunnvann skal beskyttes mot forringelse, forbedres og gjenopprettes og balansen mellom uttak og nydannelse sikres med sikte på at vannforekomstene skal ha minst god kjemisk og kvantitativ tilstand, i samsvar med klassifiseringen i vedlegg V, jf. terskel- og vendepunktverdiene gitt i vedlegg IX.

Menneskelig påvirkning i en grunnvannsforkomsts nedbørfelt skal vurderes, herunder forurensende stoffer.

Inndeling av grunnvann i grunnvannsforkomster i Norge ble første gang gjort gjennom grovkarakteriseringsarbeidet i 2004. Inndelingen baserte seg på eksisterende kunnskap og har store unøyaktigheter. Mer nøyaktig avgrensning av forekomstene skal oppnås gjennom en ytterligere karakterisering. Dette skal gjennomføres via vannregionmyndighetene. Fremdriften på dette punktet varierer mye fra vannregion til vannregion.

3.1.1 Overvåking og prøvetaking

En grunnvannsforkomst har god kjemisk tilstand så lenge terskelverdien for de ulike stoffene ikke er overskredet. Terskelverdien tilsvarer maksimalt tillatte konsentrasjon/verdi for et stoff/parameter. For et hvert stoff er det fastsatt en vendepunktverdi som generelt = 75 % av terskelverdien. Dersom vendepunktverdien overskrides, må det gjøres en vurdering av hvor vidt grunnvannsforkomsten står i fare for å miste god kjemisk tilstand. Hensikten med vendepunktverdiene er å ha et tidlig varsel dersom den kjemiske tilstanden i grunnvannsforkomsten forringes over tid.

Det er utarbeidet en veileder for overvåking av miljøtilstand i vann (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2010). Rapporten gir veiledning til hvordan kravene til overvåking av vann i Vannforskriften skal gjennomføres på lokalt, regionalt og nasjonalt nivå i Norge. Veilederen klargjør prosess, metoder og lokalisering av stasjoner fram til etablering og drift av et helhetlig system for vannovervåking. Forslaget til overvåking av grunnvann i Norge

imøtekommer kravene i vanddirektivet og grunnvannsdirektivet, men er tilpasset norske forhold. Overvåkingen er delt i basisovervåking og tiltaksovervåking (pålagt overvåking).

Alle drikkevannskilder med uttak over 100 m³/døgn skal overvåkes. I tillegg skal alle grunnvannsverk med uttak over 10 m³/døgn eller som forsyner mer enn 50 personer overvåkes. Her gjelder Drikkevannsforskriftens (Helse- og omsorgsdepartementet 2001) krav til overvåking.

Basisovervåkingen omfatter et sett kjerneparametre, i tillegg bør det etableres referanseverdier for blant annet klorid (Tabell 3.1). Trendovervåking (også kalt tilstandsovervåking) er en del av basisovervåkingen og skal avdekke mulige langsiktige endringer som følge av menneskelige aktiviteter. Overvåkningsveilederen beskriver prøvetakingsmetodikk og frekvens. For metode ved kjemisk prøvetaking henvises det til prosedyre benyttet for Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) i NGU-rapport 2007.018 (Jæger et al. 2007).

Tabell 3.1 Parametere som skal måles ved basis- og tiltaksovervåking i henhold til overvåkningsveilederen (Direktoratsgruppa Vanddirektivet 2010).

Type overvåking		Parametere	
		Kjerneparametre	Tileggsparametre
Basisovervåking	Referanseovervåking	O ₂ , pH, Ledningsevne, nitrat og ammonium	Arsen, kadmium, bly, klorid, sulfat og kvikksølv
	Trendovervåking	O ₂ , pH, Ledningsevne, nitrat og ammonium	Parametre som representerer en mulig risiko ut fra kjent belastning
Tiltaksovervåking		Stoffer som representerer en risiko. Spesielt de som har en definert terskelverdi	

Tabell 7-2 i overvåkningsveilederen gir en oversikt over parametere, med tilhørende frekvenser som skal inngå i basis- og tiltaksovervåkingen av grunnvannets kjemiske tilstand (Forskriftens vedlegg V, punkt 2.3.4). For vurdering av frekvens er det tatt utgangspunkt i EUs veileder for overvåking av grunnvann (CIS 2007). Antall målinger per år vil variere med akvifertype og strømningsforhold. Den norske veilederen har tolket det slik at tiltaksovervåkingen skal ha dobbelt så høy frekvens som basisovervåkingen, men frekvensen skal være tilstrekkelig til å fastsette tilstanden. Tiltaksovervåkingen skal også foregå på andre tidspunkt enn basisovervåkingen. For trendovervåking skal det i starten tas minimum kvartalsvise prøver for å avgjøre om grunnvannsforekomsten tilhører gruppen "ingen risiko" eller "med risiko". I følge Veileder for klassifisering av miljøtilstand i vann (Direktoratsgruppa Vanddirektivet 2009) skal tilstandsklassifiseringen baseres på årlige middelverdier fra representative overvåkningsbrønner over minimum tre år.

Prøvetidspunkt må tilpasses behov, men det anbefales at prøvetakingen foregår på tilsvarende tidspunkt fra år til år. Dette gjelder også tiltaksovervåking. Personer som foretar prøvetakingen må ha gjennomgått et opplæringsprogram.

3.2 Grenseverdier for klorid (Cl) og natrium (Na) i Norge

I følge Vegdirektoratet regner man med at nesten 100 % av vegsaltet består av natrium og klorid. Det er derfor i denne rapporten kun vurdert grenseverdier for disse to ionene.

Med innføring av Vannforskriften har man i dag tre ulike kvalitetsverdier for vann. Grenseverdiene omtalt i Drikkevannsforskriften (Helse- og omsorgsdepartementet 2001) og terskelverdi og vendepunktverdi omtalt i Vannforskriften. Terskelverdien tilsvarer maksimalt tillatte konsentrasjon/verdi for et stoff/parameter. En grunnvannsføremst har god kjemisk tilstand så lenge terskelverdien for de ulike stoffene ikke er overskredet. Det er viktig å merke seg at ikke hele grunnvannsføremsten trenger å ha dårlig kvalitet om terskelverdien er overskredet i enkelte brønner. For et hvert stoff er det fastsatt en vendepunktverdi som generelt = 75 % av terskelverdien. Dersom vendepunktverdien overskrides, må det gjøres en vurdering av hvor vidt grunnvannsføremsten står i fare for å miste god kjemisk tilstand.

For de fleste stoffer tilsvarer terskelverdien grenseverdien i Drikkevannsforskriften. EU har laget en liste over 33 prioriterte stoffer der det er utarbeidet spesielle økologiske grenseverdier (Environmental Quality Standards, EQS). I tillegg er det i Vannforskriftens vedlegg IX og i Klassifiseringsveilederens tabell 8-2 (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009) listet noen stoffer og stoffgrupper der terskel- og vendepunktverdier er satt spesielt. Et av disse stoffene er klorid, med foreslått terskelverdi = 200 mg/l og tilhørende vendepunktverdi = 150 mg/l.

På oppdrag fra Klif har Bioforsk utarbeidet et revidert forslag til terskelverdier for forurensende stoffer i norsk grunnvann, deriblant for klorid (Jakob & Amundsen 2010). Det nye forslaget er ment som diskusjonsgrunnlag for revidering av eksisterende terskelverdier og er følgelig ikke vedtatt benyttet i Klassifiseringsveilederen. Natrium har ingen egen terskelverdi utover grenseverdien i Drikkevannsforskriften. Grenseverdier for klorid og natrium i Norge basert på Drikkevannsforskriften og rapporten fra Bioforsk er vist i Tabell 3.2. Arbeidsgruppe Grunnvann har bestemt å avvente videre arbeid med terskelverdiene til nytt Technical guidance document (TGD) kommer fra EU. I mellomtiden vil Mattilsynet bli bedt om å komme med innspill på rapporten og Klif vil se på om det går an å bruke Gardermoen som case for å teste ut konsekvenser av å bruke de foreslåtte verdiene.

Tabell 3.2 Terskel og vendepunktverdier for klorid og natrium i Norge. I dag gjelder Grenseverdien i drikkevannsforskriften som terskelverdi, mens Bioforsk har utarbeidet et revidert forslag på oppdrag fra Klif (Jakob & Amundsen 2010).

Parameter	Drikkevannsforskriften		Forslag presentert i Bioforsk rapport (Jakob & Amundsen 2010)	
	Grenseverdi*	Vendepunktverdi	Terskelverdi	Vendepunktverdi
Klorid	200 mg/l	150 mg/l	150 mg/l	110 mg/l
Natrium	200 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	150 mg/l

* Grenseverdien i Drikkevannsforskriften gjelder i dag som terskelverdi

3.3 Håndtering av vegsalt i Sverige og Danmark

3.3.1 Sverige

Sveriges miljømål er samlet under miljømålportalen (www.miljomal.nu). Det er utarbeidet to indikatorer for å følge opp vegsalting i forhold til miljøkvalitetsmålet "[Grundvatten av god kvalitet](#)". Indikatorene er "[Klorid i grundvattnet](#)" og "[Vägsaltanvänding](#)". Ansvarlig myndighet er SGU. Indikatorene skal vise hvordan statlig og kommunal vegsalting påvirker grunnvannskvaliteten og endringer skal kunne føres tilbake til den som salter. En forutsetning er jevnlig overvåking av vannkvaliteten. Indikatorene skal vise om tiltak virker.

For å sammenlikne bruken av salt fra år til år benytter man i Sverige en saltindeks (Ojala & Mellqvist 2004). Saltindeksen er Vägverkets beregningsmodell og gir et mål på hvor mye salt som faktisk er brukt i forhold til en beregnet verdi basert på vinterens værforhold. Saltindeks > 1 betyr at man har benyttet mer salt enn teoretisk beregnet behov.

$$\text{Saltindeks} = \frac{\text{Brukt saltmengde}}{\text{Teoretisk behov ut fra økologerende værforhold}}$$

SGU har satt sammen en oversikt over grunnvannsutttak og infiltrasjonsområder som ligger 100 m og 500 m fra kommunale eller statlige saltede veier. I tillegg har man satt opp en oversikt over grunnvannsområder som ligger 100 m fra det samme veinettet. Grunnvannsområdene er delt inn i to klasser: Klasse 1 der det finnes steder hvor mulig vannuttak er > 25 l/s og klasse 2 der mulig vannuttak vil være 5-25 l/s.

Sverige har følgende [tilstandsklasser for klorid](#) (Sveriges geologiska undersökning):

- 1 Lavt innhold (< 20 mg/l)
- 2 Moderat innhold (20-50 mg/l)
- 3 Relativt høyt innhold (50-100 mg/l)
- 4 Høyt innhold (100-300 mg/l)
- 5 Svært høyt innhold (> 300 mg/l)

I tillegg benyttes jämförvärden (tilsvarende bakgrunnsverdier) som for Götaland er 20 mg/l og for Svealand og Norrland er 5 mg/l.

3.3.2 Danmark

Grenseverdier for klorid og natrium i Danmark er henholdsvis 250 mg/l og 175 mg/l. Verdiene er satt ut fra smakshensyn og delvis med tanke på vannets korrosive egenskaper. Vegsalting i Danmark er ikke regulert ved hjelp av dansk lovgivning da det har vært antatt at påvirkningen på omgivelsene kun har vært lokal og knyttet til vegetasjon langs veiene.

Danmark og Grønlands geologiske undersøkelser (GEUS) gjorde i 2009 en vurdering av sårbarheten til danske grunnvannsmagasiner i forhold til vegsalt (Kristiansen et al. 2009). Prosjektet bestod av tre deler:

1. Finne egnede indikatorer for å bestemme årsaken til forhøyede kloridinnhold i grunnvannet ved hjelp av eksisterende grunnvannskjemiske data
2. Se på utviklingen av kloridinnholdet i grunnvannet de siste 110 år
3. Utvikle et modelleringsverktøy for evaluering av risikoen for grunnvannsforurensning fra vegsalt samt kunne bedømme virkningen av ulike tiltak.

Rapporten diskuteres hvordan ulike isotoper og kjemiske stoffer, samt aldersdateringer kan brukes til å påvise årsak til forhøyet klorid. Særlig utviklingen i klorid-bromidforholdet i grunnvannet er en god årsaksindikator. Dette krever analyse av bromid i tillegg til klorid.

MIKE SHE ble benyttet som modelleringsverktøy. Modellen er kalibrert mot eksisterende verdier og benyttes for å se på fremtidssenarioer. Modellen viser at reduksjon av salt er effektivt og at det vil lønne seg å sette inn tiltak på de mest sårbare veistrekningene. Flettekryss er særlig utsatt. Veier med bortføring av overflatevann, der veibanene og rabatter har høye sidekanter og det er etablert støyskjerm har lite eller ingen tap av salt til grunnvannet.

4. Bakgrunnsverdier av NaCl

4.1 Kjemidata fra Landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN)

Landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN) ble etablert i 1977 for å fremskaffe data om den naturlige variasjonen i grunnvannets nivå, temperatur og kjemiske kvalitet i ulike områder av landet. Overvåkningsområdene er derfor valgt med tanke på minimal påvirkning fra menneskelige aktiviteter samt fra vassdrag/overflatevann.

LGN har blitt utviklet i antall områder, representasjon av ulike typer akviferer, antall måleparametere og kvalitet av måledataene. Siden 2003 har utviklingen også omfattet oppgraderinger og utvidelser for å imøtekomme krav og behov i Vanddirektivet. Dette har blant annet forårsaket at målestasjonen innenfor flere av områdene har blitt endret. Av de 52 områdene NGU prøvetok i 2009, er 12 lokalisert i fjell og de øvrige i forskjellige typer løsmasseakviferer (hovedsakelig breelv- og elveavsetninger). NGU foretar målinger i én stasjon per område.

Totalt har det siden 1977 blitt målt konsentrasjoner av natrium (Na) og klorid (Cl) i 103 målestasjoner fordelt på 65 områder. Medianverdien for klorid (Cl) og natrium (Na) er beregnet for hver enkelt målestasjon da denne verdien er mer representativ enn gjennomsnittsverdien. Medianverdien og maksimumsverdien for Cl og Na for hvert punkt, er plottet på kart i figurene Figur 4-1 til Figur 4-4. Grunnvann fra fjell og løsmasser er vist for seg, men det er ikke skilt mellom borebrønner og oppkommer. Konsentrasjonen av Na og Cl er gitt i mg/l og inndelt i fire klasser basert på litteraturstudiet i WP1, som vist i Tabell 4.1. Klassene er delt inn med farge og symbolstørrelse. Terskelverdi for Cl er satt lik grenseverdien i Drikkevannsforskriften som også er gjeldende verdi i Vannforvaltningsforskriften.

4.1.1 Analyseresultatene

Analysedata fra LGN-stasjonene viser at Cl-innholdet i norsk grunnvann er lavt i uberørte områder. Med unntak av tre målestasjoner ligger alle målingene av klorid for LGN-stasjonene under 50 mg/l. Målestasjonene på 1-Orresanden og 29-Fana (løsmasser) og 62-Lade (fjell) viser maksimumsverdier for klorid i intervallet 50-150 mg/l (Figur 4-1 og Figur 4-2). Verdiene er vist i Tabell 4.2. Kun brønnen på Orresanden har medianverdi som overskrider 50 mg/l. Samtlige tre stasjoner ligger nær kysten og er påvirket av saltvann i nedbør, mens brønnene på Lade og Orresanden også kan være påvirket av saltvannsinntrengning fra sjøen. Prøvepunkt nummer 2 på Orresanden vil overskride vendepunktverdien for Cl dersom man benytter forslaget fra Bioforsk på 110 mg/l (Jakob & Amundsen 2010), som presentert i Tabell 3.2.

Lokalitet 15-Fura/Løken er påvirket av vegsalt da omlegging av veien har ført til at brønnen nå ligger nedstrøms veien. Maksimal konsentrasjon målt er 37 mg/l, mens maksimal konsentrasjon målt før saltpåvirkning er 2 mg/l.

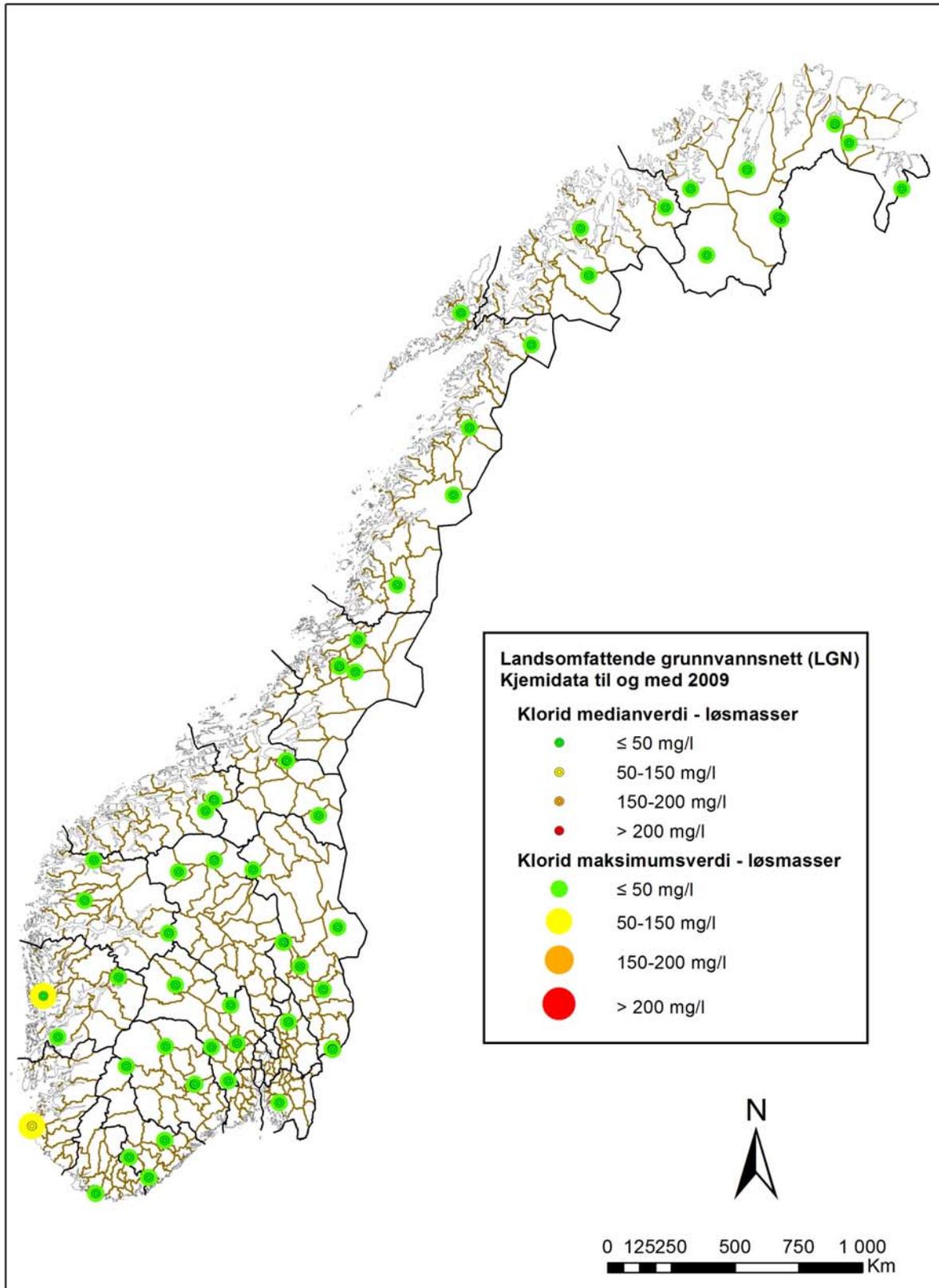
For natrium er det ingen av stasjonene som overskrider terskelverdien på 150 mg/l, men flere stasjoner har både median og maksimumskonsentrasjoner i intervallet 20-150 mg/l (Figur 4-3 og Figur 4-4). I følge WHO har mesteparten av verdens grunnvann verdier under 20 mg Na/L.

Tabell 4.1 Inndeling av natrium (Na) og klorid (Cl) i fire klasser for presentasjon på kart.

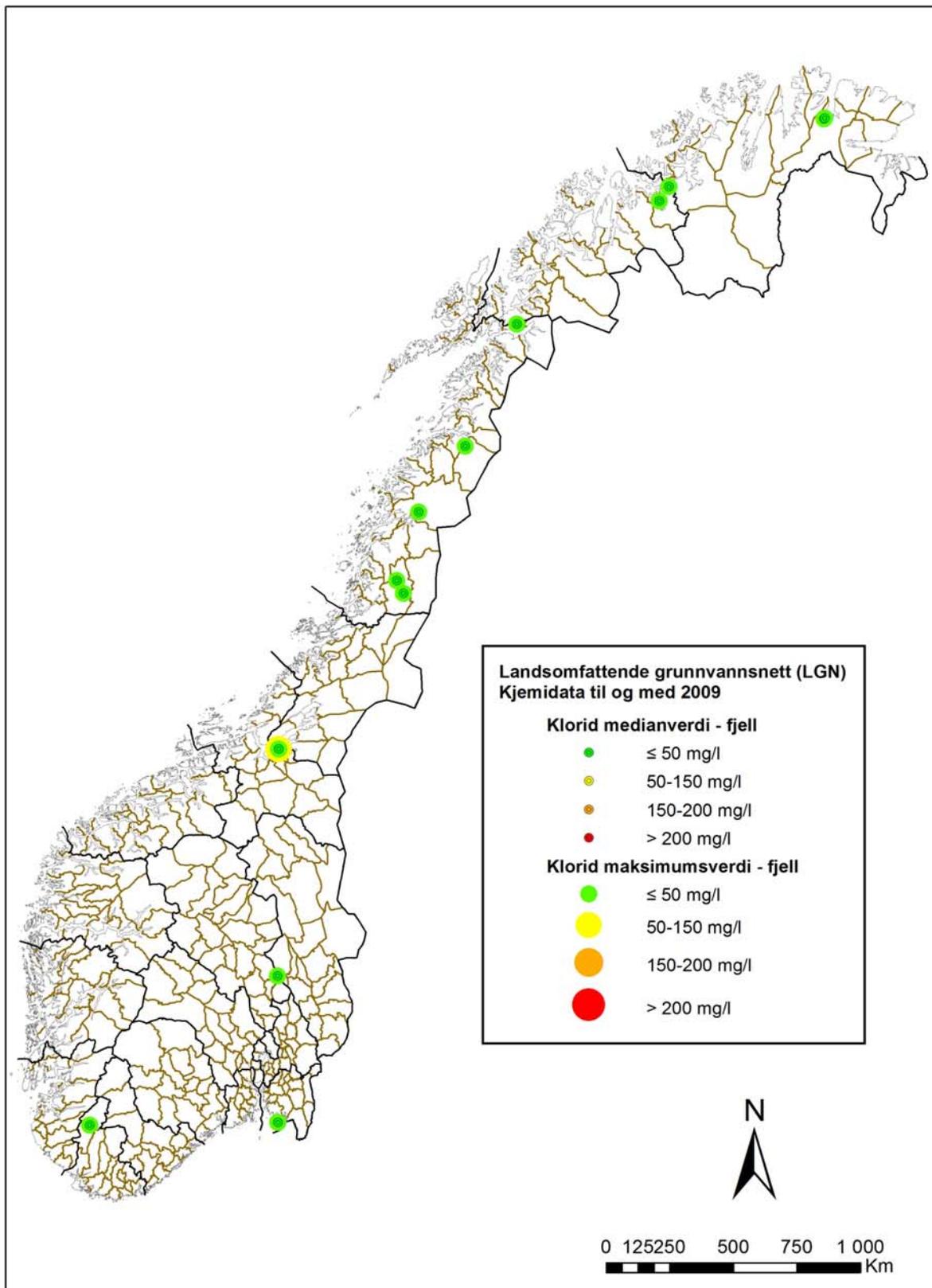
Klasse	Begrunnelse	Cl (mg/l)
1	Naturlig variasjon < Cl/l.	< 50
2	I Sverige mener man at verdier > 50 mg Cl/l kan indikere påvirkning av salt grunnvann, avløp, deponi, vegsalting eller overflateavrenning fra vei. Vendepunktverdi for største delen av Sverige er satt til 50 mg/l.	50 - 150
3	Vendepunktverdi = 150 mg/l, (75% av terskelverdien, vedtatt av nasjonale vannmyndigheter, c.f. kap. 3)	150 - 200
4	Grenseverdi i drikkevannsforskriften = terskelverdi = 200 mg/l	> 200
Klasse	Begrunnelse	Na (mg/l)
1	I følge WHO har mesteparten av verdens grunnvann verdier < 20 mg Na/l (World Health Organization 2008)	< 20
2	Sverige har vedtatt vendepunktverdi på 20 mg/l.	20 – 150
3	Vendepunktverdi = 150 mg/l, (75% av terskelverdien, vedtatt av nasjonale vannmyndigheter, c.f. kap. 3)	150 – 200
4	Grenseverdi i drikkevannsforskriften = terskelverdi = 200 mg/l	> 200

Tabell 4.2 Median og maksimumsverdier for klorid (Cl) fra LGN-områdene 1-Orresanden, 29-Fana og 62-Lade

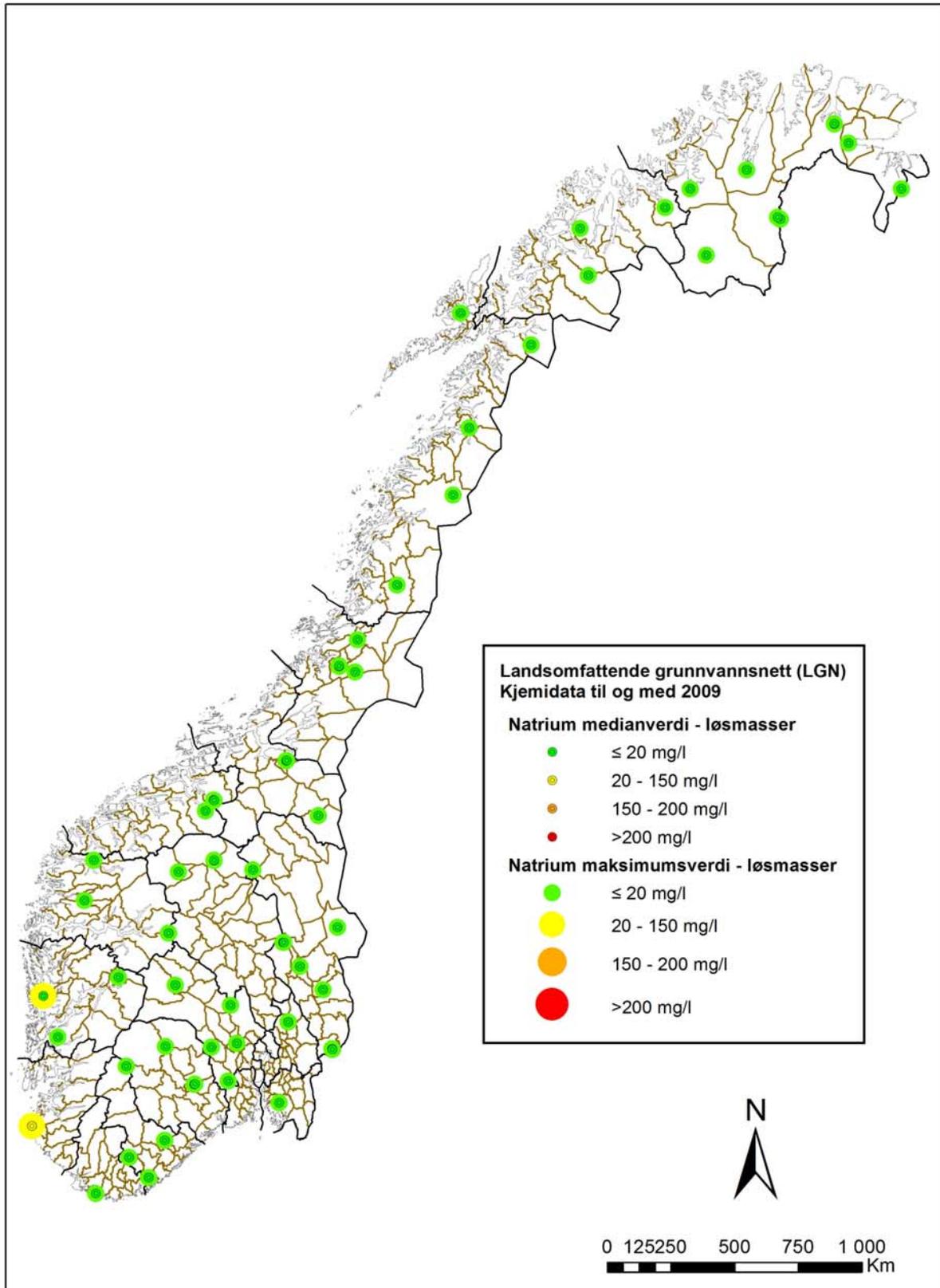
LGN-område (prøvepunkt)	Cl-maks (mg/l)	Cl-median (mg/l)
Orresanden (1)	97,4	79,0
Orresanden (2)	115,0	64,8
Fana (2)	83,30	14,6
Fana (kilde)	66,8	49,0
Lade (4)	51,8	40,4



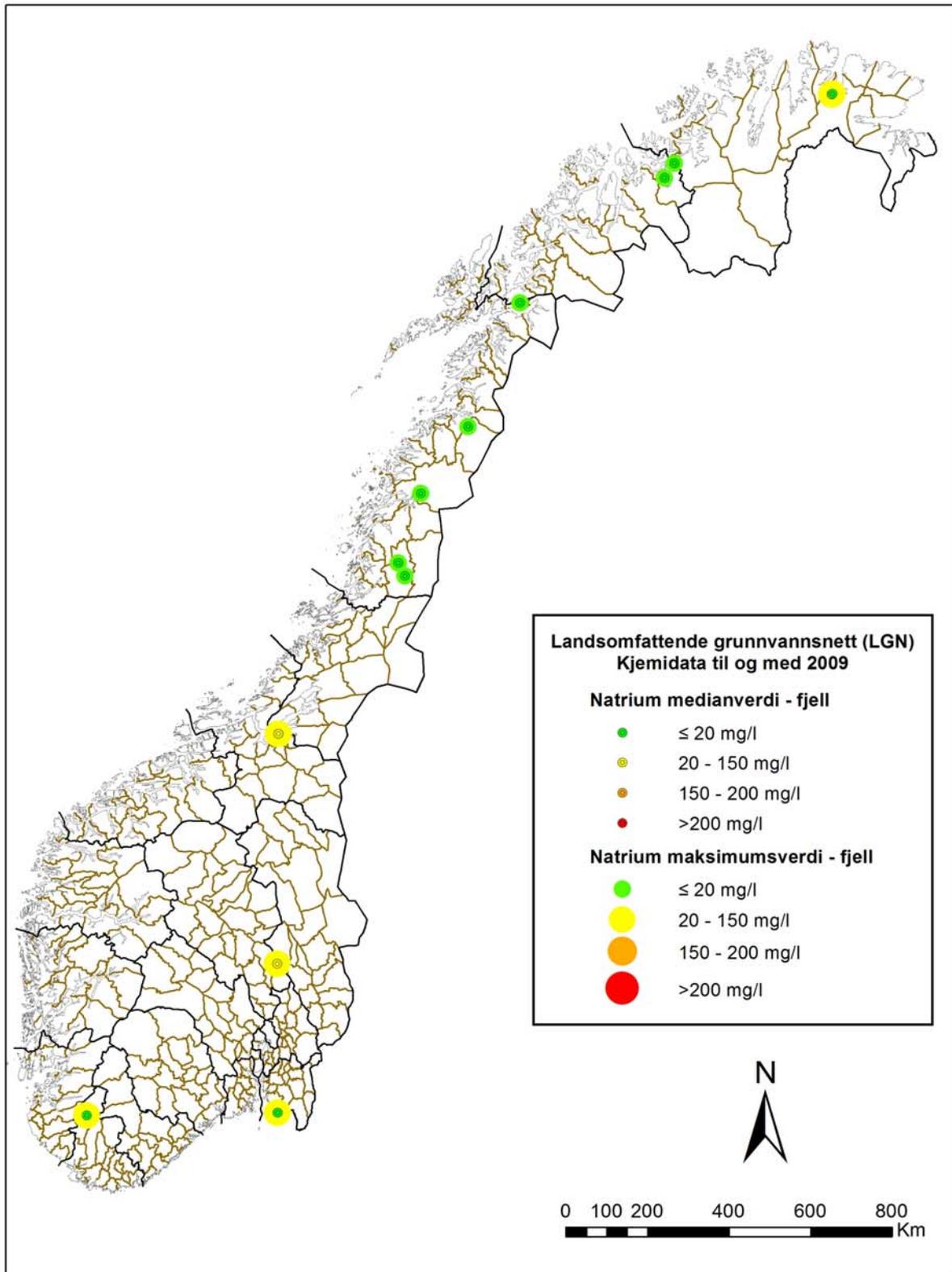
Figur 4-1 Målestasjoner for Landsomfattende grunnvannnett (LGN) i perioden 1977-2009. Median og maksimumsverdier for klorid. Prøvetakingspunkt er brønn eller kilde i løsmasser, 87 målepunkter totalt.



Figur 4-2 Målestasjoner for Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) i perioden 2003-2009. Median og maksimumsverdier for klorid. Prøvetakingspunkt er brønn eller kilde i fjell, 15 målepunkter totalt.



Figur 4-3 Målestasjoner for Landsomfattende grunnvannnett (LGN) i perioden 1977-2009. Median og maksimumsverdier for natrium. Prøvetakingspunkt er brønn eller kilde i løsmasser, 87 målepunkter totalt.



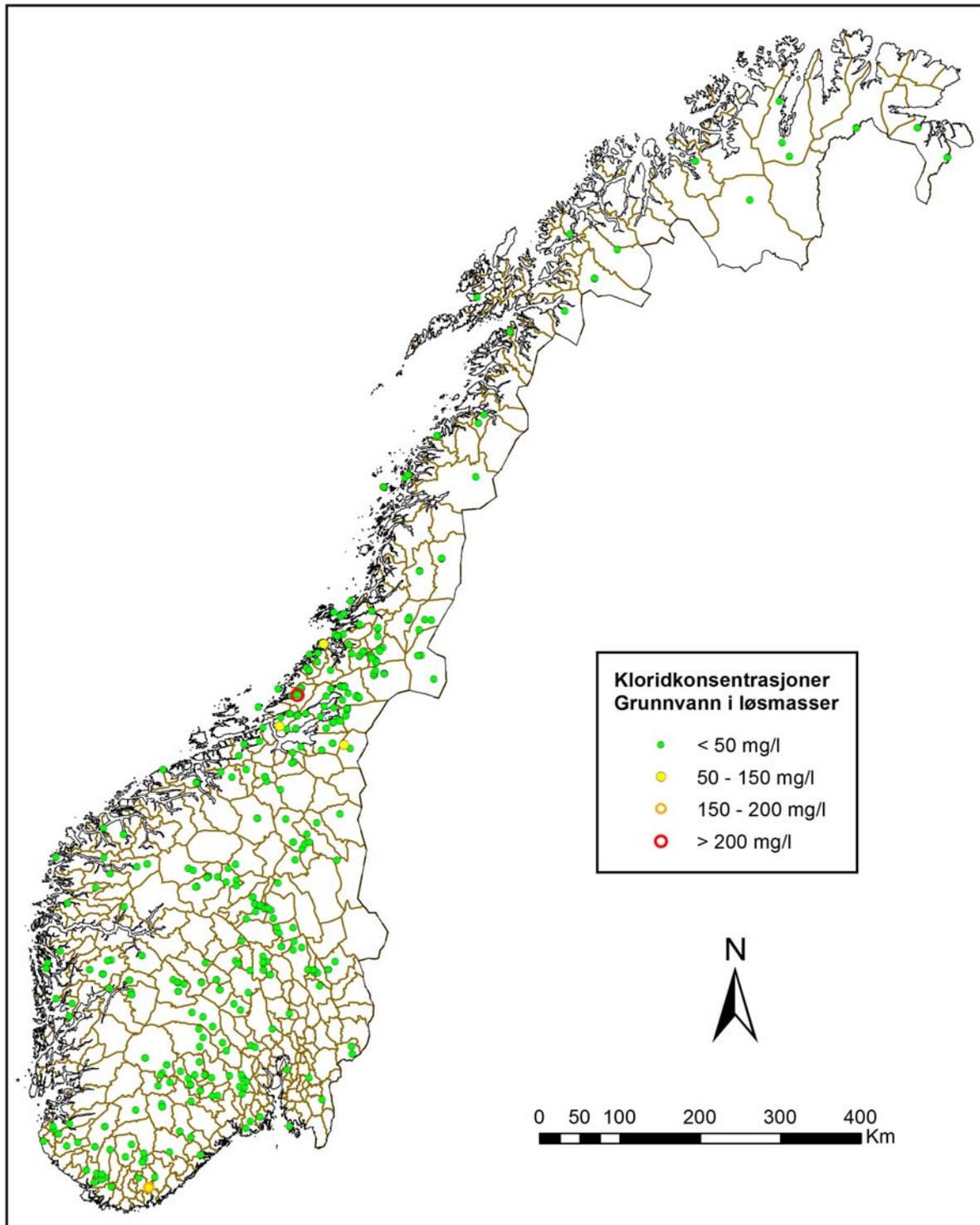
Figur 4-4 Målestasjoner for Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) i perioden 2003-2009. Median og maksimumsverdier for natrium. Prøvetakingspunkt er brønn eller kilde i fjell.

4.2 Geokjemidata fra eksisterende NGU-prosjekter.

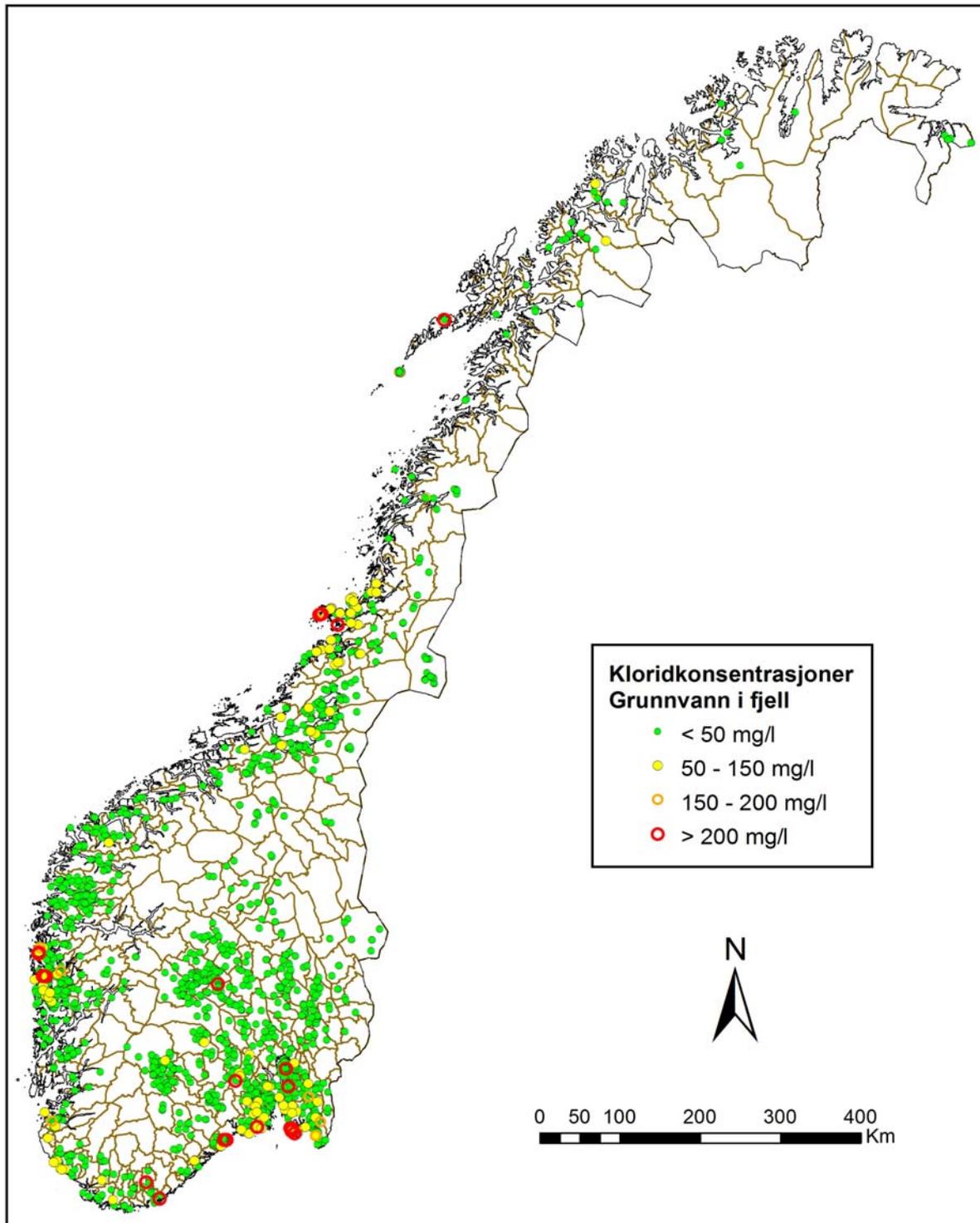
I tillegg til kontinuerlig prøvetaking og analyse av vannprøver fra LGN har NGU gjennomført flere enkeltprosjekter der grunnvann er prøvetatt og analysert. Det gjøres oppmerksom på at ingen av disse prosjektene har hatt vegsalting som fokus. Analysedata for Cl og Na er sammenstilt og presentert som punktkart i figurene Figur 4-5 til Figur 4-8. Hvert punkt representerer én analyse. Det er i figurene skilt mellom grunnvann i løsmasser og fjell, men ikke mellom borebrønner og oppkommer. Konsentrasjonen av Cl er vist i Figur 4-5 (løsmasser) og Figur 4-6 (fjell) og konsentrasjonen av Na i grunnvannet er vist i Figur 4-7 (løsmasser) og Figur 4-8 (fjell).

Vannprøver samlet inn fra private brønner, vannverk og fra oppkommer viser at kloridkonsentrasjonen i grunnvann i løsmasser i de fleste tilfeller ligger under 50 mg/l (Figur 4-5). Av brønnene der grunnvannet overskrider 50 mg/l er det noen få som overskrider vendepunktverdien på 150 mg/l eller grenseverdien i drikkevannsforskriften på 200 mg/l. For borebrønner i fjell er bildet et annet (Figur 4-6). Fortsatt har flertallet av brønnene grunnvann med kloridkonsentrasjon < 50 mg/l, men langt flere av vannprøvene viser et kloridinnhold som overskrider dette. I tillegg er det flere brønner som også overskrider vendepunktverdien eller grenseverdien i drikkevannsforskriften. Ut fra kartene er de fleste av disse prøvetakingspunktene kystnære, men dette kan være et utslag av målestokken på kartet (ca 1: 6 millioner).

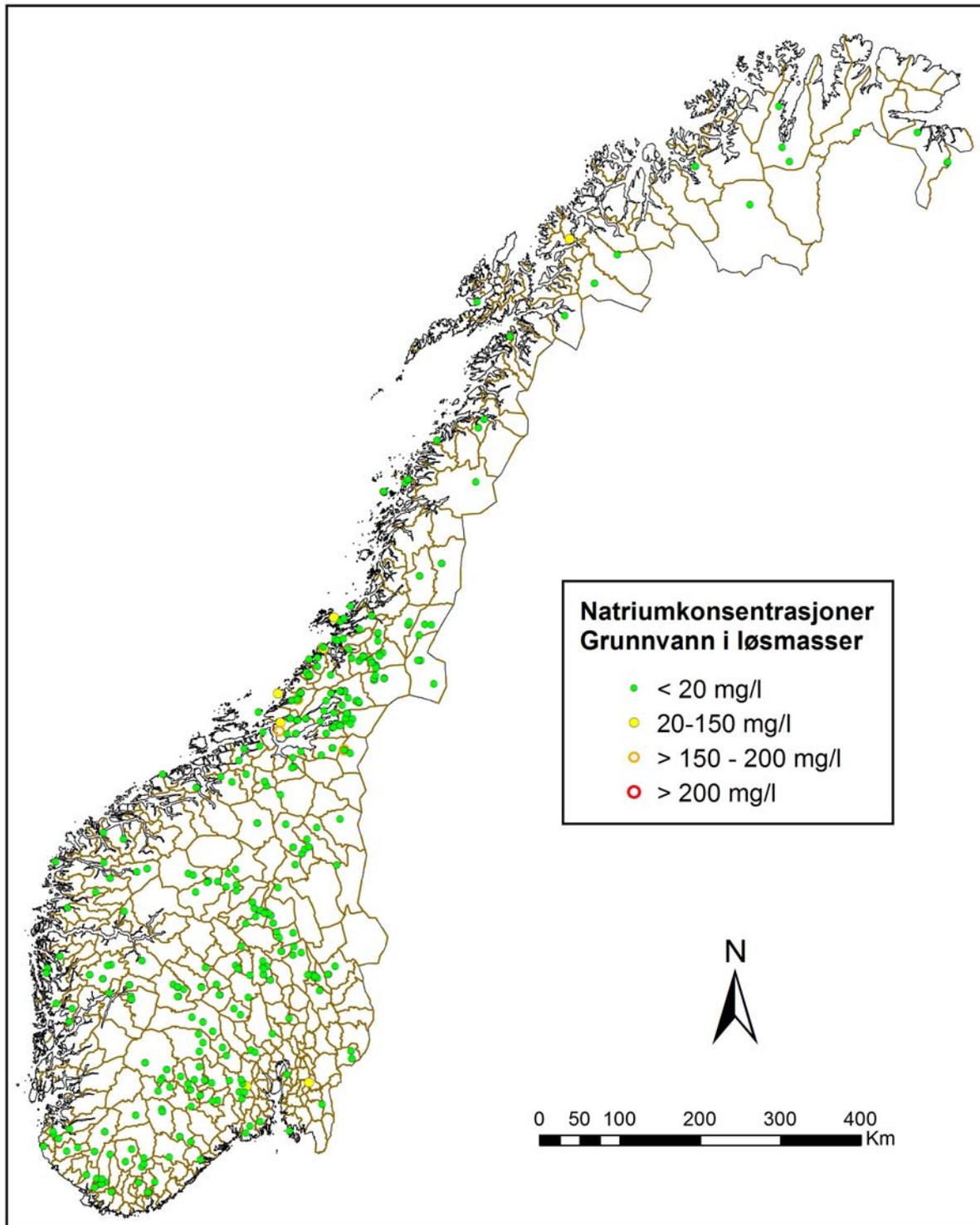
Figur 4-7 og Figur 4-8 viser tilsvarende resultater for natrium som klorid. I løsmassene er det få prøvepunkt som viser natriumkonsentrasjoner over 20 mg/l, mens det er flere plasser grunnvann fra fjell har natriumkonsentrasjoner som overskrider enten vendepunktverdien på 150 mg/l eller grenseverdien i drikkevannsforskriften på 200 mg/l. Natrium har de samme mulige kildene som klorid, men natrium kan også i stor grad skyldes bergartsforvitring.



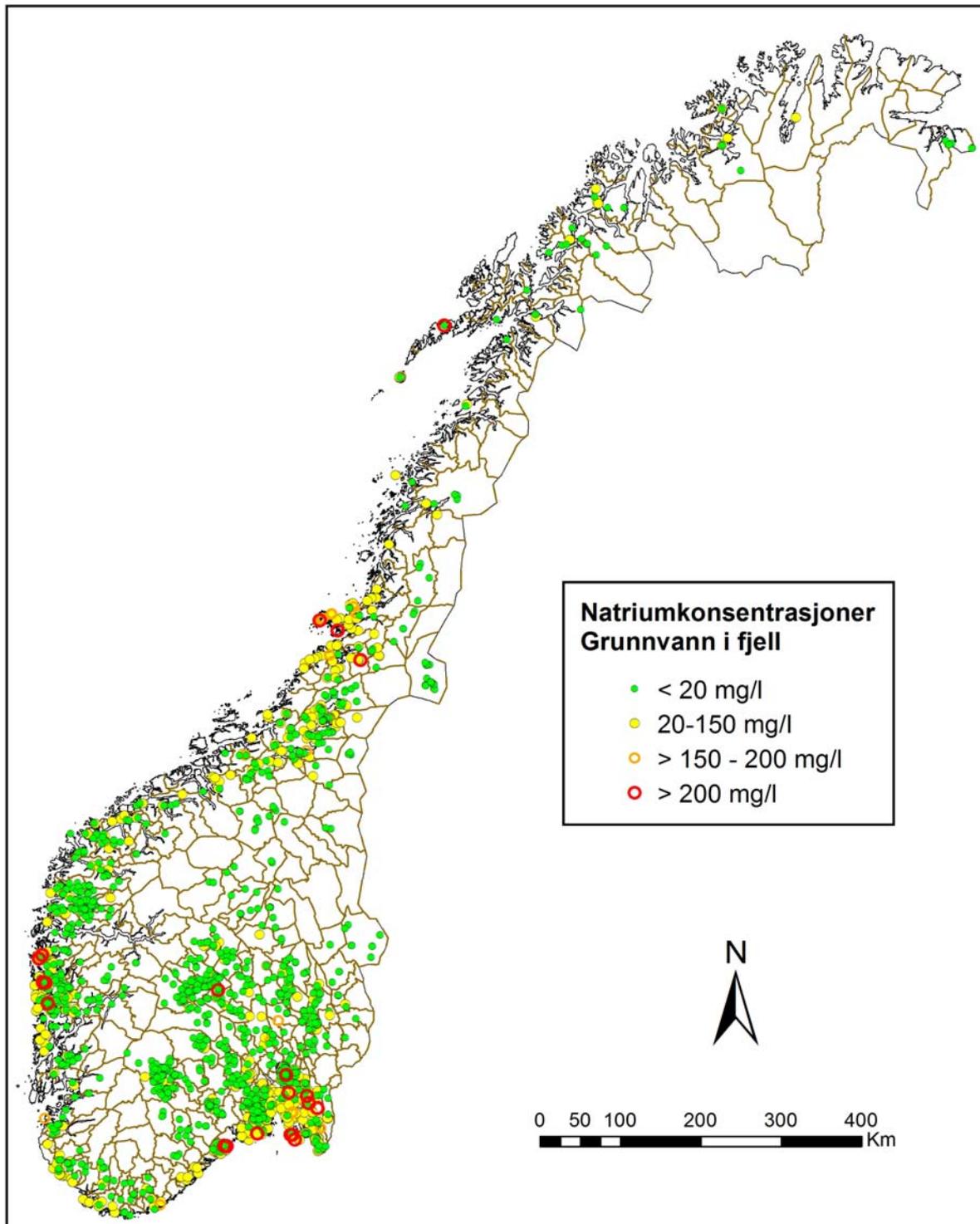
Figur 4-5 Kloridkonsentrasjoner i grunnvann i løsmasser. Punktene representerer én vannanalyse. Data består av vannprøver både fra borebrønner og oppkommer, 506 analyser totalt.



Figur 4-6 Kloridkonsentrasjoner i grunnvann i fjell. Punktene representerer én vannanalyse. Data består av vannprøver både fra borebrønner og oppkommer, 1921 analyser totalt.



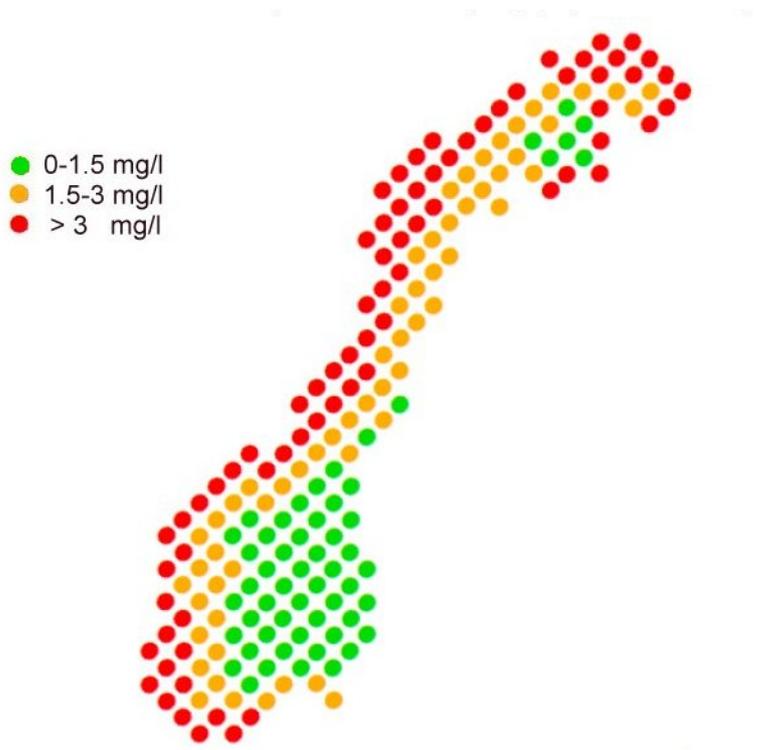
Figur 4-7 Natriumkonsentrasjoner i grunnvann i løsmasser. Punktene representerer én vannanalyse. Data består av vannprøver både fra borebrønner og oppkommer, 506 analyser totalt.



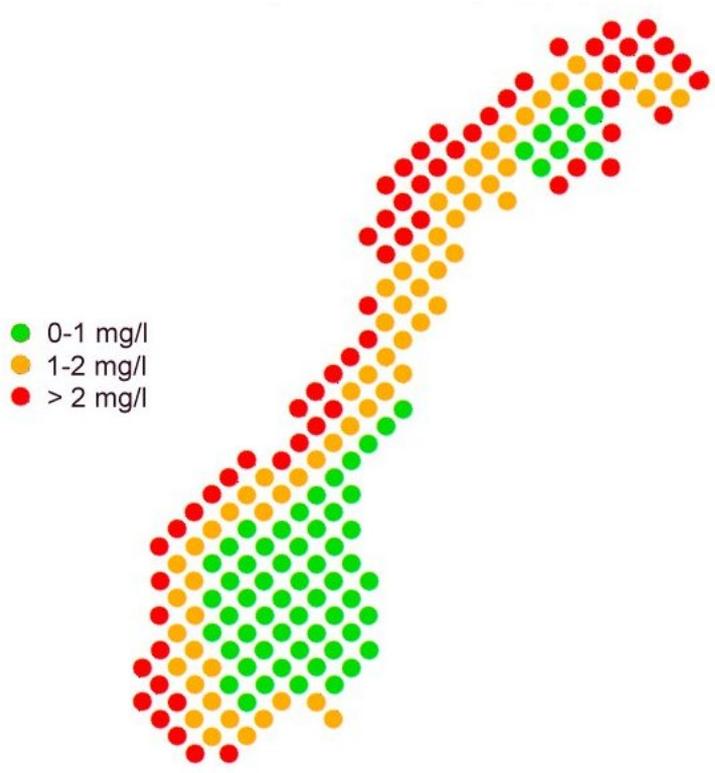
Figur 4-8 Natriumkonsentrasjoner i grunnvann i fjell. Punktene representerer én vannanalyse. Data består av vannprøver både fra borebrønner og oppkommer, 1921 analyser totalt.

4.3 Målte gjennomsnittsverdier av Cl og Na i nedbør

Fra NILU (2008) har vi gjennomsnittlige verdier for Cl og Na i nedbør, beregnet for et landsdekkende rutenett på 50 x 50 km. I Figur 4-9 og Figur 4-10 er disse plottet i tre klasser.



Figur 4-9 Gjennomsnittlige målinger av kloridkonsentrasjon i nedbør (data kilde: NILU, 2008)



Figur 4-10 Gjennomsnittlige målinger av natriumkonsentrasjon i nedbør (data kilde: NILU, 2008)

4.4 Kilder til salt i grunnvann

Kilder til salt i grunnvannet er flere enn bare vegsalting. Som vist i kapittel 4.1.1 er brønner boret i kyststrøk utsatt for saltvannsinntrengning. I tillegg vil NaCl tilføres via nedbør. Tabell 4.3 viser en oversikt over geologiske forhold og menneskelig påvirkning som kan føre til økt innhold av NaCl. Ved kloakkforurensning kan man også forvente et forhøyet ammoniakkinnhold.

Tabell 4.3 Oversikt over geologiske forhold og menneskelig påvirkning som kan føre til økt kloridinnhold i grunnvannet.

Kilder til salt i grunnvannet		
Geologisk	Kystnærhet	Inntrengning av saltvann og tilførsel fra nedbør
	Under marin grense	Relikt salt
Menneskelig påvirkning	Vegsalt	
	Lekkasje fra avfallsdeponier, avløpsanlegg og avløpsledninger	
	Landbruk	Husdyrgjødsel og kunstgjødsel

Høyt innhold av natrium kan være et problem for deler av befolkningen som må gå på saltfattig diett. For disse kreves det et langt lavere natriuminnhold i drikkevannet enn grenseverdien på 200 mg/l (Folkehelseinstituttet 2006). I områder med mye kalk i berggrunnen vil det i mange tilfeller være aktuelt med vannbehandling for å redusere kalsiuminnholdet i vannet. Dette gjøres ofte med ionebytting mot natrium. I områder med kalkholdige bergarter kan vegsalting og tilførsel av natrium derfor være en ekstra belastning.

5. Klorid i nedbør og grunnvann

Sårbarhet for salt i grunnvann henger sammen med den naturlige transporten av salt i atmosfæren. Beregninger av bakgrunnskonsentrasjon for klorid og natrium i grunnvann fra atmosfærisk nedfall inngår derfor som en del av dette prosjektet. Resultatet av beregninger viser at gjennomsnittskonsentrasjon av salt i grunnvann kan være opptil dobbelt så høy som gjennomsnittskonsentrasjonen i nedbøren. Over et romlig gjennomsnitt på 1x1 km² er variasjonsbredden over Norge for stasjonær kloridkonsentrasjon i nedbør fra 0 til 4.6 mg/L. Tilsvarende beregninger for grunnvannskonsentrasjonen gir variasjoner fra 0 til 9.4 mg/L. For mer utfyllende dokumentasjon se Vedlegg 3 til denne rapporten, samt masteroppgaven til Tjøstheim (2011).

6. Beregning av løsmassemekthet

6.1 Datakilder

For å beregne mest sannsynlig løsmassemekthet i punkter hvor det ikke foreligger målinger kan man kombinere informasjon fra eksisterende registre med digitale kart. Begge disse datakildene har NGU gjort tilgjengelige for dette prosjektet.. Følgende data inngår i analysene:

- Sondérboringer (1826 brønner m/brønndyp og dyp til fjell)
- Løsmassebrønner (3740 brønner m/brønndyp og dyp til fjell)
- Fjellbrønner (49164 brønner m/brønndyp og dyp til fjell)
- Fjellblottningspunkter (32768 fjellblottninger +733 borehull +8890 stratigrafipkt.+47084 løsmasseformpkt.)
- Lithopunkter. (3179) med dyp til fjell=0
- Løsmassekart (flate)

6.2 Data fra NGU

NGU har levert følgende datagrunnlag til SaltSMART-prosjektet:

1. Klassifiseringsnøkkelen for visningskartet "Mekthet" i løsmassedatabasen. Kapittel 6.3.3
2. Oversendelse av punkter fra kvartærkartene som angir små fjellblottninger. Kapittel 6.3.3
3. Prøvetakingspunkter Lithoprosjektet (bart fjell – punkter). Kapittel 6.3.2
4. Data fra brønndatabasen (GRANADA). Kapittel 6.3.3
5. Uttak av flatene i løsmassedatabasen (landsdekkende). Kapittel 6.3.1
6. Uttak fra grus- og pukkdatabasen (landsdekkende). Kapittel 6.3.4
7. Vannkjemidata (klorid og natrium) fra LGN. Kapittel 296.3.5

Alle data er overlevert Stein Turtumøygard ved Bioforsk.

6.3 Beskrivelse av datasettene

NGU er en del av Norge digitalt og en detaljert beskrivelse av NGUs digitale kartdata finnes som metadata på geoNorgeportalen (www.geonorge.no). Sammendragene for løsmassedatabasen (kapittel 6.3.1) og grus- og pukkdatabasen (kapittel 6.3.4) er gjengitt i denne rapporten. For ytterligere dataspesifikasjon henvises det til geoNorge (<http://www.geonorge.no/Portal/ptk?command=openchannel&channel=301>)

6.3.1 Landsdekkende data fra løsmassedatabasen

Løsmassekart - flater

Beskrivelsen av datasettet er hentet fra geoNorge. Datagrunnlaget for tema jordarter er basert på innholdet i kvartærgeologiske kart (løsmassekart), som foreligger analogt i flere målestokker (hovedsaklig M 1:50.000). Kartene er konvertert til digital form ved hjelp av skanning og vektorisering. I første omgang er kun flatene og formelementer (linjer) etablert som digitale datasett. Temakoder og egenskaper følger i hovedsak SOSI-standarden, versjon 4.0. I egenskapstabellen til kartet er det gitt opplysninger om jordartstype, og med utgangspunkt i jordartenes egenskaper er det utviklet avledede tema. De avleda temaene må ikke oppfattes som absolutte, men er kun retningsgivende. Lokale forhold og variasjoner vil kunne medvirke til at avledningen burde være annerledes enn oppgitt. Lokale undersøkelser anbefales derfor før tiltak basert på avledningen settes i verk.

Klassifiseringsnøkkel for visningskart "Mektighet"

Avledet visningskart "Mektighet" er basert på jordartenes egenskaper hentet fra løsmassedatabasen. Mektigheten ligger ikke som en egenskap i databasen, men er presentert i karttjenesten etter en grovinndeling av løsmassenes (jordartstypenes) gjennomsnittlige tykkelse. Klassifiseringsnøkkel er oversendt Bioforsk 06. oktober 2010 sammen med punktene som viser fjellblotninger.

Fjellblotninger (punkter med fjell i dagen)

De analoge løsmassekartene inneholder punktinformasjon om blant annet fjellblotninger (punkter med fjell i dagen). Disse punktene er digitalisert, men ikke tilrettelagt for visning via NGUs kartapplikasjon. Data ble oversendt Bioforsk 06. oktober 2010. Forsendelsen inkluderer lyr-filene som benyttes til klassifisering.

6.3.2 Prøvetakingspunkter Lithoprojektet

Lithoprojektet ved NGU omfatter prøvetaking av borekjerne. Samtlige prøvetakingspunkt er plassert rett på fjell. En exceltebelle med oversikt over kvalitetssikrede prøvepunkter per 17.08.2010 er mottatt fra prosjektleder Trond Slagstad og oversendt Bioforsk. Punktene koordinater er målt med GPS og har nøyaktighet på 10 m.

6.3.3 Brønndatabasen

NGU er ansvarlig for den nasjonale grunnvannsdatabasen (GRANADA). Brønndatabasen er en del av GRANADA. Uttrekk fra brønndatabasen er gjort av Hans de Beer og oversendt Bioforsk i form av en mdb-fil (personal geodatabasefil) 05. oktober 2010. Datasettet omfatter brønner i fjell og løsmasser samt sonderboringer. I tillegg til brønnummer er følgende data overført: Brukstype, brønntype, brønndyp, dyp til fjell, vannføring, boring, brønnrørlengde, stedfestingsinformasjon og stedfestelsesmetode samt gårds- og bruksnummer. Boreloggen som hører til de enkelte punktene er ikke oversendt da dette ikke var mulig å få til på en enkel måte.

6.3.4 Grus- og pukkdatabasen

Databasen gir opplysninger om sand-, grus- og pukkkforekomstenes viktighet på bakgrunn av beliggenhet, avgrensning, arealdisponering, volum og massenes kvalitet til byggetekniske formål er lagret i Grus- og Pukkdatabasen ved NGU. I tillegg finnes informasjon om massetak på forekomstene og driftsforholdene i disse.

Uttak omfatter kun grusregistreringer og er utført av Bo Nordahl 24. november 2010. Data er overført til Bioforsk via NGUs ftp-server. Datasettet omfatter område og forekomstbeskrivelse. Spesifikke data omfatter blant annet objekttype, forekomstID, matrialtype med undergruppe, andel blokk, stein, grus og sand i forekomsten, volum og vurdering av mektighet.

6.3.5 Vannkjemi

Kjemidata fra Landsomfattende mark- og grunnvannnett (LGN) samt en del NGU-prosjekter er gjort tilgjengelig for dette prosjektet (se figurene 4.1 til 4.8). Dataene omfatter også en del analyser utført på overflatevann. Data fra LGN kan benyttes uten restriksjoner i det videre arbeidet med SaltSMART, mens kjemidata fra de andre NGU-prosjektene må presenteres slik at vannkvaliteten ikke kan spores tilbake til den enkelte brønn.

6.3.6 Statistisk analyse av løsmassemektheter

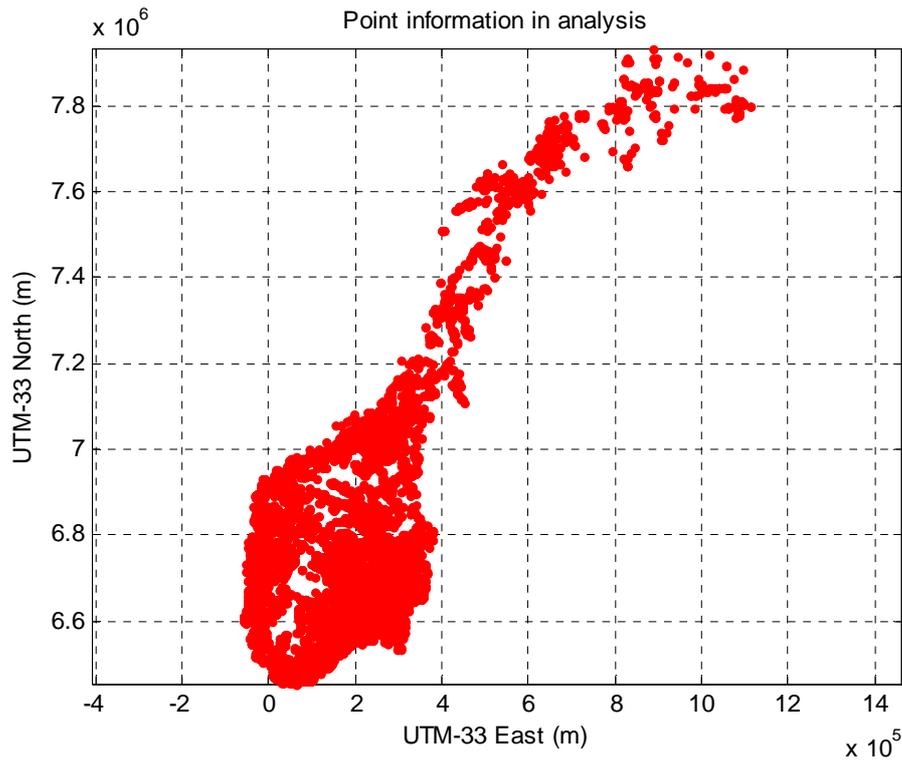
Det omfattende datamaterialet beskrevet ovenfor, kan benyttes for å estimere mektigheter i områder hvor det ikke foreligger direkte målinger. Utfordringen er å utnytte datamaterialet på en slik måte at usikkerheten i estimatet blir minst mulig. Spørsmålet om å minimalisere usikkerheten av kritiske variabler er spesielt viktig i de områdene hvor sårbarhetsanalyser er påkrevet. Minimalisering av usikkerheten kan oppnås ved å benytte to grunnleggende statistiske egenskaper ved det datamaterialet man har til rådighet. For det første har løsmassemektheten (d) en rommelig korrelasjonsstruktur. Det betyr at man vektlegger fysiske observasjoner avhengig av hvor nærme (i betydning avstand i rommet) observasjonen befinner seg. Hvis man ønsker et estimat av d i et bestemt punkt med geografiske koordinater u_0 , så er det avstanden til observasjonene av d som avgjør hvor presist $d(u_0)$ kan estimeres. Hvis d er observert i punktene u_j , hvor $j=1, \dots, n$, og n er antall observasjoner, så er det avstanden $h=|u_0-u_j|$ som avgjør hvor mye de enkelte observasjonene av d skal vektlegges. Det vil si at desto nærmere de fysiske observasjonene av d befinner seg, desto mindre bør usikkerheten være. Dette problemet er formalisert i den statistiske faglitteraturen og er implementert som standard prosedyrer i de fleste geografiske informasjonssystemene under betegnelsen Kriging. For å utnytte den romlige korrelasjonsstrukturen, er det nødvendig å estimere rekkevidden av korrelasjonen. Resultatet av denne delen av undersøkelsen presenteres i variogramanalysen nedenfor. Dersom to variabler samvarierer, kan usikkerheten ytterligere reduseres ved å benytte seg av slik tilleggsinformasjon. Utgangspunktet for denne delen av analysen er basert på antagelsen om at det er en statistisk sammenheng mellom horisontal avstand til nærmeste fjellblotning $L(u)$, i punktet u , og mektigheten til løsmassene i det aktuelle punktet $d(u)$. Dersom den horisontale avstanden $L(u)$ er kjent, kan mektigheten $d(u)$ estimeres med større nøyaktighet. Matematisk kan dette uttrykkes som et betinget estimat av mektigheten: $E[d(u)|L(u)]$, hvor symbolet $E[\]$ er et uttrykk for estimatet og symbolet $|$ betegner at $L(u)$ er gitt. Basert på kvartærgeologisk kartlegging og annen landsomfattende informasjon (jfr. avsnitt 6.3.1), kan $L(u)$ beregnes for ethvert punkt i Norge. I dette prosjektet har vi beregnet $L(u_j)$ hvor u_j er de geografiske koordinatene for alle de punktene hvor vi har

informasjon om d . I tillegg er $L(u)$ beregnet i et regelmessig rutenett på 25x25 m for noen utvalgte områder for å teste ulike beregningsprosedyrer. Mesteparten av arbeidsinnsatsen i dette prosjektet har gått med til datainnsamling. I neste avsnitt vises det resultater fra landsomfattende variogramanalyse av $d(u)$ og $L(u)$ samt testing av enkle rutiner for estimering av $d(u)$ i et regelmessig rutenett.

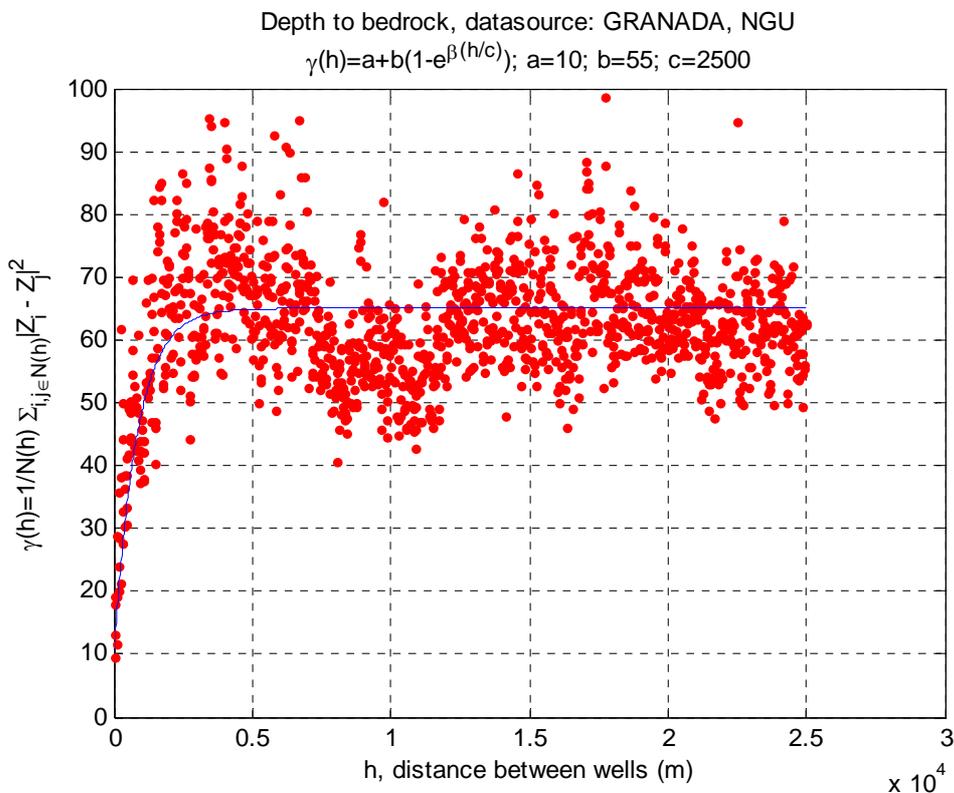
6.3.6.1 Variogramanalysen

Tilsammen 20432 punkter spredt over store deler av Norge med informasjon om $d(u)$ og $L(u)$ er beregnet (Figur 6-1). Dokumentasjon av dette arbeidet er presentert i vedlegg 1 (Estimating sediment thickness based on distance from bedrock outcrops). Gjennomsnitt og standardavvik av forholdet $\alpha=d(u)/L(u)$ er beregnet for ulike intervaller av $L(u)$. Fordi datamaterialet i det vesentlige er basert på fjellbrønner, vil naturlig nok punktinformasjon med kort avstand til nærmeste fjellblotning være overrepresentert. Datamateriale med slike systematisk skjevrepresentasjon betegnes ofte som "biased" i den statistiske faglitteraturen. Denne svakheten ved datamaterialet må likevel ikke tillegges for stor vekt i dette tilfellet. Den kvartærgeologiske historien i Norge resulterte nemlig i en landoverflate som stort sett består av fast fjell. Der det er løsmasser, er disse relativt tynne. Det innebærer at selv om datamaterialet har en overrepresentasjon av observasjoner hvor $L(u)$ er relativt liten, representerer dette store arealer i vårt land. Det er likevel grunn til å minne om at i områder hvor $L(u)$ er stor, vil det være få observasjoner av $d(u)$ og usikkerheten i slike områder blir derfor relativt mye større enn i områder hvor $L(u)$ er liten.

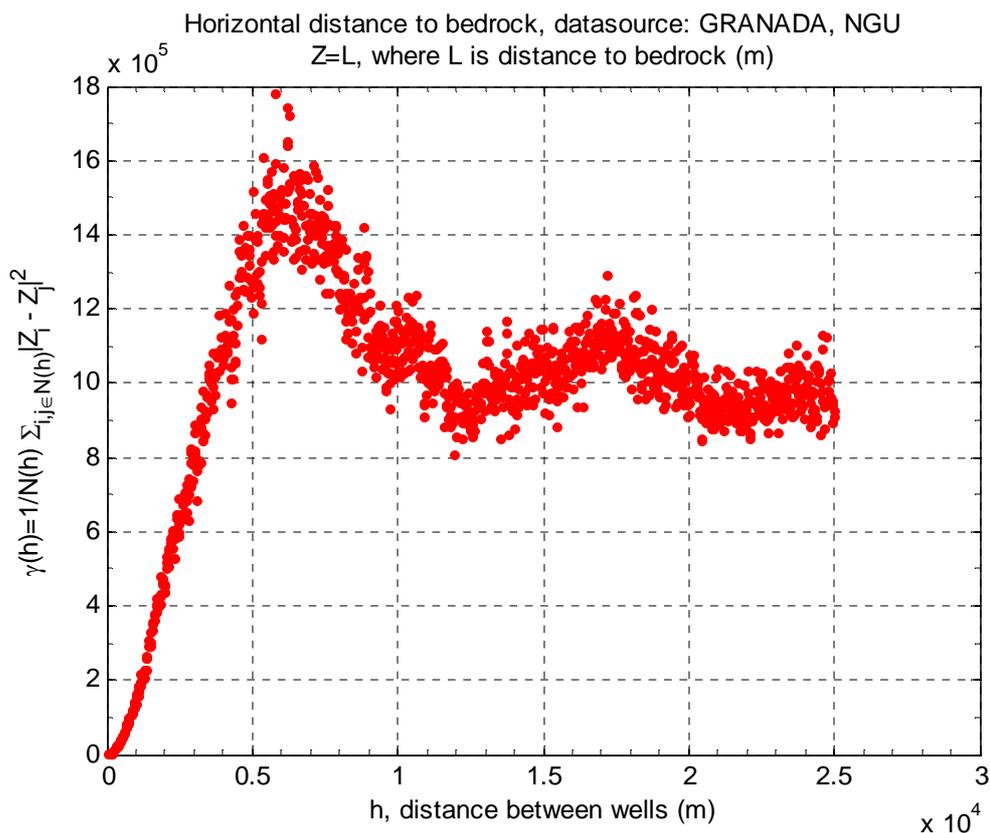
I tillegg til beregning av gjennomsnittsverdier for a , er det beregnet semivariogram for løsmassemektighet d og a (Figur 6-2 og Figur 6-3). Beregningene viser korrelasjon i rommet på ca 2.5 km for d og ca. 5 km for L . Det innebærer at usikkerheten i interpolering av sedimentmektigheten kan reduseres dersom det er mindre enn 2.5 km mellom brønninformasjonen.



Figur 6-1: Informasjon fra NGUs brønn database om sedimentmektighet $d(u)$ og horisontal avstand $L(u)$ til nærmeste fjellblotning.



Figur 6-2: Semivariogram for løsmassemektighet for hele Norge. Med større avstand enn 2.5 km er det ingen påvisbar korrelasjon mellom observert løsmassemektighet. Utenfor denne rekkevidden er semivariansen stort sett mellom 60 og 70 m.



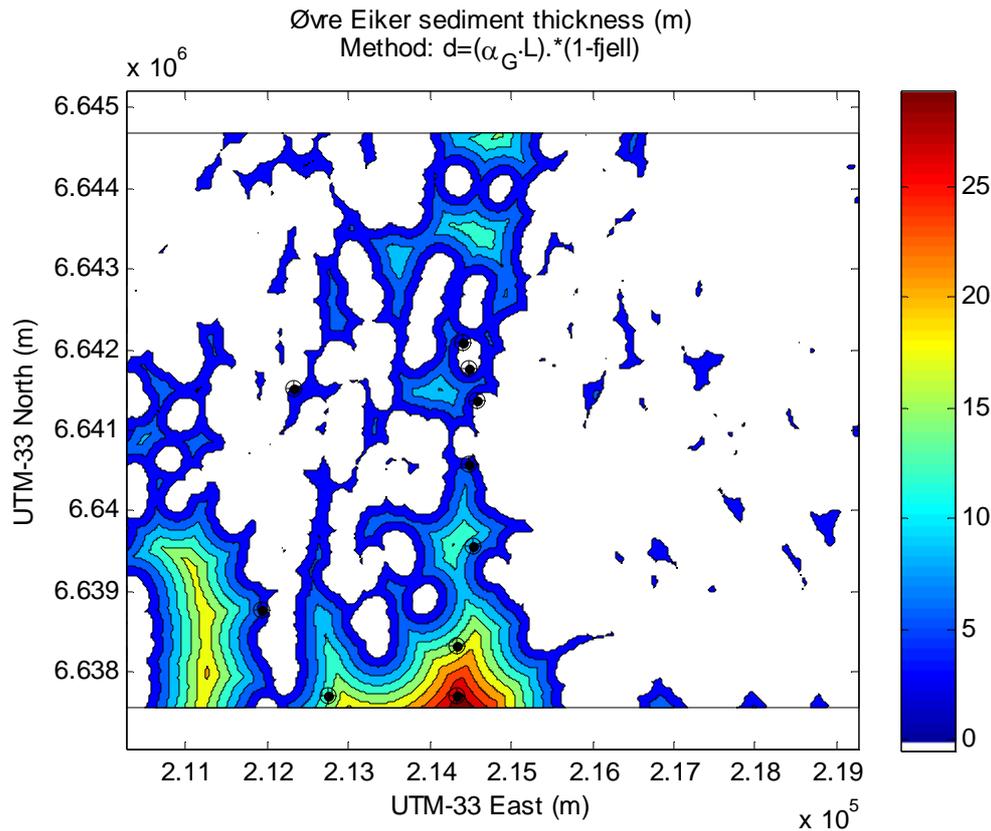
Figur 6-3: Semivariogram av (beregnet) horisontal avstand til nærmeste fjellblotning (L). Rekkevidden for korrelasjon av L er ca. 5 km.

6.3.6.2 Interpolering basert på gjennomsnittsparmetre

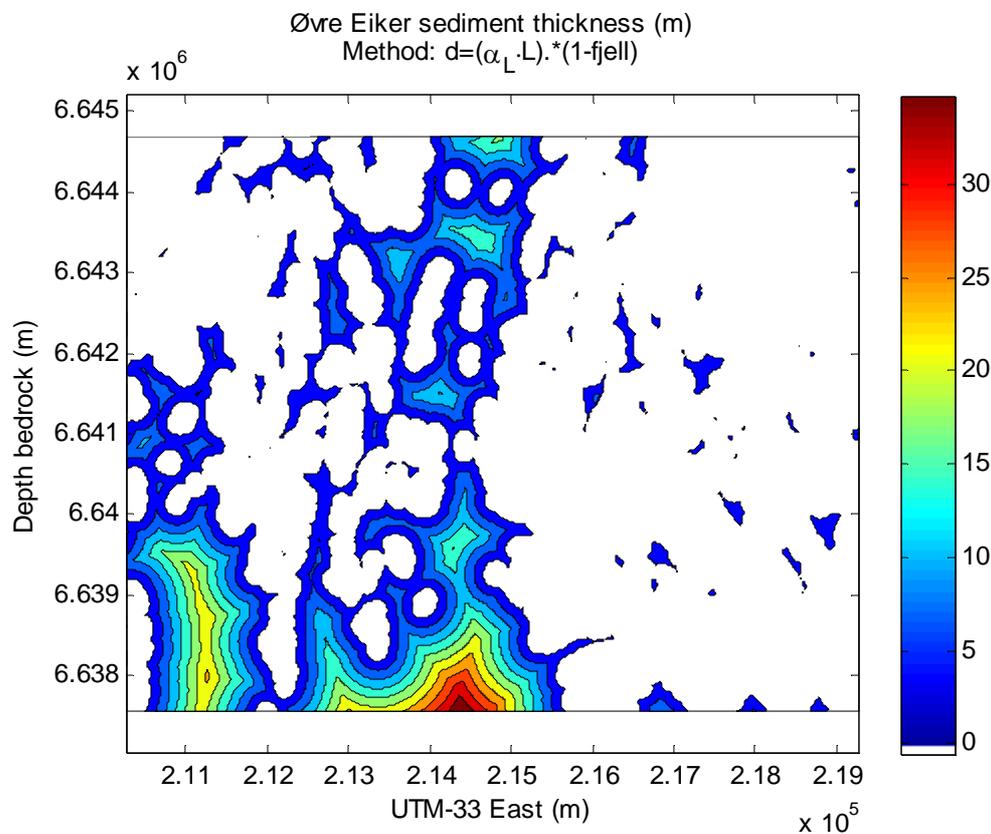
I denne studien er det foretatt en testinterpolering av området ved Øvre Eiker vannverk. Tre ulike interpoleringsmetoder er benyttet: (i) interpolering med gjennomsnittlige verdier for α (basert på data fra hele Norge) og lokalt beregnet L , (ii) som (i), men med α beregnet fra lokale brønner innenfor det aktuelle området. (iii) interpolering som vektet gjennomsnitt av lokale observasjoner. Metode (iii) tilsvarer ordinær kriging. Samtlige interpoleringer benytter kartlegging av eksponert fjell i overflaten (tilgjengelig på www.ngu.no). Resultatene er vist i Figur 6-4 til Figur 6-6.

Estimatet basert på ordinær kriging har store områder med relativt stor usikkerhet. Akkumulert histogram av usikkerheten viser at det er ca. 5 % av området som har en usikkerhet på mindre enn 6 meters mektighet (Figur 6-7). Benytter vi sammenhengen mellom d og L (Figur 6-8), kan usikkerheten gjøres mindre. Sammenligner vi avviket mellom ordinær kriging og estimer basert på lokal α ser vi at store deler av området har et avvik som er mindre enn +/- 5 m sedimentmektighet (Figur 6-9). Differansen mellom estimert sedimentmektighet basert på global og lokal α , er relativt beskjeden. Omlag 10 % av estimert areal (64 km²) har en differanse på mer enn 2 meters sedimentmektighet (Figur 6-10).

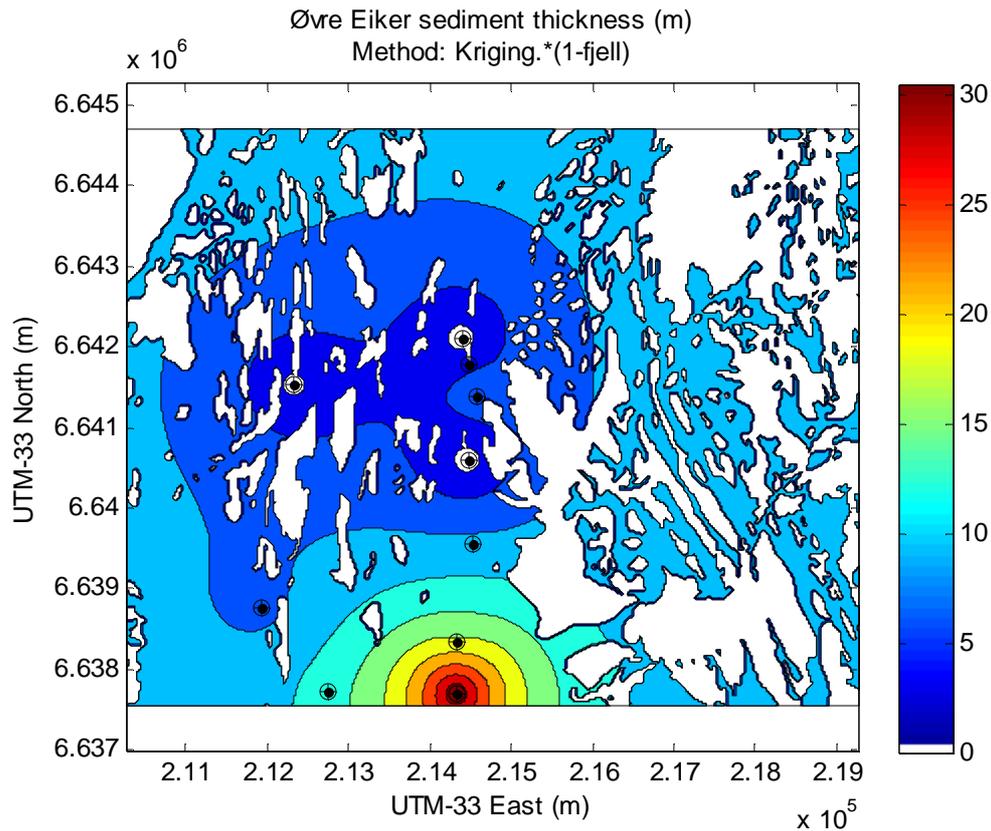
Basert på testing av rutinene for denne lokaliteten, tyder alt på at beregnet mektighet basert på α for hele Norge, gir robuste estimer for sedimentmektigheter.



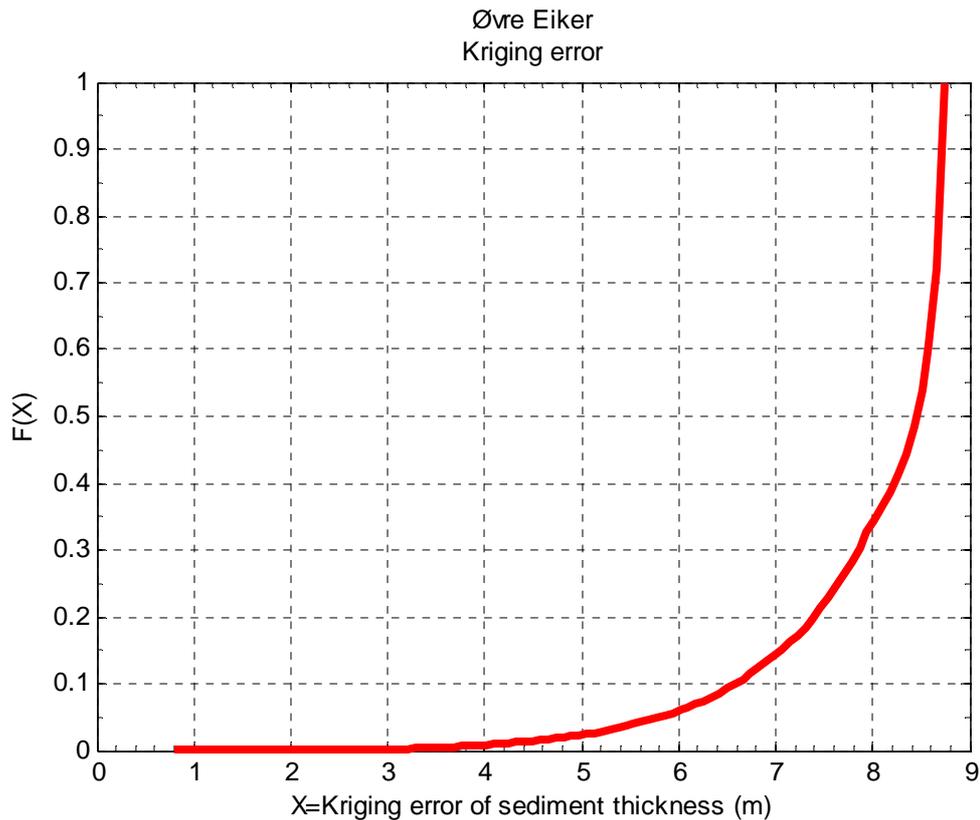
Figur 6-4: Beregnet sedimentmektighet med α basert på landsomfattende data. Lokale brønner er avmerket med sort brønnsymbol.



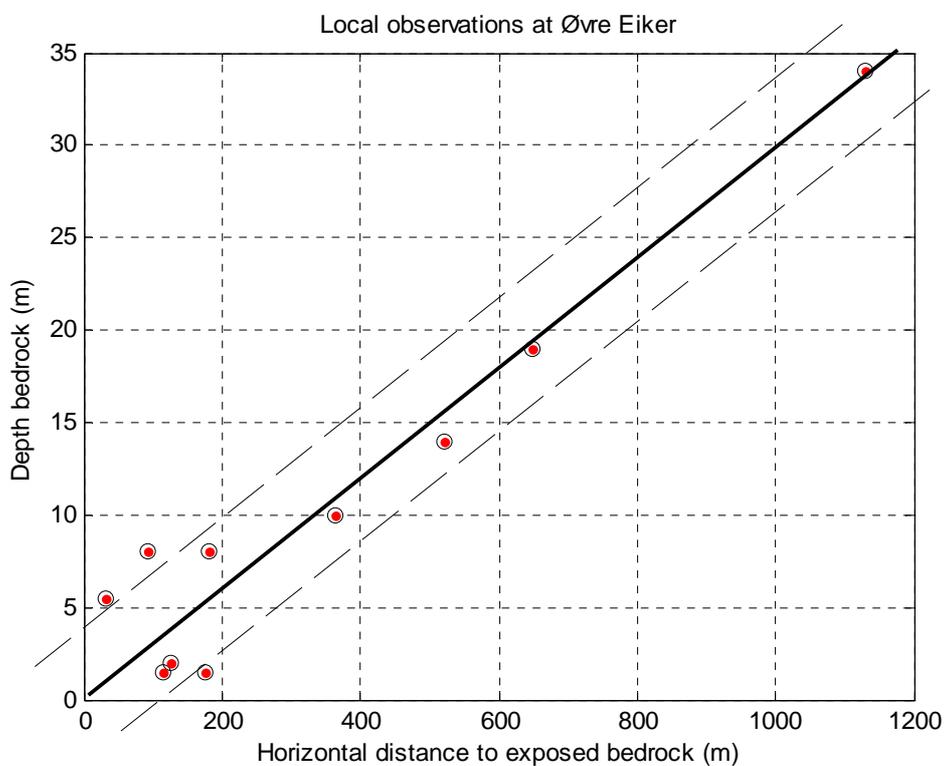
Figur 6-5: Beregnet sedimentmektighet basert på lokal α .



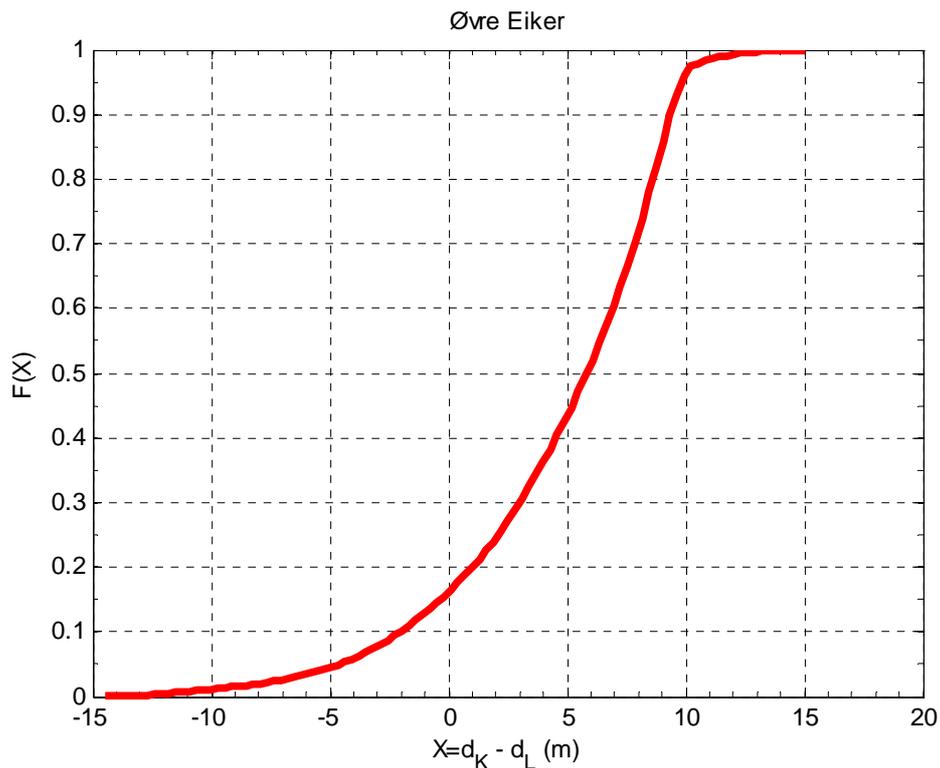
Figur 6-6: Beregnet sedimentmektighet med ordinær kriging. Det betyr at i de punktene hvor det er brønninformasjon, er interpolert mektighet lik observasjonen. I avstander mer enn 2.5 km, er usikkerheten størst, og mektigheten er estimert til gjennomsnitt av observasjonene. Det er årsaken til at området i nedre venstre hjørne av kartutsnittet adskiller seg fra forventet sedimenttykkelse basert på L slik det er vist i Figur 6-4 og Figur 6-5 ovenfor.



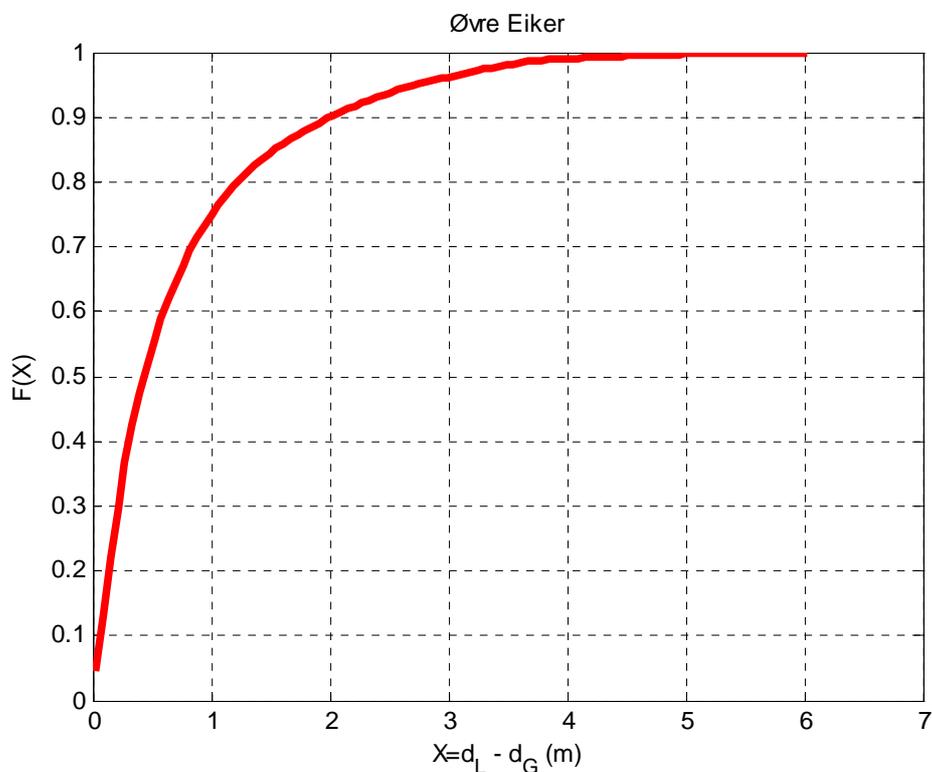
Figur 6-7: Akkumulert histogram for kriging usikkerheten. Figuren viser at ca. 70 % av arealet har en usikkerhet i kriging estimatet på mer enn 8 meter sedimentmektighet. Årsaken er at det ikke er mer enn 10 brønner innenfor estimeringsområdet.



Figur 6-8: Lokal sammenheng mellom løsmassemektigheten (y-aksen) og horisontal avstand til nærmeste fjellblotning (x-aksen).



Figur 6-9: Akkumulert histogram for avviket mellom ordinær kriging (d_K) og estimat av sedimentmektigheten basert på lokal α (d_L). I forhold til d_L overestimeres og underestimeres sedimentmektigheten i d_K med opptil 15 meter. Store deler av arealet har et avvik mellom d_K og d_L på +/- 5m.



Figur 6-10: Akkumulert histogram for avviket mellom estimert sedimentmektighet basert på lokal α og global α . Omlag 90 % av området har en differanse på mindre enn 2 meter.

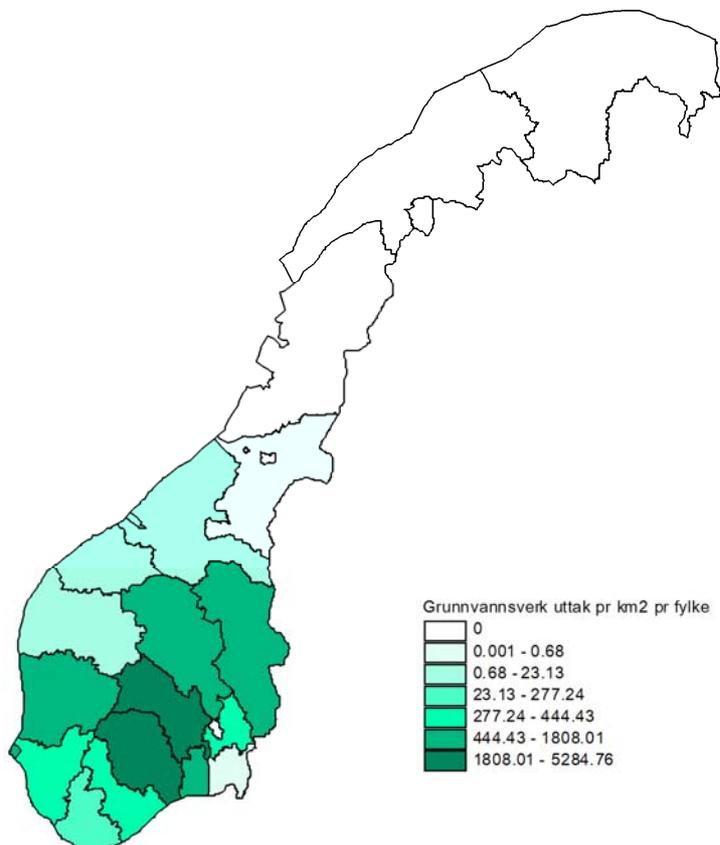
7. Vannuttak fra grunnvannsbrønner

7.1 Datakilder

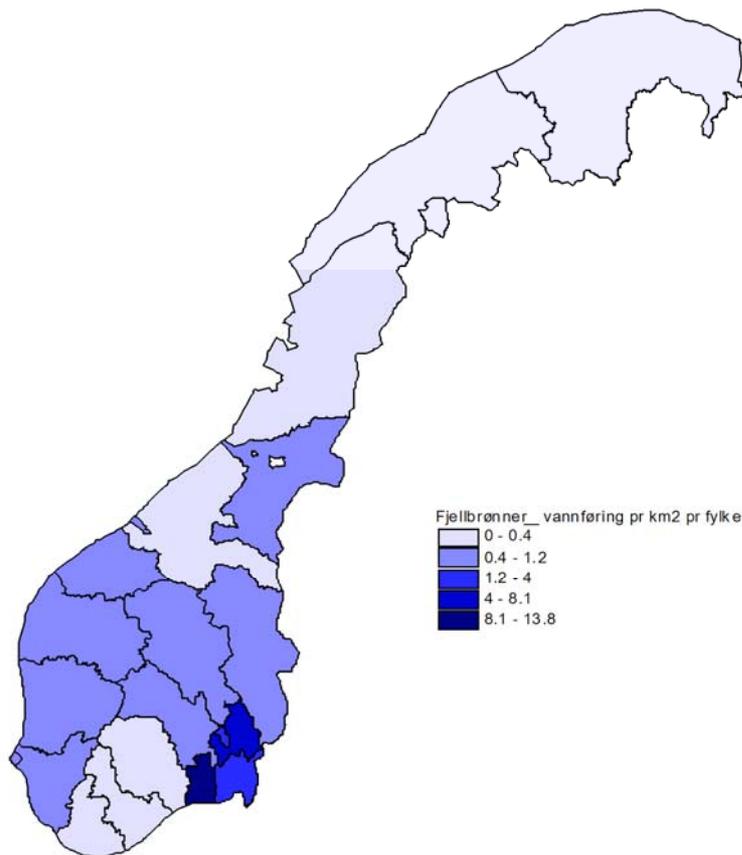
Mattilsynet har oversendt stedfestede data om vannuttak ved 176 grunnvannsverk. Fra NGU har vi mottatt stedfestede data om vannføring (kapasitet) ved ca 34.000 private grunnvannsbrønner.

7.2 Sonekart over vannforbruk og vannføring

Vi har valgt å presentere vannuttak/ vannføring pr fylke for å illustrere den regionale variasjonen i uttak/potensielt uttak av grunnvann. Figur 7-1 og Figur 7-2 viser vannforbruk og vannføring pr arealenhet for det enkelte fylke.



Figur 7-1: Sum vannuttak fra grunnvannsverk, m³/km² per fylke



Figur 7-2: Sum vannføring i private grunnvannsbrønner, liter/time/km² per fylke

8. Konklusjon

I rapporten er det vist resultater av en stor mengde innsamlet data og data-analyser for utvikling av en generell metodikk for estimering av sårbarhet for angitte grunnvannsføremstøtters i Norge med hensyn til kontaminering fra vegsalt. Metodikken er basert på tilgjengelig informasjon fra offentlige databaser. Det viktigste resultatet i dette prosjektet er det omfattende datamaterialet som er innsamlet. Prosedyrer for bearbeiding av datamaterialet er dokumentert i eget vedlegg. Samtlige data lagres på Bioforsk sin server og er tilgjengelig for Vegvesenet og andre interesserte ved etterspørsel.

Bakgrunnen for prosjektet er nasjonale og internasjonale lover og retningslinjer for konsentrasjoner av natrium og klorid i ulike vannføremstøtters. En oppsummering av dette arbeidet er gitt i kapittel 3. Datagrunnlaget som er relevante i sårbarhetsanalysen, er beskrevet i kapittel 4, mens resultatet av beregninger for bakgrunnsverdier av salt i grunnvann fra atmosfærisk nedfall er gitt i kapittel 5. Parametre som kan inngå i ulike sårbarhetsanalyser er gitt i kapittel 6. I dette kapitlet inngår også en enkel estimeringsmetodikk av løsmassemektheten. Denne variabelen er ikke direkte tilgjengelig i dagens geodatabaser, men den kan avledes fra annen tilgjengelig informasjon. I kapittel 7 er det gitt eksempler på enkel sårbarhetsanalyse basert på det innsamlede datamaterialet.

En viktig variabel for estimering av sårbarhet for grunnvann i fast fjell og i løsmasser, er løsmassemektheten. Løsmassene virker beskyttende for grunnvann i fast fjell, samtidig er det en indikator for hvor mye vann som kan produseres fra vannføremstøtters i løsmasser. I dette prosjektet er det gjennomført en statistisk analyse av datamaterialet for hele Norge. Basert på disse resultatene er det estimert dyp til fjell for utvalgte lokaliteter med en romlig oppløsning på 25 x 25 m. Resultatene er sammenliknet med standard geostatistiske beregninger for en lokalitet (Øvre Eiker). Konklusjonen fra denne lokaliteten er at de enkle beregningene basert på statistiske gjennomsnitt for hele Norge, ikke avviker i avgjørende grad fra beregninger som er betinget på lokale observasjoner. For enkle sårbarhetsestimeringer hvor mektigheten av løsmassene inngår, kan anslått mektighet basert på horisontal avstand til nærmeste fjellblotning benyttes.

Metodikken for estimering av stasjonær saltkonsentrasjon i grunnvannet er under utvikling. Dette er et omfattende arbeid som faller utenfor rammen av denne rapporten. Resultater fra disse arbeidene vil bli dokumentert i selvstendige studier som inngår i SaltSMART prosjektet.

9. Referanser

- CIS (2007) Guidance on Groundwater Monitoring. Guidance Document No. 15. Common Implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC) Technical Report - 002-2007, 52s.
([http://www.grunnvann.no/Grwater_Monit_Guidance_Nov-2006_FINAL-2\[1\].pdf](http://www.grunnvann.no/Grwater_Monit_Guidance_Nov-2006_FINAL-2[1].pdf))
- Direktoratsgruppa Vanndirektivet (2010) Veileder 02:2009 Overvåking av miljøtilstand i vann - Veileder for vannovervåking iht. kravene i Vannforskriften. Vann fra fjell til fjord. Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanndirektivet, 119 s.
(www.vannportalen.no)
- Direktoratsgruppa Vanndirektivet (2009) Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Vann fra fjell til fjord. Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanndirektivet, 180 s.
(http://www.vannportalen.no/Klassifiseringsveilederen_ny_profil_nett_red_FcG5S.pdf)
- Folkehelseinstituttet (2006) Vannforsynings ABC - et oppslagsverk om drikkevann.
(<http://www.fhi.no/artikler/?id=46542>)
- Helse- og omsorgsdepartementet (2001) Forskrift 4. desember 2001 nr 1372 om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften).
(<http://www.lovdata.no/for/sf/ho/ho-20011204-1372.html>)
- Jakob L. & Amundsen C.E. (2010): Forslag til terskelverdier for forurensende stoffer i norsk grunnvann. Bakgrunn for valg av stoffer og konsentrasjonsnivåer. 138:2010, Bioforsk, 49 s.
- Jæger Ø., Frengstad B. & Sørdal T. (2007) Landsomfattende grunnvannsnett - årsrapport 2006. NGU Rapport 2007.018, NGU, 48 s.
(http://www.ngu.no/FileArchive/237/2007_018.pdf)
- Kitterød, N.-O., Turtumøygard, S., Aakerøy, P.A. og Haaland S., (2010) Estimering av gjennomsnittlig saltfluks fra veg til vannforekomst, Bioforsk Jord og miljø, 5(50) 2010
- Kristiansen S.M., Christensen F.D. & Hansen B. (2009) Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. GEUS, 108 s.
(http://gk.geus.info/xpdf/rapport_vejsalt_17122009.pdf)
- Miljøverndepartementet (2010) Forskrift 15. desember 2006 nr. 1446 om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften). Lovdata (<http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20061215-1446.html>)
- NILU (Norsk institutt for luftforskning), 2008 Deposition of major inorganic compounds in Norway, 2002-2006. Wenche Aas, Anne Hjellbrekke, Lars R. Hole and Kjetil Tørseth OR, 2008:72. Lillestrøm. 53 s.
- Ojala L. & Mellqvist E. (2004) Vägsalt - användning och påverkan på grundvattnet. SGU-rapport 2004:13, Sveriges geologiska undersökning, 23 s.
(http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2004-13.pdf)

Sveriges geologiska undersökning. Tilståndsklasser för klorid.

http://www.sgu.se/sgu/sv/samhalle/grundvatten/bedomning_kartor/till_klorid.htm.

Besøkt november 2010.

Tjøstheim, H. (2011) Romlig variasjon av atmosfærisk klorid til norske vannforekomster.

Masteroppgave, Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM), ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB)

World Health Organization (2008) Guidelines for drinking-water quality (3rd ed.).

Incorporating 1st and 2nd addenda. Volume 1 - recommendations. IWA publishing, 460s.

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html

10. Vedlegg 1: Sediment thickness and distance to outcrops

10.1 Introduction

Groundwater in mainland Norway is extracted from Quaternary deposits and fractured bedrock. In both cases, thickness of sediments above the bedrock has to be taken into account to assess the vulnerability of the groundwater.

The aim of this study is exploratory data analysis of the statistical relation between depth to bedrock and horizontal distance to the nearest outcrop. The hypothesis is that there exists a statistical relation between thickness of quaternary sediments (d) and horizontal distance (L) to exposed bedrock in Norway. If this relation is reflected in the Norwegian borehole database (GRANADA) and probes drilling it should (in principle) be possible to use available databases to estimate thickness of quaternary sediments in areas without boreholes. The data source we use to test this hypothesis is made available to us from the Norwegian Geological Survey through the SaltSMART project.

10.2 Data

10.2.1 GRANADA database

GRANADA is the Norwegian national groundwater database, run by the Groundwater Section at NGU. It provides information on wells, springs, groundwater resources, quality and monitoring. The information from GRANADA provided by NGU for the SaltSMART project is in the form of 3 shapefiles:

gvfjellbronner_0111.shp: points representing 49163 bedrock wells.

The shape file provided by NGU actually contains 49164 wells, but one well is in fact a sediment well (*Brønntype=Løsmassebrønn*) and has been removed from the previous file (well Nummer 32913).

gvlosmassebronner_0111.shp: points representing 3740 sediment wells (including well Nummer 32913).

gvsonderboringer_0111.shp: points representing 1826 probe drillings.

For each shapefile, the table of attributes gives information such as the use of the well, the characteristics of the drilling, depth to bedrock etc.

Additional information concerning the accuracy of the coordinates of the wells has been provided. The accuracy of the coordinates of each well can be deduced from its localization method (column *Stedfestelsesmetode*, in the tables of *gvfjellbronner_0111.shp*, *gvlosmassebronner_0111.shp* and *gvsonderboringer_0111.shp*), according to Table 10-1.

Table 10-1: Accuracy of the coordinates for each localization method

Stedfestelsesmetode (localization)	Nøyaktighet (accuracy)
Avlest fra 1:50000 kart	10000 cm

Kartrutereferanse på 1:50000 kart	50000 cm
Norgesglasset (stor tomt)	50000 cm
Norgesglasset (mellomstor tomt)	5000 cm
Norgesglasset (liten tomt)	2000 cm
GAB register ut fra postadresse	5000 cm
GPS før mai 2000	5000 cm
GPS etter mai 2000	1000 cm

10.2.2 *Geological cover map*

The geological soil cover all over Norway has been provided by NGU in the form of a shapefile. It gives information concerning the types of soil covers and their extent. Each type of soil cover has a code whose description is presented in Appendix 1. Appendix 1 comes from the report *SOSI standard – generell objektkatalog versjon 4.0 1 Fagområde: Løsmassegeologi* (NGU, november 2006), page 14, section 6.2.2. Kodelister.

This map will be useful to locate the bedrock outcrop and their boundaries all over Norway.

LOSM_losmasse.shp: polygons of geological cover, and corresponding groundwater potential and infiltration characteristics.

10.2.3 *Map of water level*

The shapefile of water level has been downloaded from the Norge Digitalt web site (folder: N50-N5000 Kartdata/N250 Kartdata/[udefinert] fylke (9900)/[udefinert] kommune (9999)/Tile udefinert/Shape/Landsfiler/Euref89 UTM sone 33 33_N250_Norge.zip). In this folder, the relevant shape file is *Arealdekke_pol.shp*. The polygons representing lakes and the sea (i.e. with *Havflate* or *Innsjø* in the *Objtype* column) have been selected and converted to a new shape file (*havflate+innsjo_n250.shp*).

10.3 Methods

10.3.1 Data processing

10.3.1.1 Polygons of exposed bedrock

Amongst the 48 types of soil cover represented on the geological map of Norway (LOSM_losmasse.shp), the following soil covers are considered as exposed bedrock:

100: Humus Cover / thin turf cover over bedrock

101: Patchy or thin soil cover over bedrock, several soil types, unspecified

130: Exposed bedrock

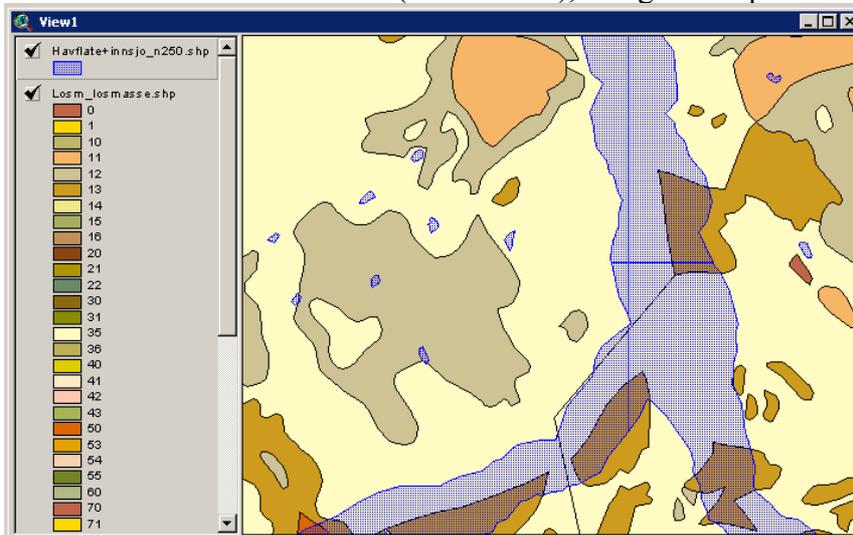
140: Exposed bedrock / rock with patchy or thin cover

10.3.1.2 Modification of the geological soil cover map (LOSM_losmasse shapefile)

Software used: ArcView 3.2

Extension required: Geoprocessing wizard

In the *LOSM_losmasse* shapefile, the limits of the polygons do not correspond to the limits of coasts and lakes. A lot of polygons are completely or partly under water level. The exposed bedrock polygons under water level should not be taken into account in the statistical analysis. Hence, the *LOSM_losmasse* shapefile has been modified in order to suppress the soil cover information under water level (sea or lakes), using the map of water level (cf.10.2.3).



*Figure 10-1: Geological cover polygons of *Losm_losmasse.shp*, and polygons representing sea level and lakes (in blue). Several geological cover polygons intersect sea and lakes polygons.*

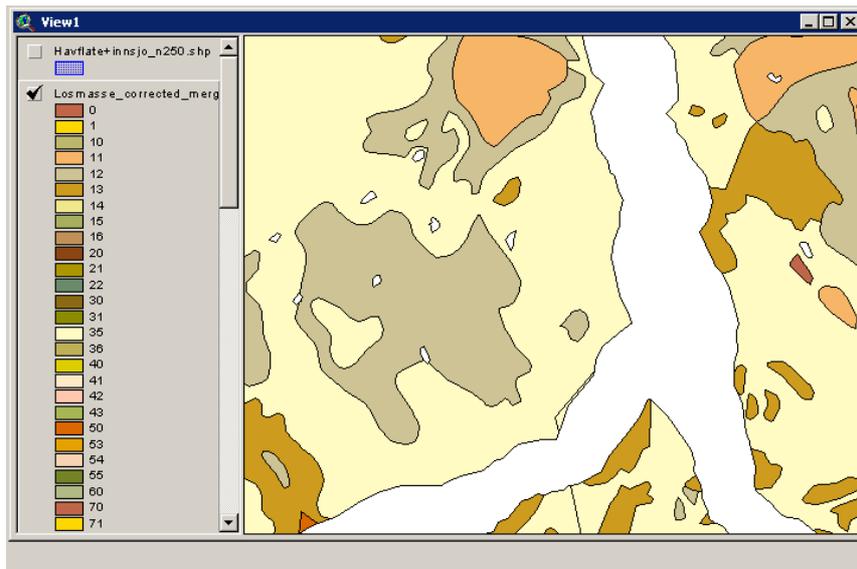


Figure 10-2: Geological cover polygons after correction. The parts of polygons located under water level have been deleted.

10.3.1.3 Depth to bedrock deduced from casing length for bedrock wells

In the database given by NGU, the depth to bedrock indicated for each well can be either a positive numerical value (value \geq 0), or the string of characters “Null” when the information is not available. When the 3 shapefiles used in this study (cf.10.2.1) were created, the string of characters “Null” has been automatically replaced by the numerical value zero. In order to restore all the information, the additional column *Nulldyp* has been created in the shapefiles: *Nulldyp* is 1 if the depth to bedrock was originally “Null”, and zero otherwise. Table 10-2 sums up all the possible cases, and the corresponding meanings.

Table 10-2: Meanings of the columns *Dyp_til_fj* and *Nulldyp* in the 3 shapefiles containing GRANADA wells

<i>Dyp_til_fj</i>	<i>Nulldyp</i>	Meaning	Number of wells concerned in <i>gvfjellbronner_0111.shp</i>	Number of wells concerned in <i>gvlosmassebronner_0111.shp</i>	Number of wells concerned in <i>gvsonderboringer_0111.shp</i>
> 0	0	The depth to bedrock has been measured and is equal to the value indicated in the column <i>Dyp_til_fj</i>	33309	557	623
0	0	The depth to bedrock has been measured and is equal to zero	1580	4	0
0	1	The depth to bedrock has not been measured	14274	3179	1203

In total, there are 18656 wells (14274 bedrock wells, 3179 sediment wells and 1203 probe drillings) without information concerning the depth to bedrock. For the sediment wells and the probe drillings, it is probable that the information is missing because these wells do not reach the bedrock. On the contrary, the bedrock wells reach the bedrock by definition, and the depth where they reach it can be assessed by the length of the casing.

A statistical analysis has been carried on the 29965 bedrock wells with values of depth to bedrock and information about the length of the casing. The great majority of these wells

(99%) have a value of depth to bedrock smaller than their value of length of the casing. The average difference is 2 metres (cf. Figure 10-3), and 95% of the wells have a difference between 0 and 4 metres. Then, it seems correct to estimate the depth to bedrock by: *length of casing – 2 metres*.

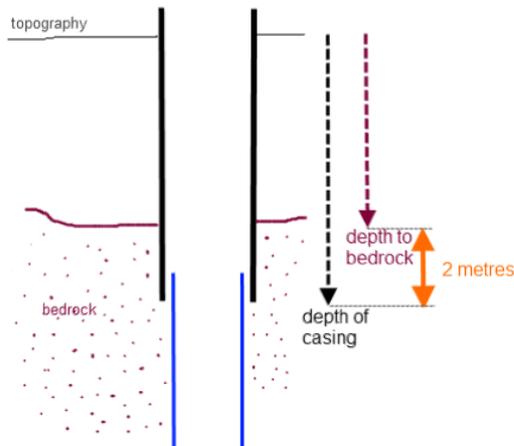


Figure 10-3: Relation between depth to bedrock and depth of casing for the majority of GRANADA wells. The average difference is 2 metres.

Using this relation, the depth to bedrock can be estimated for 2472 bedrock wells (the ones with *Nulldyp*=1 and available information concerning the length of the casing). In order to distinguish between the original GRANADA information and the depth estimated by the casing, the values of estimated depth are stored in a new column in the shapefiles. The estimated depth to bedrock has been filled in by zero when the length of the casing was less than 2 metres.

10.3.2 Choice of a relevant statistical sample

The statistical analysis cannot be done using the 54729 available wells of the Granada database because some of these wells are not relevant. The wells corresponding to the four following restrictions have been discarded of the data source.

1st restriction: the sedimentary wells and probe drillings without information concerning the depth to bedrock (3179 out of the 3740 sedimentary wells and 1203 out of the 1826 probe drillings)

2nd restriction: the bedrock wells without information concerning the depth to bedrock and without estimated depth to bedrock (11806 wells out of the 49163 bedrock wells)

3rd restriction: the wells located inside the exposed bedrock polygons (10588 wells out of 54729)

4th restriction: the wells with accuracy of their coordinates higher than 10 m

The 20432 remaining wells are the statistical sample used for the analysis. The term statistical sample will always refer to this group of wells.

10.3.3 *Definition of variables*

10.3.3.1 **L: horizontal distance to the nearest outcrop bedrock (in metres)**

L is the perpendicular distance between one point and the boundary of the bedrock outcrop which is the nearest to this point. The points from which L will be calculated are wells from GRANADA database and the boundaries of bedrock outcrop are the boundaries of the polygons of soil cover 100, 101, 130 or 140 (cf.10.3.1.1) in the soil cover map (cf.10.2.2).

10.3.3.2 **d: depth to bedrock (in metres)**

d is the positive distance between the topography and the surface of the bedrock. It is equivalent to the thickness of sediments over bedrock.

It is important to note that the exact shape and of the top of the bedrock on the whole country will never be known. The aim of this study is to assess it, using the locations where it is known, i.e. the wells. But the picture of the real depth given through these points depends on the database. If the database is representative, this apparent depth is close to the real depth. The apparent depth is actually the depth that this study will try to assess, but it is also represented by the variable d, for simplification.

10.3.4 *Statistical analysis of data*

10.3.4.1 **Apportioning of the GRANADA wells in the different soil covers**

The aim of this task is to highlight a possible heterogeneity in the locations of the wells. This task will be done with all the wells of the GRANADA database (54729 wells because this task has been carried out with a previous version of the shapefiles).

10.3.4.2 **Calculation of the horizontal distance to the nearest bedrock outcrop for each well**

The subject of this study is the relation between depth to bedrock and horizontal distance to the nearest bedrock outcrop. Figure 10-4 is an example showing a well, i.e. a point where depth to bedrock is known, and the shortest distance to exposed bedrock (24 meters).

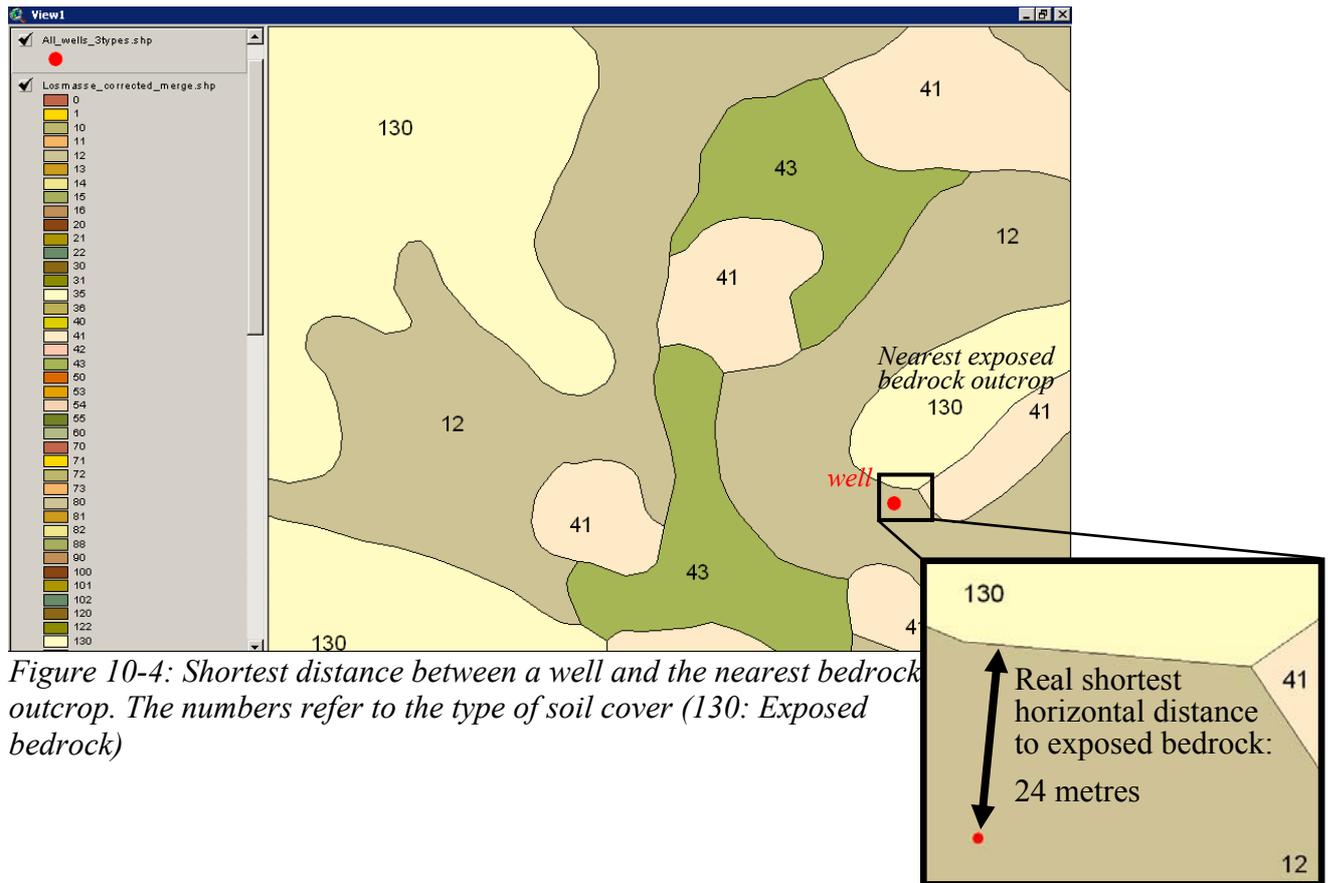


Figure 10-4: Shortest distance between a well and the nearest bedrock outcrop. The numbers refer to the type of soil cover (130: Exposed bedrock)

This distance has to be calculated for a great number of wells. So the first step of this study was to find an automatic method to calculate the distance from a well to its nearest bedrock outcrop. This has been done by creating a Matlab algorithm, which has the advantage to be reproducible.

- **Matlab algorithm for the calculation of L**

Software used: Matlab

Name of the created function: *min_distance_v2011.m*

Ex: *min_distance_v2011(wells_textfile, soilcover_textfile)*

The created Matlab function works with 2 input text files:

- Text file representing the wells of the statistical sample. This text file contains the coordinates of the wells (from the GRANADA shapefiles), their depth to bedrock (from the GRANADA shapefiles) and the value of depth estimated by casing when it has been calculated (cf.10.3.1.3).
- Text file representing the boundaries of the bedrock outcrops. This text file contains the coordinates of the points representing the bedrock outcrops and the corresponding soil cover code (cf. 10.2.2 and 10.3.1.1). The creation of this text file is explained in the next paragraph.

The requirements concerning the layout and columns of these shapefiles are explained in the comments at the beginning of the *min_distance_v2011* script. The algorithm *min_distance_v2011.m* works properly only if the inputs text files fulfil these requirements.

For each well of the first text file, the algorithm calculates all the distances between this well and the points representing the boundaries of the outcrops. Each distance is calculated according to the following formula:

$$L = \sqrt{(|X_{\text{boundary_outcrop}} - X_{\text{well}}|^2 + |Y_{\text{boundary_outcrop}} - Y_{\text{well}}|^2)}$$

Where (Xwell, Ywell) is the couple of coordinates representing the well, and (Xboundary_outcrop, Yboundary_outcrop) is the couple of coordinates representing the point located on the boundary of the bedrock outcrop.

For each well, the algorithm compares all the values of L and keeps the smallest.

- **Creation of the text file representing the boundaries of the bedrock outcrops**

The Matlab algorithm works with an input text file containing the coordinates of points representing the bedrock outcrops.

Software used: ArcView 3.2

Extension required: Scriptsamling

Script: border2points.ave

The chosen method is to represent each bedrock outcrop, i.e. each polygon of exposed bedrock, by its boundary. In order to convert the boundary line into points, a script creating the vertices of the line has been used (*border2points.ave*). The spaces between the vertices are not constant, they depend on the shape of the polygons: the more curved the boundary is, the more vertices it has (cf. Figure 10-5).

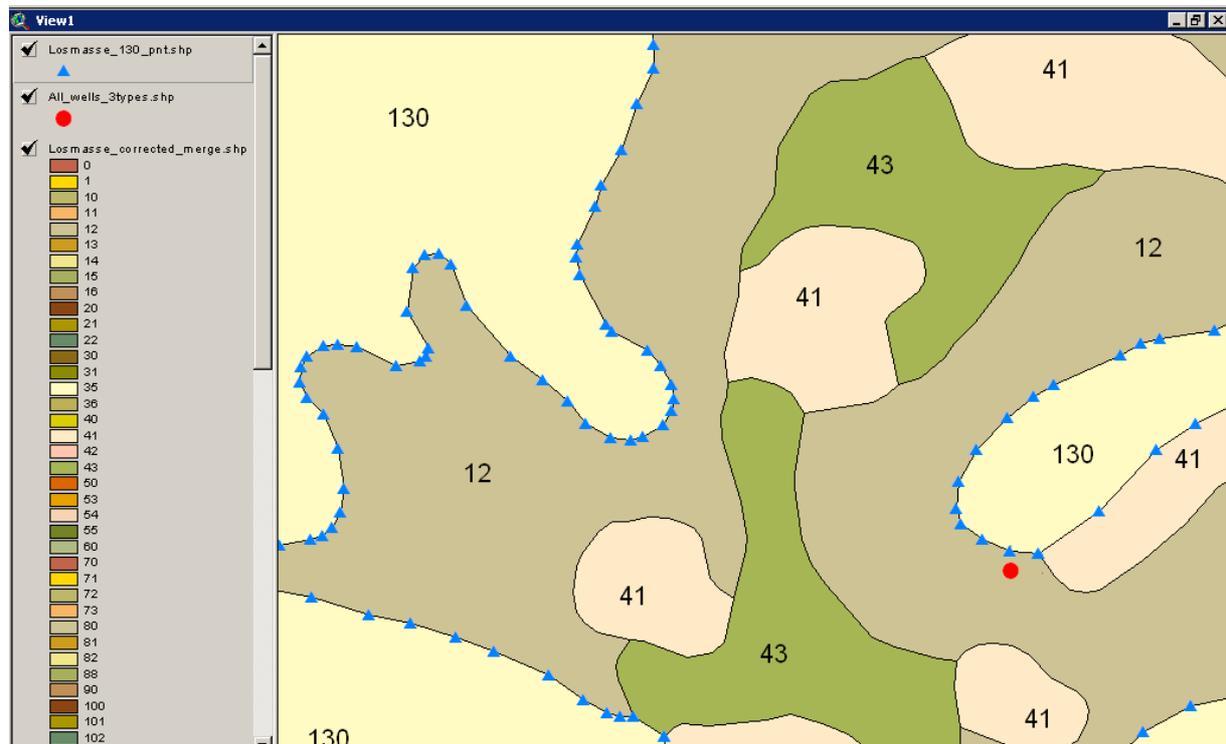


Figure 10-5: Vertices (blue triangles) built with border2points around the polygons of soil cover 130

- **Statistical sample text file**

After the calculation of the distance to the nearest bedrock outcrop L by the algorithm *min_distance_v2011.m*, a text file called *new_statistical_sample_20432wells.txt* has been created. It has 3 columns:

- Column 1: Depth to bedrock d
The value of depth to bedrock is either the value of depth to bedrock of the GRANADA shapefile, either the depth to bedrock estimated by casing when it exists for the well.
- Column 2: Distance to the nearest bedrock outcrop in metres L
Calculated with the algorithm *min_distance_v2011.m*.
- Column 3: Ratio d/L

This text file is used as a basis for all further study on the statistical sample.

10.3.4.3 Histograms of L , d/L , and $\ln(d/L)$

For each of the 20432 wells of the statistical sample, a value of L is calculated with the method explained in paragraph 10.3.4.2. Then the value d/L and the value $\ln(d/L)$ are calculated for each well. The histograms are a good way to represent the distribution of the variables d/L and $\ln(d/L)$.

Matlab algorithms have been created in order to generate histograms easily from a text file containing the 20432 values of the variable. These algorithms use the Matlab functions *hist* and *histc* to separate the values of the variable into different classes. The input argument of these algorithms is the text file containing the values of d in the first column and the corresponding values of L in the second column (*new_statistical_sample_20432wells.txt*). The outputs are Matlab figures.

- *draw_histogram_of_L_and_dLL.m* is the Matlab algorithm created for the study of variables L and d/L .

Type in Matlab command window:

```
>> load new_statistical_sample_20432wells.txt  
>> draw_histogram_of_L_and_dLL(new_statistical_sample_20432wells)
```

- *create_subsets_and_draw_histograms_of_ln_dLL.m* is the Matlab algorithm created for the study of variable $\ln(d/L)$.

Run *create_subsets_and_draw_histograms_of_ln_dLL.m* in Matlab.

10.3.4.4 Values of the percentiles 50, 70, 75, 90 and 95

A percentile $p\%$ cuts the sample into two groups: $p\%$ of the sample has a value below the value of the percentile, and $(100-p)\%$ has a value above it. In terms of probability, a variable has a probability of $p\%$ to be below its percentile p .

10.4 Results

10.4.1 GRANADA wells and different sediment covers

Table 10-3 shows all the wells of the GRANADA database (wells of gvfjellbronner.shp, gvlosmassebronner.shp and gvsonderboringer.shp) sorted according to the soil cover in which they are located. The soil cover polygons used for this counting are the one obtained after correction of *LOSM_losmasse* shapefile (cf. 10.3.1.2).

Table 10-3: Number of GRANADA wells included in each type of soil cover

Soil cover (Losmassety)	Description	Number of wells	Total area of the soil cover (m ²)	Density of wells (number of wells/m ²)
1	Løsmasser/berggrunn under vann, uspesifisert <i>Soil/bedrock under water, unspecified</i>	0	2.5E+06	0.0E+00
10	Morenemateriale, uspesifisert <i>Till/moraine material, unspecified</i>	1	5.8E+06	1.7E-07
11	Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet <i>Till/moraine material, continuous cover, great thickness locally</i>	10632	6.5E+10	1.6E-07
12	Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen <i>Till/moraine material, patchy or thin cover over bedrock</i>	9282	6.5E+10	1.4E-07
13	Moreneleire <i>Till/moraine clay</i>	2	3.5E+06	5.7E-07
14	Avsmeltningsmorene (ablasjonsmorene) <i>Till modified by running water (ablation moraine)</i>	67	1.9E+09	3.5E-08
15	Randmorene/randmorenebelte <i>Front moraine</i>	264	1.0E+09	2.6E-07
16	Drumlin <i>Drumlin</i>	8	7.9E+06	1.0E-06
20	Breelavsetning (Glasifluvial avsetning) <i>Fluvial sediments</i>	2756	4.7E+09	5.9E-07
21	Breelv- og elveavsetning <i>Glacial and fluvial sediments</i>	672	1.7E+09	4.0E-07
22	Ryggformet breelavsetning (Esker) <i>Esker</i>	11	6.9E+07	1.6E-07
30	Bresjø-/eller brekammeravsetning (Glasilakustrin avsetning) <i>Glaciolacustrine sediments</i>	131	1.9E+08	6.9E-07
31	Breelv- og bresjø-/brekammeravsetning (Glasifluvial og glasilakustrin avsetning) <i>Glaciofluvial and/or glaciolacustrine</i>	0	2.6E+05	0.0E+00
35	Innsjøavsetning (Lakustrin avsetning) <i>Lake sediments</i>	0	2.5E+07	0.0E+00
36	Bresjø-/brekammer og innsjøavsetning (Glasilakustrin og lakustrin avsetning) <i>Lake and/or Glaciolacustrine sediments, unspecified</i>	44	3.8E+07	1.2E-06
40	Hav- og fjordavsetning, uspesifisert <i>Ocean and coastal deposition, unspecified</i>	34	7.6E+07	4.5E-07
41	Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet <i>Ocean and coastal sediments, coherent, often great thickness</i>	3721	4.8E+09	7.8E-07
42	Marin strandavsetning, sammenhengende dekke <i>Marin beach sediments, continuous</i>	2211	2.8E+09	7.9E-07
43	Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over <i>Ocean, sea and beach sediments, patchy or thin cover over bedrock</i>	3591	2.6E+09	1.4E-06
50	Elve- og bekkavsetning (Fluvial avsetning) <i>Fluvial (River and stream sediments), unspecified</i>	3314	4.0E+09	8.3E-07
53	Flomavsetning (uspesifisert) <i>Flood sediments (unspecified)</i>	0	2.0E+04	0.0E+00
54	Flomavsetning, sammenhengende <i>Flood sediments, continuous</i>	17	1.1E+08	1.5E-07

55	Flomavsetning, usammenhengende/tynt <i>Flood sediments, continuous/thin</i>	8	1.9E+07	4.2E-07
60	Vindavsetning (Eolisk avsetning) <i>Eolian (Wind) sediments</i>	46	1.0E+08	4.6E-07
70	Forvittringsmateriale, ikke inndelt etter mektighet <i>Weathered deposits, not divided by thickness</i>	2896	7.0E+09	4.1E-07
71	Forvittringsmateriale, sammenhengende dekke <i>Weathered deposits, continuous cover</i>	30	2.3E+09	1.3E-08
72	Forvittringsmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen <i>Weathered deposits, patchy or thin cover over bedrock</i>	535	1.2E+09	4.5E-07
73	Forvittringsmateriale, stein- og blokkrikt, dannet ved frostsprengning <i>Material Weathering, stone and block-rich, formed by frost cracking</i>	3	5.1E+09	5.9E-10
80	Skredmateriale, ikke inndelt etter mektighet <i>Avalanche Materials, not divided by thickness</i>	0	6.9E+07	0.0E+00
81	Skredmateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet <i>Avalanche Materials, continuous cover, sometimes with great thickness</i>	211	5.0E+09	4.2E-08
82	Skredmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen <i>Avalanche Materials, patchy or thin cover over bedrock</i>	22	2.2E+09	1.0E-08
88	Steinbreavsetning <i>Scree that contain or have contained ice and therefore is moving / has been in motion</i>	0	1.7E+07	0.0E+00
90	Torv og myr (Organisk materiale) <i>Peat and swamp (organic material)</i>	1445	1.7E+10	8.5E-08
100	Humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn <i>Humus Cover / thin turf cover over bedrock</i>	908	1.2E+10	7.6E-08
101	Usammenhengende eller tynt løsmassedekke over berggrunnen, flere løsmassetyper, <i>Patchy or thin soil cover over bedrock, several soil types, unspecified</i>	22	2.1E+08	1.0E-07
102	? ?	0	3.4E+06	0.0E+00
120	Fyllmasse (antropogent materiale) <i>Anthropogenic deposits, unspecified</i>	1650	3.5E+08	4.7E-06
122	Menneskepåvirket materiale, ikke nærmere spesifisert <i>Human Influenced materials, not specified</i>	0	2.6E+05	0.0E+00
130	Bart fjell <i>Exposed bedrock</i>	9562	9.7E+10	9.9E-08
140	Bart fjell/fjell med usammenhengende el tynt dekke <i>Exposed bedrock / rock with patchy or thin cover</i>	96	3.5E+09	2.7E-08
301	Jordskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet <i>Landslides, continuous cover, sometimes with great thickness</i>	2	2.5E+06	8.0E-07
304	Leirskred, usammenhengende eller tynt dekke <i>Clay slides, patchy or thin cover</i>	0	2.5E+05	0.0E+00
307	Steinsprang, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet <i>Rock, continuous cover, sometimes with great thickness</i>	0	3.7E+06	0.0E+00
308	Steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke <i>Rock, patchy or thin cover</i>	0	1.8E+05	0.0E+00
313	Snø- og jordskred, sammenhengende dekke <i>Snow and landslides, continuous cover</i>	0	1.4E+05	0.0E+00
315	Jordskred og steinsprang, sammenhengende dekke <i>Landslides and rock falls, continuous cover</i>	0	1.0E+05	0.0E+00
316	Jordskred og steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke <i>Landslides and rock falls, patchy or thin cover</i>	0	1.4E+03	0.0E+00

Total number of wells: 54194

Total area of soil cover: 3.1E+11 m²

For each type of soil cover, the table gives the number of wells in the soil cover polygons, the area of all the soil cover polygons, and, in the last column, the ratio of the two previous values.

10.4.2 Horizontal distance to the nearest outcrop (L)

The range of values for the horizontal distance to the nearest outcrop is very wide. The minimum is 0.02 m and the maximum is 22171.02 m. As shown on Figure 10-6, most of the wells are located at less than 2500m from a bedrock outcrop.

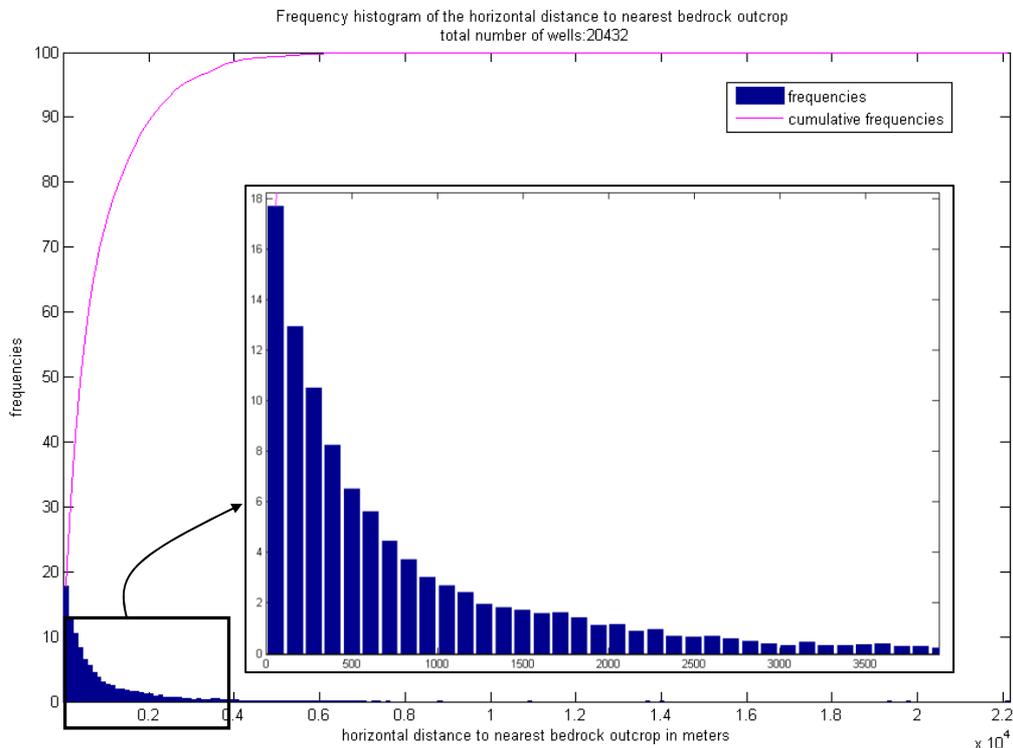


Figure 10-6: Frequency histogram of the horizontal distance to the nearest bedrock outcrop for all the wells of the statistical sample

Figure 10-6 is an output of the Matlab algorithm `draw_histogram_of_L_and_dL.m`.

10.4.3 Thickness of sediment (d) related to L

10.4.3.1 Probability density functions of d/L

10.4.3.1.1.1 Histogram

The Figure 10-7 has been obtained thanks to the function `histc` in Matlab. The size of each class (width of each bar) is 0.01. By default, the first bar represents the values of the interval $[0;0.01[$, the second bar represents the values of the interval $[0.01;0.02[$, etc...

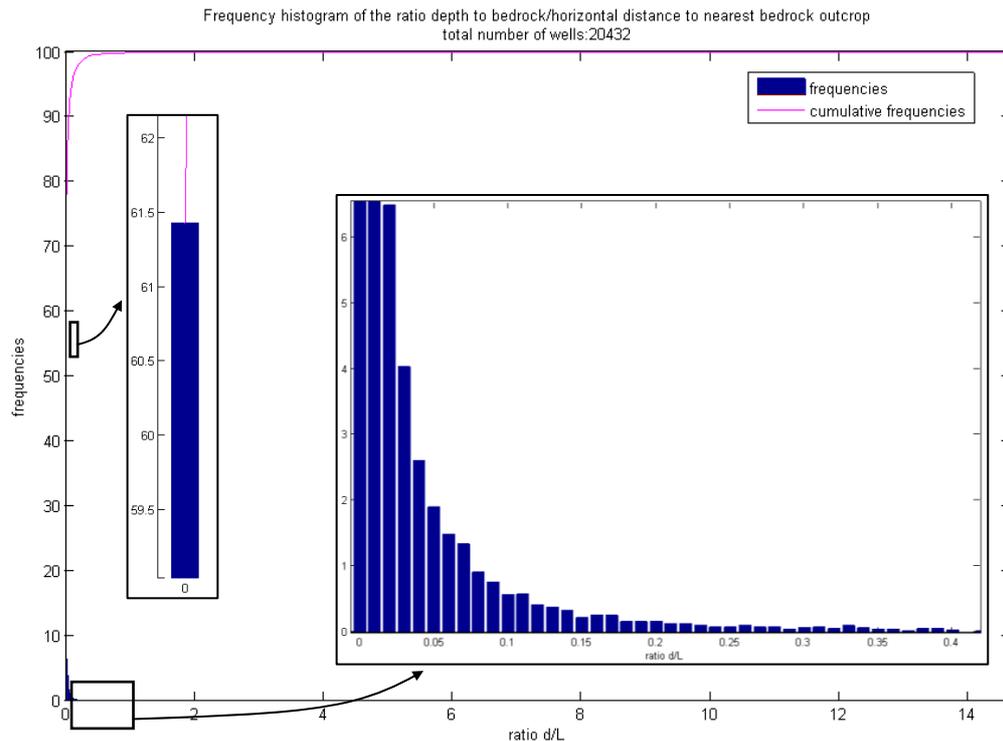


Figure 10-7: Frequency histogram of the ratio depth to bedrock/distance to nearest outcrop for all the wells of the statistical sample

Figure 10-7 is an output of the Matlab algorithm draw_histogram_of_L_and_dL.m.

In Table 10-4, the inequalities have been changed in order to isolate the value $d/L=0$, which corresponds to depth to bedrock=0.

Table 10-4: Frequency and Cumulative frequency of the twelve first classes of the ratio depth to bedrock/minimal distance to exposed bedrock, for the statistical sample (20432 wells in total)

Class	Ratio d/L	Number of wells	Frequency	Cumulative frequency
1	$d/L = 0$	1684	8.2 %	8.2 %
2	$0.00 < d/L \leq 0.01$	11293	55.3 %	63.5 %
3	$0.01 < d/L \leq 0.02$	2531	12.4 %	75.9 %
4	$0.02 < d/L \leq 0.03$	1252	6.1 %	82.0 %
5	$0.03 < d/L \leq 0.04$	782	3.8 %	85.9 %
6	$0.04 < d/L \leq 0.05$	511	2.5 %	88.4 %
7	$0.05 < d/L \leq 0.06$	391	1.9 %	90.3 %
8	$0.06 < d/L \leq 0.07$	296	1.5 %	91.7 %
9	$0.07 < d/L \leq 0.08$	263	1.3 %	93.0 %
10	$0.08 < d/L \leq 0.09$	185	0.9 %	93.9 %
11	$0.09 < d/L \leq 0.10$	144	0.7 %	94.6 %
12	$0.10 < d/L \leq 0.11$	125	0.6 %	95.2 %
...

The first class of Table 10-4 ($d/L=0$) corresponds to $d=0$, i.e. to the wells whose depth to bedrock in the GRANADA database is zero (*case 1*), and the bedrock wells whose depth to bedrock has been estimated to zero by the length of the casing (*case 2*).

Case 1: $Dyp_til_ff=0$ and $Nulldyp=0$

Case 2: $Dyp_til_ff=0$ and $Nulldyp=1$ and *length of the casing* $\leq 2m$

10.4.3.1.1.2 Percentiles

The values of percentiles 50, 70, 75, 90 and 95 for the variable d/L are presented in Table 10-5.

Table 10-5: Percentiles 50, 70, 75, 90 and 95 of the variable d/L for the whole statistical sample

Percentile 50	Percentile 70	Percentile 75	Percentile 90	Percentile 95
0,00572	0.01460	0.01942	0.05921	0.10655

10.4.3.2 Statistical sample separated into several subsets according to L

10.4.3.2.1 Histograms

The statistical sample is divided into several subsets of wells, according to their value of L. First, the statistical sample is divided into subsets of 150 m (cf. Table 10-6, upper table). Then, the two firsts subsets of 150m ($L \leq 150$ m and $150 < L \leq 300$ m) are divided into subsets of 50m (cf. Table 10-6, bottom tables).

In order to keep a good representativeness of the statistical sample, the subset must contain a relatively high number of wells. In this study, the creation of histograms on subsets was stopped below 500 wells. The wells on each subset were also located on a map, to order to check that they are scattered all over Norway, and avoid a local pattern of the bedrock surface.

The size of each class is now 0.02. Classes of 0.01 do not provide good enough results.

Table 10-6 Number of wells (column 2) and frequency (column 4) of the class (column 3) containing the greater number of values of ratio d/L , for several subsets (column 1) of the statistical sample according to L

Range of L in the subset	Number of wells	Class with the highest frequency	Frequency
$L \leq 150$ m	4630	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	34.9%
$150 < L \leq 300$ m	3207	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	68.9%
$300 < L \leq 450$ m	2310	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	76.8%
$450 < L \leq 600$ m	1801	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	80.8%
$600 < L \leq 750$ m	1285	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	85.2%
$750 < L \leq 900$ m	1043	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	86.7%
$900 < L \leq 1050$ m	785	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	88.9%
$1050 < L \leq 1200$ m	697	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	87.6%
$1200 < L \leq 1350$ m	558	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	86.4%

Range of L in the subset	Number of	Class with the highest	Frequency
--------------------------	-----------	------------------------	-----------

	<i>wells</i>	<i>frequency</i>	
$L \leq 50$ m	1649	Class 3: $0.02 < d/L \leq 0.04$	20.0%
$50 < L \leq 100$ m	1656	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	39.2%
$100 < L \leq 150$ m	1325	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	59.4%

<i>Range of L in the subset</i>	<i>Number of wells</i>	<i>Class with the highest frequency</i>	<i>Frequency</i>
$150 < L \leq 200$ m	1166	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	61.8%
$200 < L \leq 250$ m	1032	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	67.7%
$250 < L \leq 300$ m	1017	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	68.2%

1.1.1.1. Percentiles

The values of percentiles 50, 70, 75, 90 and 95 for the variable d/L and for the subsets according to L are presented in *Table 10-7*.

Table 10-7: Percentiles 50, 70, 75, 90 and 95 of the variable d/L for several subsets according to L

Subset	Percentile 50	Percentile 70	Percentile 75	Percentile 90	Percentile 95
$L \leq 150$ m	0.03215	0.06871	0.08317	0.18443	0.30312
$150 < L \leq 300$ m	0.00919	0.02048	0.02551	0.06162	0.08760
$300 < L \leq 450$ m	0.00594	0.01366	0.01774	0.03841	0.05943
$450 < L \leq 600$ m	0.00539	0.01174	0.01410	0.03190	0.04891
$600 < L \leq 750$ m	0.00376	0.00762	0.00985	0.02329	0.03687
$750 < L \leq 900$ m	0.00372	0.00836	0.00966	0.02116	0.03612
$900 < L \leq 1050$ m	0.00328	0.00661	0.00768	0.01611	0.02614
$1050 < L \leq 1200$ m	0.00338	0.00613	0.00693	0.01396	0.02250
$1200 < L \leq 1350$ m	0.00243	0.00460	0.00557	0.01076	0.01757

10.4.3.3 Statistical sample separated into several subsets according to d

The statistical sample is divided into several subsets of wells, according to their value of d.

Table 10-8: Number of wells (column 2) and frequency (column 4) of the class (column 3) containing the greater number of values of ratio d/L, for several subsets (column 1) of the statistical sample according to d

Range of d in the subset	Number of wells	Class with the highest frequency	Frequency
$0 \leq d \leq 10$ m	17239	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	73.5%
$10 < d \leq 20$ m	1836	Class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$	41.9%
$20 < d \leq 30$ m	505	Class 3: $0.02 < d/L \leq 0.04$	23.6%
$30 < d \leq 40$ m	235	Class 4: $0.04 < d/L \leq 0.06$	18.3%
$40 < d \leq 50$ m	108	Class 4: $0.04 < d/L \leq 0.06$ and Class 5: $0.06 < d/L \leq 0.08$	15.7%

10.4.4 Variable $\ln(d/L)$

The Matlab algorithm *create_subsets_and_draw_histograms_of_ln_dL.m* produces histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample, but also for subsets according to L: $L \leq 150$ m, $150 < L \leq 300$ m, $300 < L \leq 450$ m, $450 < L \leq 600$ m, $600 < L \leq 750$ m, $750 < L \leq 900$ m, $900 < L \leq 1050$ m, $1050 < L \leq 1200$ m and $1200 < L \leq 1350$ m.

The shape of a histogram being highly dependent on the numbers of classes (called bins in Matlab), the Matlab algorithm *create_subsets_and_draw_histograms_of_ln_dL.m* has been made in order to try several numbers of bins: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45.

The following figures (Figure 10-8 to Figure 10-17) are the output of the algorithm.

10.4.4.1 Distribution of the variable $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample

The statistical sample contains 20432 values of depth to bedrock d, and 19682 of these values are strictly above zero. Figure 10-8 shows how the 19682 values of the variable $\ln(d/L)$ are distributed.

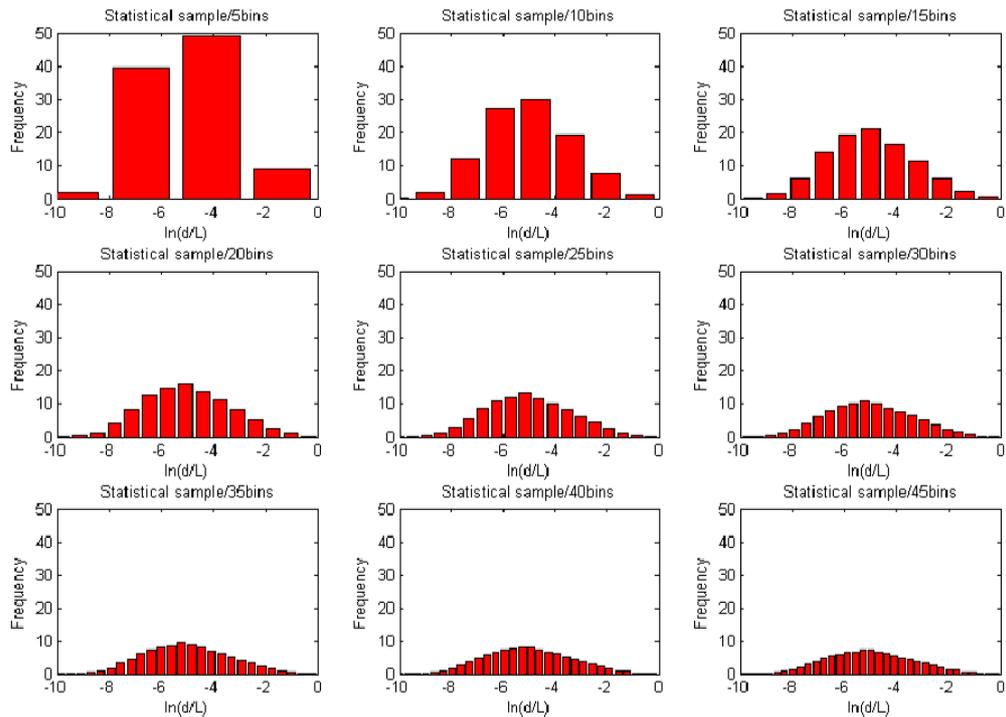


Figure 10-8: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample (19682 values)

The Mean and Variance of $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample have been calculated using the Matlab command mean and var (see Table 10-9).

Table 10-9: Mean and Variance of the variable $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample

Location of wells	Number of wells	Variable $\ln(d/L)$	
		Mean μ	Variance σ^2
Entire statistical sample	19682	-5.0107	2.7063

10.4.4.2 Statistical sample separated into several subsets according to L

The next figures (Figure 10-9 to Figure 10-17) were obtained with the same process as Figure 10-8, but with a smaller number of values.

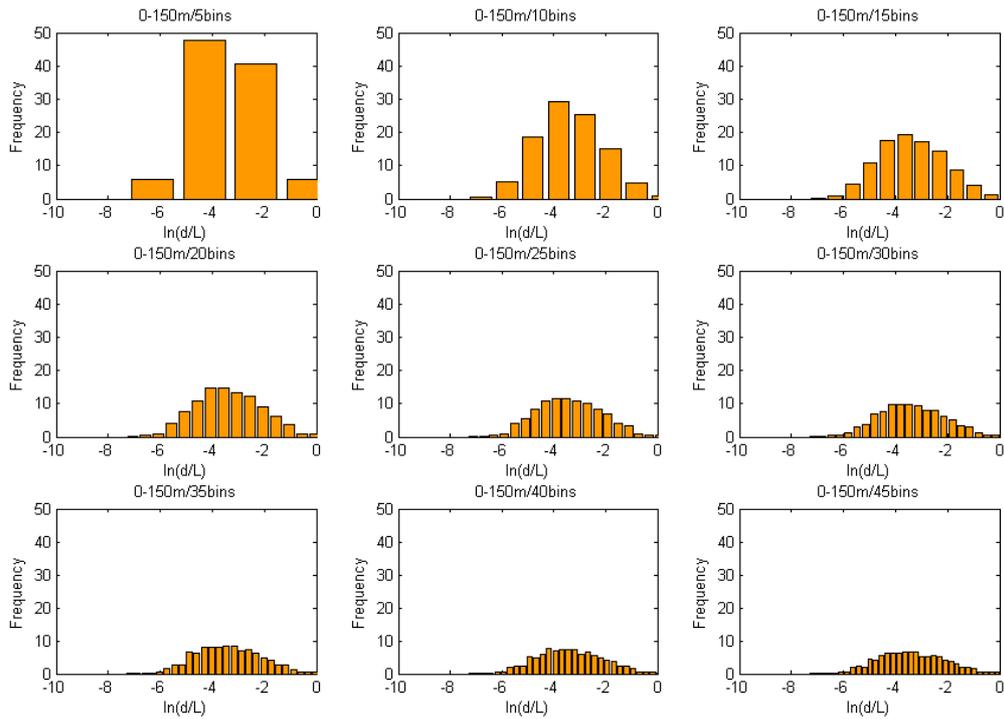


Figure 10-9: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $0 < L \leq 150$ m (4376 values)

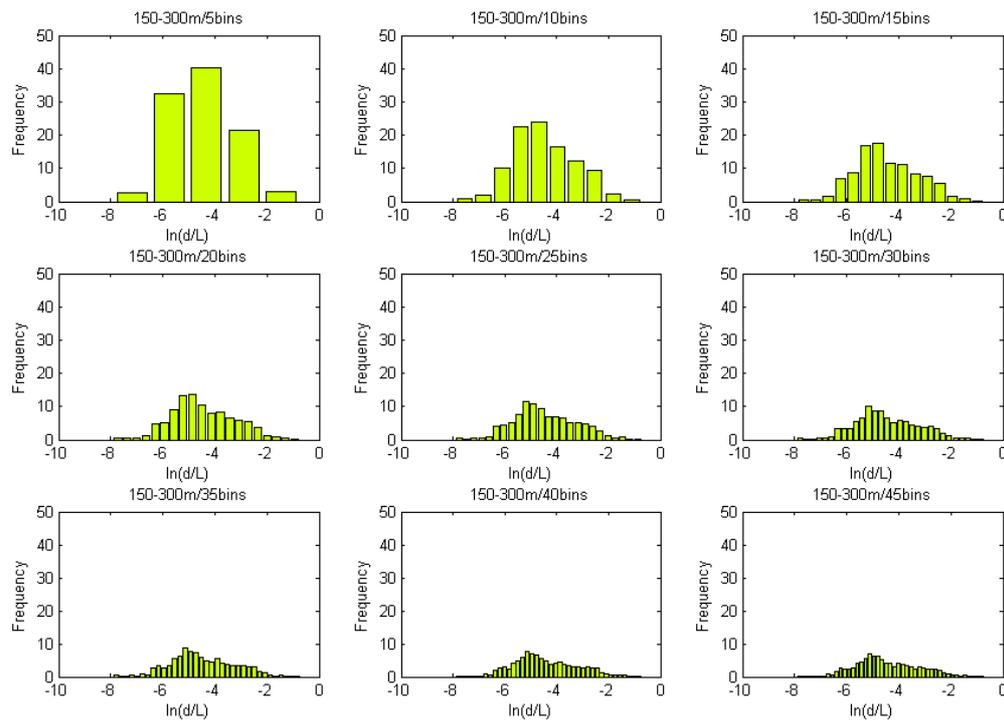


Figure 10-10: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $150 < L \leq 300$ m (3069 values)

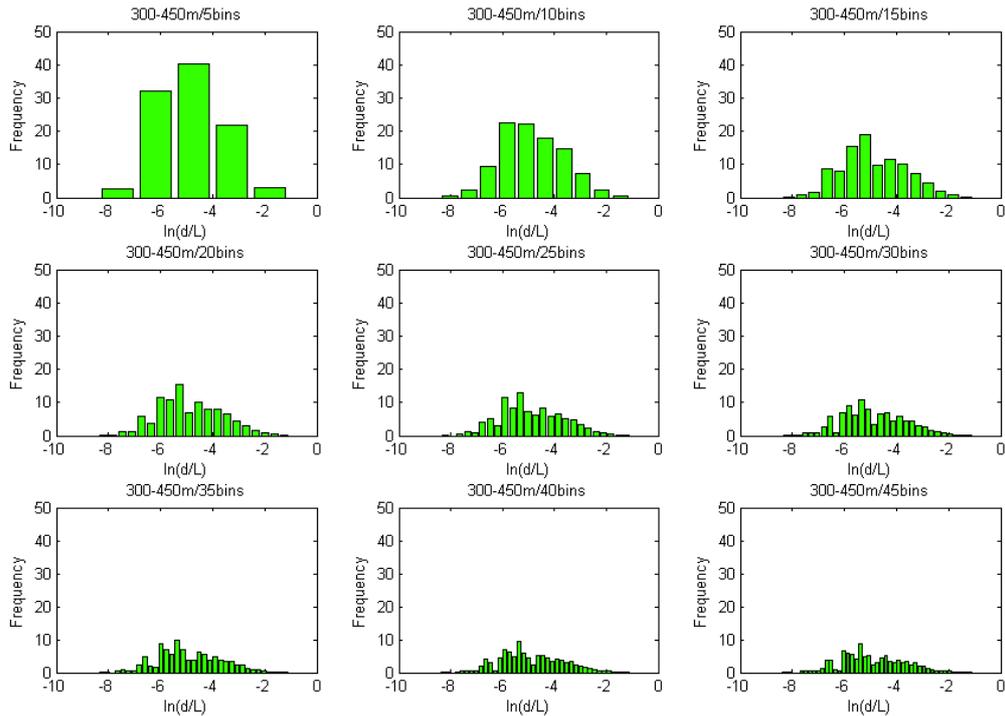


Figure 10-11: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $300 < L \leq 450$ m (2241 values)

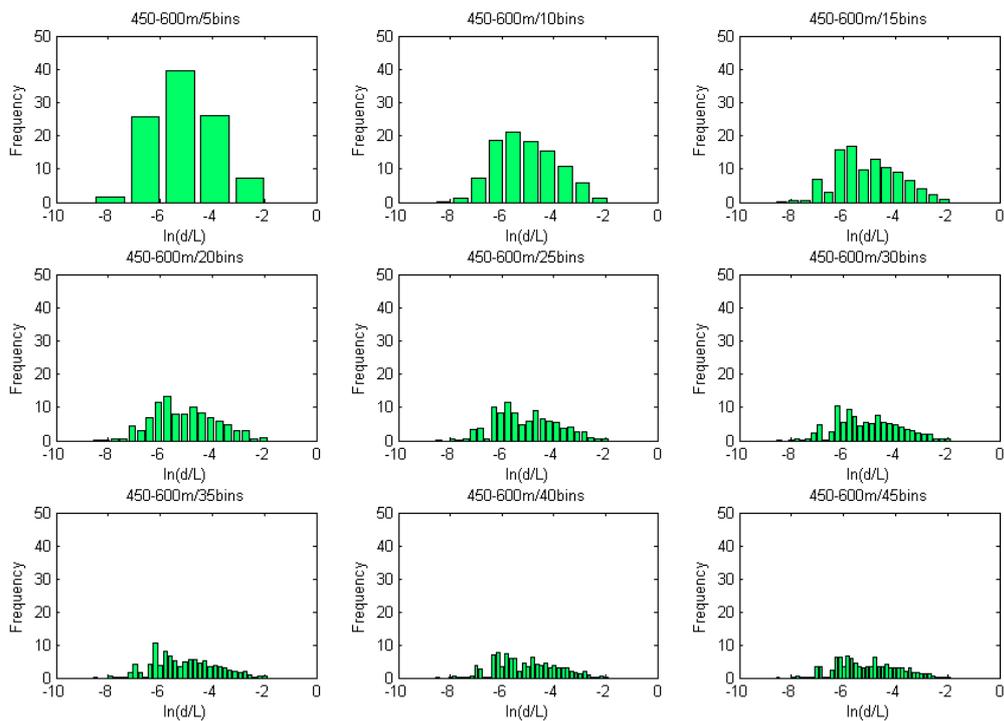


Figure 10-12: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $450 < L \leq 600$ m (1744 values)

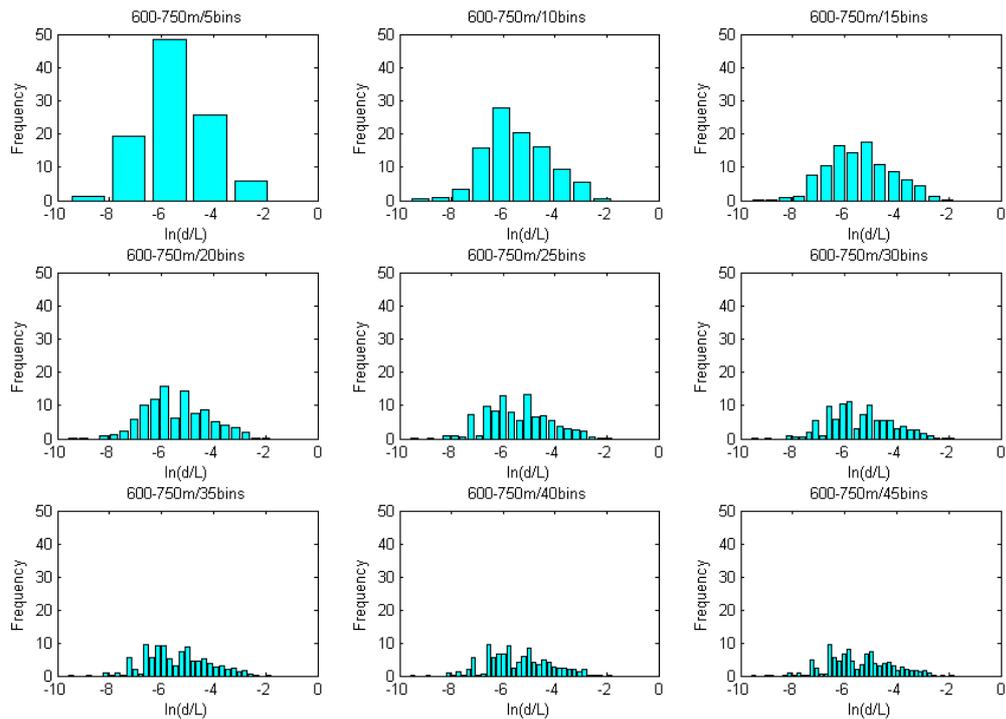


Figure 10-13: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $600 < L \leq 750$ m (1258 values)

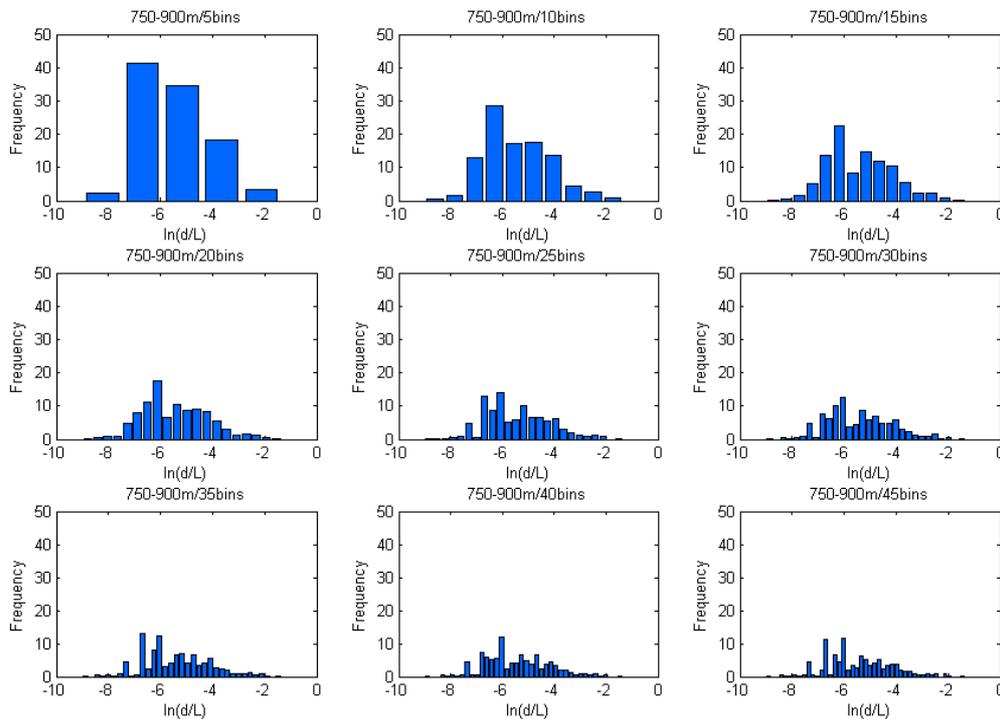


Figure 10-14: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $750 < L \leq 900$ m (1016 values)

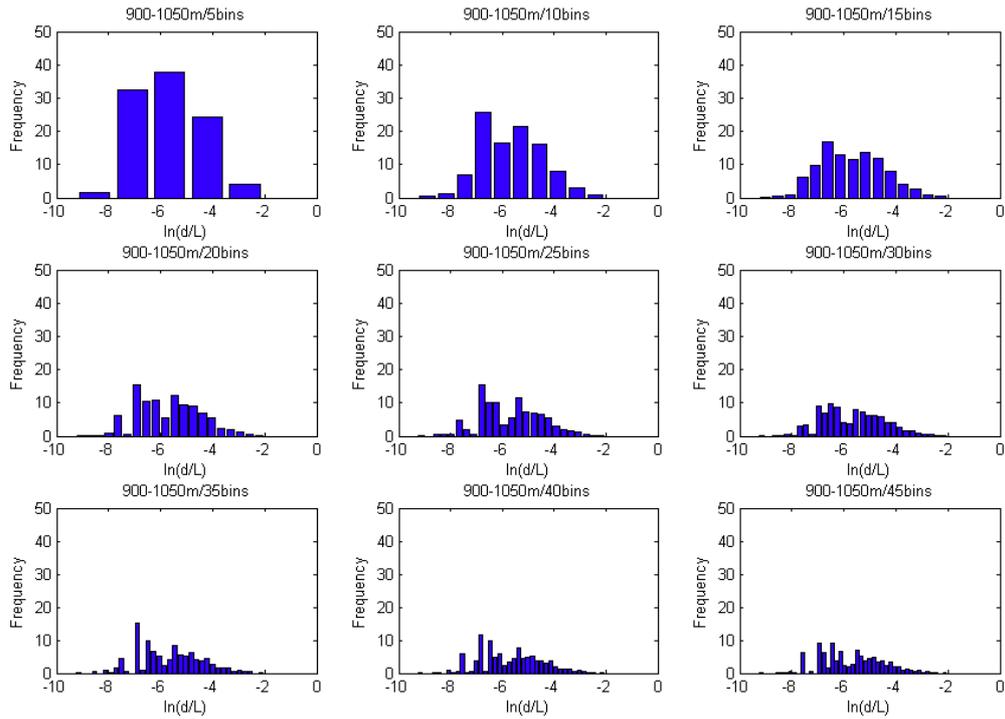


Figure 10-15: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $900 < L \leq 1050$ m (767 values)

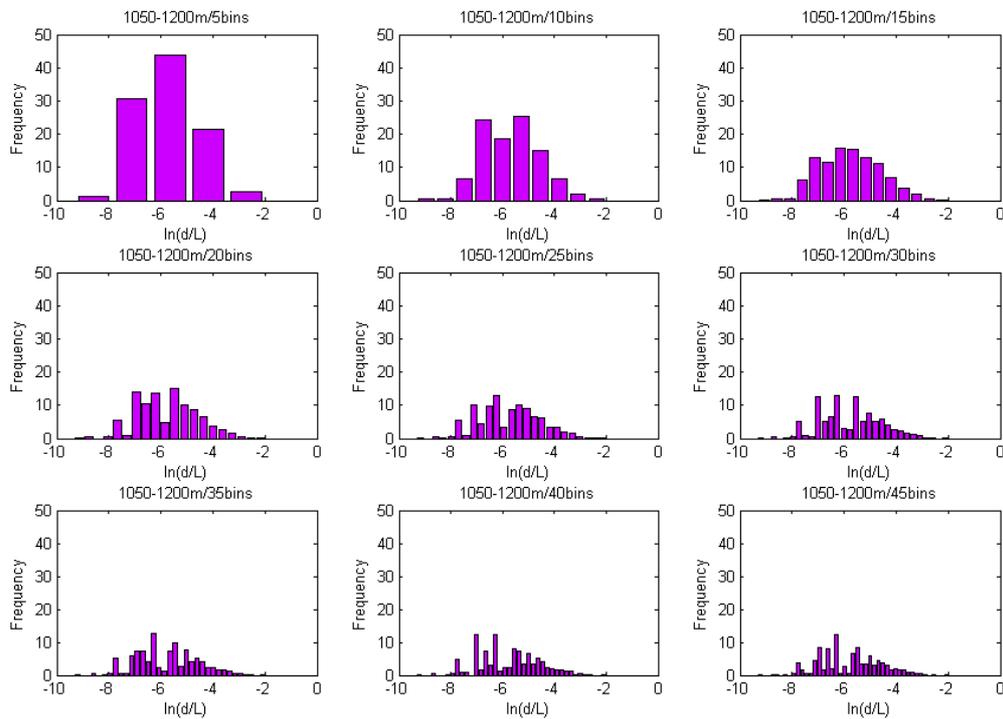


Figure 10-16: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $1050 < L \leq 1200$ m (680 values)

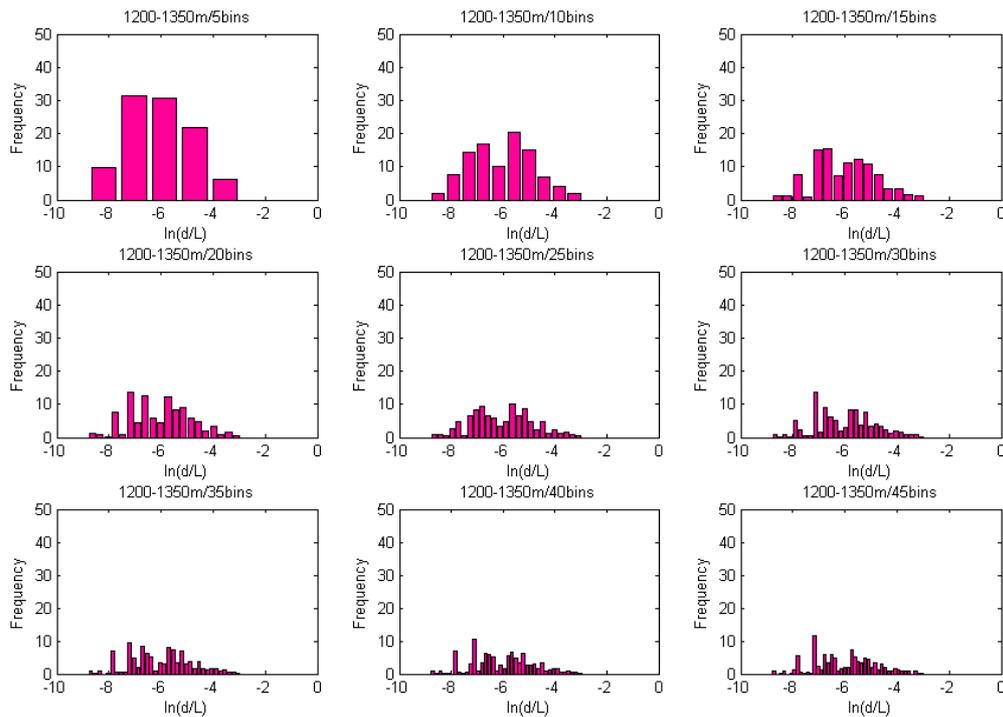


Figure 10-17: Histograms of the variable $\ln(d/L)$ for the subset $1200 < L \leq 1350$ m (546 values)

Figure 10-18 represents the cumulative frequencies of the variable $\ln(d/L)$. It is based on the 15 bins histograms of the previous figures.

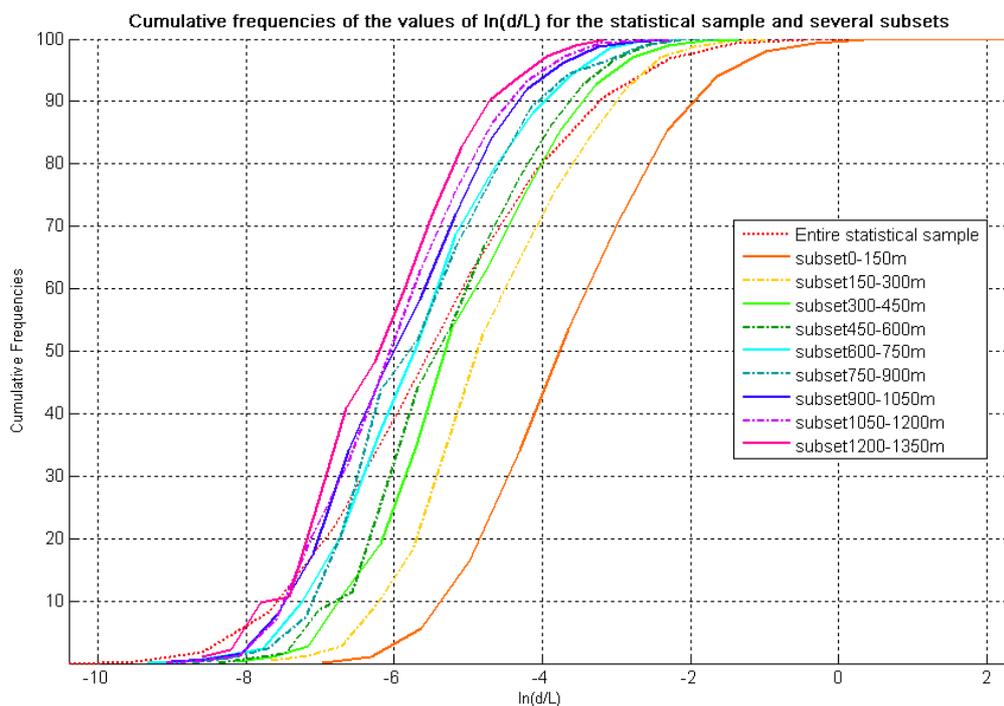


Figure 10-18: Cumulative frequencies of the variable $\ln(d/L)$ for the statistical sample and several subsets according to L

For each subset, the mean and variance of the variable $\ln(d/L)$ have been calculated with the Matlab commands *mean* and *var*. The results are presented in Table 10-10.

Table 10-10: Mean and variance of the variable $\ln(d/L)$ for several subsets according to L

Location of wells	Number of wells	Variable $\ln(d/L)$	
		Mean μ	Variance σ^2
Subset $0 < L \leq 150$ m	4376	-3.3703	1.6437
Subset $150 < L \leq 300$ m	3069	-4.4759	1.4353
Subset $300 < L \leq 450$ m	2241	-4.9032	1.4831
Subset $450 < L \leq 600$ m	1744	-5.0895	1.4317
Subset $600 < L \leq 750$ m	1258	-5.4305	1.4442
Subset $750 < L \leq 900$ m	1016	-5.4417	1.5483
Subset $900 < L \leq 1050$ m	767	-5.6811	1.4231
Subset $1050 < L \leq 1200$ m	680	-5.7642	1.3621
Subset $1200 < L \leq 1350$ m	546	-6.0258	1.3425

10.5 Discussion

10.5.1 *Sorting of wells according to sediment cover*

The available data is not the result of a random sampling. The information is known where the soil has been drilled, and even if there are a great number of wells, their location is never random, but follows demand, and geographical and financial constraints. For instance, if several locations are possible for a bedrock well, and if the approximate depths are known on these places, then the well is likely to be drilled where the depth to bedrock is the smallest.

According to the last column of Table 10-3, the density of wells varies a lot from soil cover to soil cover. Several soil covers have no well located on and therefore a density of wells equal to zero. Some soil covers have a great number of wells, but a large extend, which gives a relatively low density (soil cover 90 for instance). On the other hand, soil covers 16, 36, 43 and 120 have the highest densities of wells (in the order of 10^{-6}) which indicate that these soil covers are preferred for drilling.

The great difference between the densities of wells depending on the type of soil cover is a sign that the database is biased, but it does not mean that it is not usable. This bias has to be kept in mind throughout the interpretation of the results and the conclusions must be drawn carefully.

10.5.2 *Horizontal distance to the nearest outcrop*

The histogram of the horizontal distance to the nearest outcrop (Figure 10-6) shows that the closer from the bedrock outcrop, the more wells there are. This histogram highlights the bias of the database.

10.5.3 *Estimation of sediment thickness*

The results presented in this study give information about the statistical relations between the depth to bedrock (i.e. sediment thickness) and the distance from the bedrock outcrops. These relations can be used to estimate sediment thickness in areas without boreholes.

10.5.3.1 **Depth to bedrock estimated with percentiles of the variable d/L**

The paragraphs 10.5.3.1.1 and 10.5.3.1.2 explain how the percentiles of variable d/L can lead to an estimation of the sediment thickness. This section uses the results presented in 10.4.3.

10.5.3.1.1 *Estimation for the whole statistical sample*

According to Figure 10-7 and, Table 10-4 the class 2, corresponding to $0.00 < d/L \leq 0.01$, is by far the most represented: 55.3% of the wells of the statistical sample have a ratio d/L between 0 (excluded) and 0.01 (included). By considering the cumulative frequencies: 75.9% of the wells of the statistical sample have a ratio d/L lower than 0.02.

The inequality $0 < d/L \leq 0.02$, lead to: **$d \leq 0.02 \times L$ for 76% of the wells**. This domain is represented by blue hatchings on Figure 10-19.

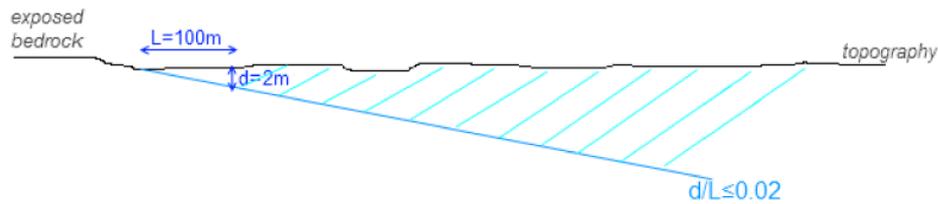


Figure 10-19: Representation of the domain of depth $d \leq 0.02 \times L$ (blue hatched zone) which contains 76% of the wells. Vertical scale sharply exaggerated.

The percentiles of Table 10-5 allow to generalize this reasoning:

- For every L, $d \leq 0.00572 \times L$ with a probability of 50%.
- For every L, $d \leq 0.01460 \times L$ with a probability of 70%.
- For every L, $d \leq 0.01942 \times L$ with a probability of 75%.
- For every L, $d \leq 0.05921 \times L$ with a probability of 90%.
- For every L, $d \leq 0.10655 \times L$ with a probability of 95%.

For instance, at $L=250\text{m}$ from a bedrock outcrop, the depth to bedrock (or sediment thickness) has a probability of 75% to be between 0 and 4.9 m ($250 \times 0.01942 \approx 4.9$), and a probability of 90% to be between 0 and 14.8 m ($250 \times 0.05921 \approx 14.8$).

Estimating depth to bedrock with a higher probability gives a larger domain.

10.5.3.1.2 Estimation by subsets according to L

According to Table 10-6, the values of the variable d/L for all the subsets are mostly in the class 2: $0.00 < d/L \leq 0.02$, except the subset $L \leq 50$ m, which is mostly in class 3: $0.02 < d/L \leq 0.04$.

But, the frequencies tend to increase with L: from 34.9% for the subset $L \leq 150$ m, to more than 85% for the subsets with $L > 600$ m. In other words, the probability for the depth to bedrock to be in the domain limited by $d/L = 0.02$ is around 85% when $L > 600$ m, but it is only 35% for $L < 150$ m. Therefore, the estimation of depth to bedrock based on the percentiles of the whole statistical sample (see 10.5.3.1.1) can underestimate sediment thickness close to the bedrock outcrops and overestimate it for great values of L.

The percentiles of each subset (Table 10-7) can be used to provide a second estimation.

Inside each subset, each percentile gives one domain limited by the line $d/L = q$, or $d = L \times q$, where q is the value of the percentile. All these domains are represented graphically on Figure 10-20. The depth is represented with a downward axis so that $x=0$ can represent the topography.

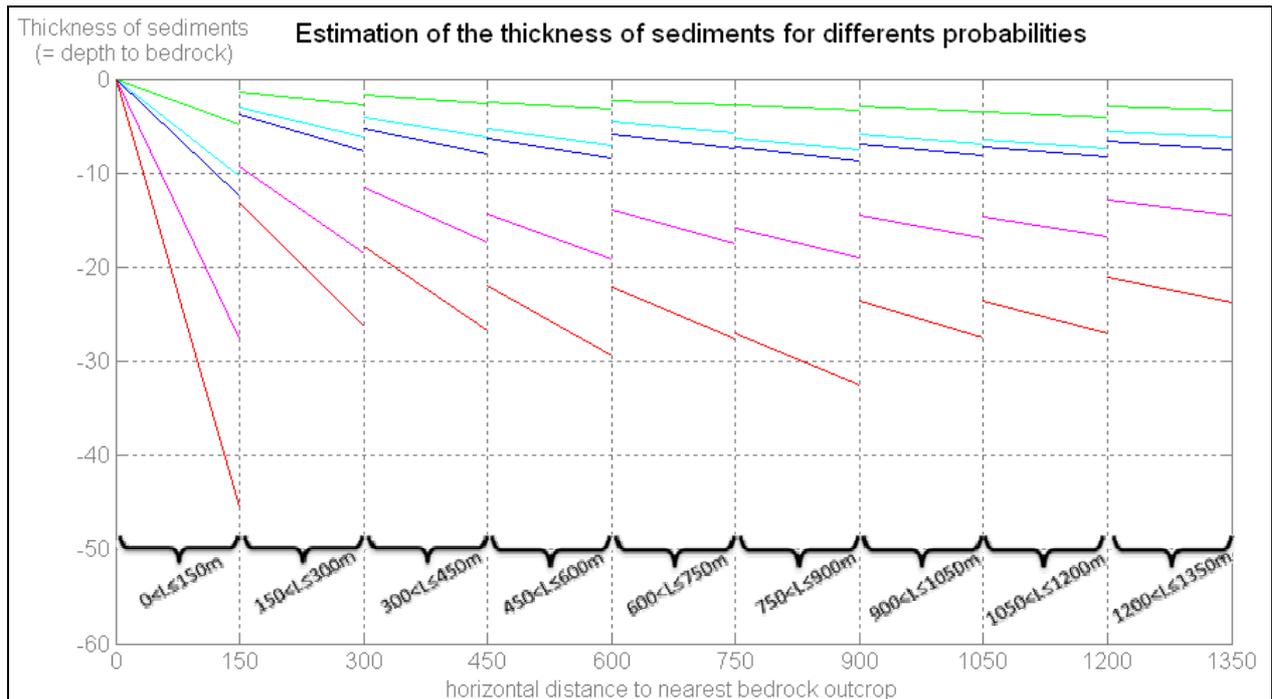


Figure 10-20: Representation obtained with the percentiles 50 (green curve), 70 (light blue curve), 75 (dark blue curve), 90 (pink curve) and 95 (red curve) of each subset

According to the link between percentiles and probabilities, Figure 10-20 provides the following information:

- The depth to bedrock has a probability of 50% to be between the topography and the green curve.
- The depth to bedrock has a probability of 70% to be between the topography and the light blue curve.
- The depth to bedrock has a probability of 75% to be between the topography and the dark blue curve.
- The depth to bedrock has a probability of 90% to be between the topography and the pink curve.
- The depth to bedrock has a probability of 95% to be between the topography and the red curve.

This is important to remember that these estimations concerns the apparent depth (cf. 10.3.3), i.e. the depth deductible from the current database.

10.5.3.2 Depth to bedrock estimated with the mean of the variable d/L

This section uses the results presented in 10.4.4.

10.5.3.2.1 Normal and lognormal variables

A log normal variable is a probability distribution of a random variable whose logarithm is normally distributed. The parameters of a lognormal variable can be calculated from the parameters of corresponding normal variable, with the following formulas:

Mean of the lognormal variable: $e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$

Variance of the lognormal variable: $(e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$

where μ is the mean of the normal variable and σ^2 is the variance of the normal variable.

10.5.3.2.2 Estimation for the whole statistical sample

According to Figure 10-8, the distribution of the variable $\ln(d/L)$ for the whole statistical sample is bell-shaped. So, we can consider $\ln(d/L)$ as a normal distributed variable, and d/L as a lognormal distributed variable.

The two formulas presented in paragraph 10.5.3.2.1 have been used to calculate the mean and variance of the variable d/L for the statistical sample. The calculations are based on the values of μ and σ^2 from Table 10-9.

$\mu = -5.0107$ and $\sigma^2 = 2.7063$ give **Mean(d/L)=0.0258** and **Variance(d/L)=9.298E-03**.

The mean of a random variable is its expected value. So, the mean of variable d/L can be used as an L -dependent estimation of depth to bedrock.

The depth to bedrock d (or sediment thickness) can be calculated in any point, as long as the distance from the nearest bedrock outcrop is known, using the relation: **$d = 0.0258 \times L$** .

10.5.3.2.3 Estimation by subsets according to L

On the figures showing the distribution of variable $\ln(d/L)$ for the subsets (Figure 10-9 to Figure 10-17), the bell-shaped distribution is more visible on histograms with small number of bins (5 bins, 10 bins and 15 bins). This is due to the smaller number of wells in the subsets.

Figure 10-18 shows that variable $\ln(d/L)$ has a cumulative frequencies curves similar to the cumulative distribution functions of the normal distributed variables.

Again, the two formulas presented in paragraph 10.5.3.2.1 have been used to calculate the mean and variance of the variable d/L for the subsets. The calculations are based on the values of μ and σ^2 from Table 10-10. The results are presented in Table 10-11.

Table 10-11: Parameters of the lognormal distribution approximating the distribution of d/L

Location of wells	Number of wells	Variable d/L	
		Mean	Variance
Subset $0 < L \leq 150$ m	4376	0.0782	2.552E-02
Subset $150 < L \leq 300$ m	3069	0.0233	1.742E-03
Subset $300 < L \leq 450$ m	2241	0.0156	8.270E-04
Subset $450 < L \leq 600$ m	1744	0.0126	5.062E-04
Subset $600 < L \leq 750$ m	1258	0.0090	2.635E-04
Subset $750 < L \leq 900$ m	1016	0.0094	3.270E-04
Subset $900 < L \leq 1050$ m	767	0.0069	1.520E-04
Subset $1050 < L \leq 1200$ m	680	0.0062	1.117E-04
Subset $1200 < L \leq 1350$ m	546	0.0047	6.320E-05

The mean of a random variable is its expected value. So, the mean of variable d/L for each subset can be used as an L -dependent estimation of depth to bedrock inside the range of L specified by the subset.

The depth to bedrock d (or sediment thickness) can be calculated in any point, as long as the distance from the nearest bedrock outcrop is known, using the following relations:

- $d = 0.0782 \times L$ if the point is located at between 0 and 150m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0233 \times L$ if the point is located at between 150 and 300m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0156 \times L$ if the point is located at between 300 and 450m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0126 \times L$ if the point is located at between 450 and 600m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0090 \times L$ if the point is located at between 600 and 750m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0094 \times L$ if the point is located at between 750 and 900m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0069 \times L$ if the point is located at between 900 and 1050m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0062 \times L$ if the point is located at between 1050 and 1200m from the nearest bedrock outcrop
- $d = 0.0047 \times L$ if the point is located at between 1200 and 1350m from the nearest bedrock outcrop

10.5.3.3 Subsets according to d

According to Table 10-8, for depth between 0 and 20m, the most represented class is class 2 again (d/L between 0 and 0.02).

Then from 20 m deep, the class with the highest frequency of d/L values tend to increase with the depth of the wells. In other words, most of the great depths are found relatively close to the bedrock outcrop and not for great values of L . A depth of 25m, with $d/L > 0.04$ is equivalent to $L < 625m$. A depth of 50m, with $d/L > 0.06$, is equivalent to $L < 833m$. This indication corroborates the estimations done by subsets (see 10.5.3.1.2 and 10.5.3.2.3), where the depth to bedrock is steeper close to the outcrops.

10.5.4 Use of the estimations

10.5.4.1 Estimation with percentiles of the variable d/L

The advantage of the method with the percentiles is that the user to choose the desired margin of error.

The estimation by the methods of percentiles on the whole statistical sample, is very simple but will result in V-shaped bedrock surface, which does not seem very accurate from a geological point of view. The estimation by the method of percentiles with several subsets gives a greater variability of sediment thickness close to the outcrops and tends to even the bedrock surface far from the outcrops.

10.5.4.2 Estimation with the mean of the variable d/L

This method gives an expected value of depth to bedrock, and not a probable domain like the percentiles method. The estimation with the mean of the variable d/L can be used to create an estimated bedrock surface, which can be used as an input in a model.

As the percentiles method, the estimation by the mean of variable d/L on the whole statistical sample, is very simple (only one relation) but will result in V-shaped bedrock surface, which does not seem very accurate from a geological point of view. The estimation by the mean of variable d/L with several subsets gives a steeper bedrock surface close to the outcrops and tends to even the bedrock surface far from the outcrops.

10.5.4.3 Effect of the bias

Because of the bias inherent in the GRANADA database (cf. 10.5.1), the estimation of depth to bedrock proposed in this study have to be used carefully. Two set-ups can lead to the results found during the statistical study of the database. The following examples are shown with the estimation done by considering the whole statistical sample, but the reasoning is the same with the estimation by subsets according to L .

- Set-up 1 (cf. Figure 10-21): Most of the bedrock surface is indeed close to the estimated surface. The shape of the bedrock is smooth with quite constant slope. The apparent depth estimated in this study is close to the real shape of the bedrock surface.

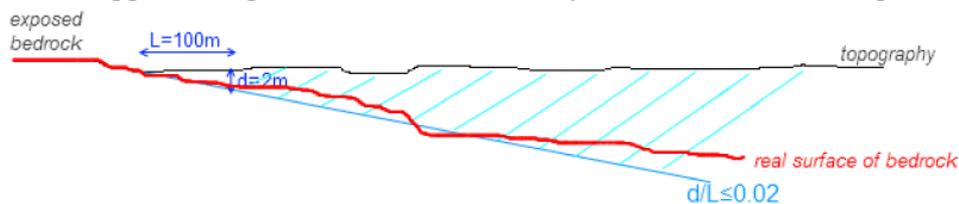


Figure 10-21: Set-up 1

- Set-up 2 (cf. Figure 10-22): The bias in the database hides the real shape of the bedrock surface. The occurrence of wells far from the bedrock outcrops is too low to reflect the real shape of the bedrock surface and the estimated bedrock surface is based on the values of the variable d/L close to the outcrops. Figure 10-22 shows an example: far from the bedrock outcrop the bedrock surface becomes steep and the depths are out of the hatched domain. But these great depths do not weight much in the statistical study of the database, because of the low density of wells far from the bedrock outcrops.

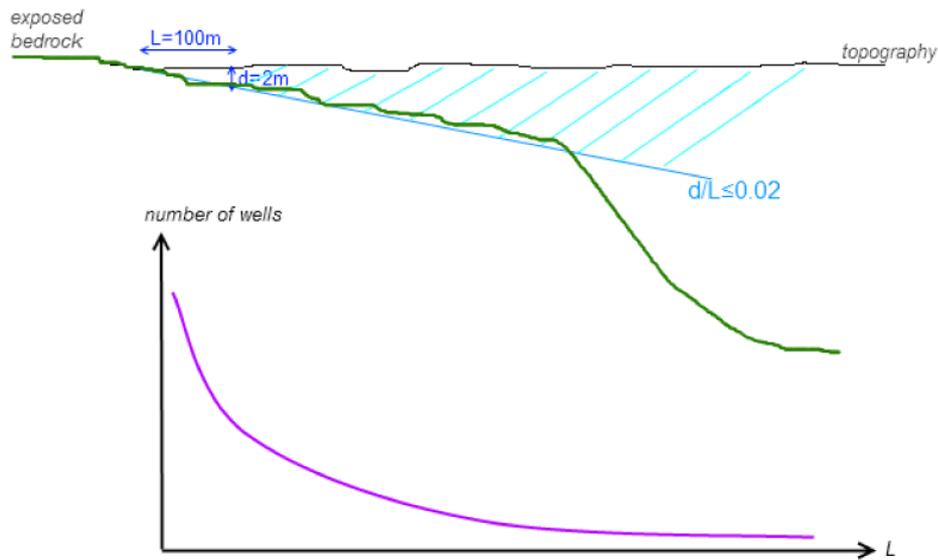


Figure 10-22: Set-up 2

Additional information far from the bedrock outcrops is needed to know which case is predominant on the other.

10.6 Conclusion

The aim of this study was to find a statistical relation between the depth to bedrock and the horizontal distance to exposed bedrock. Such a relation would allow assessing the thickness of the sediments cover in every point without measurement, only from the distance to the nearest bedrock outcrop. The main advantage of this method is its low cost and rapidity. But the feasibility of this method greatly depends on the geology and on the provided database.

The provided database is the GRANADA database. It is not a random sampling of the depth to bedrock but punctual information coming from wells. A bias is inherent to this database and has been highlighted by the study.

However, the statistical study of the available database allowed highlighting some relations between the values of depth to bedrock and the distance to exposed bedrock. Two methods, one based on the percentiles of variable d/L and the other on the normal distributed variable $\ln(d/L)$, have been tested. They provide good estimations of the apparent depth to bedrock, but only up to 1350m from the boundary of a bedrock outcrop. Indeed, the database contains few wells located far from the outcrop and therefore is not adapted to the study of the relation far from the outcrops. The use of these estimations of depth to bedrock must be done carefully, especially far from the bedrock outcrops.

The depth assessed in this study is the apparent depth reflected by the database. The difference between the real depth and the apparent depth is linked to the density of wells. So, the nearest from the bedrock outcrops, the less is the difference between the real depth and the apparent depth assessed in this study. The estimated depth to bedrock has a large variability close to the outcrops, but tends to be quite constant far from the outcrops. This can be due to the geology or be a direct consequence of the bias inherent to the GRANADA database. If this is the case, the real surface is expected to be deeper than the estimated surface.

10.7 References

GRANADA web site: <http://www.ngu.no/kart/granada/>

NGU website: <http://www.ngu.no/en-gb/hm/Maps-and-data/Databaser/>

Soil cover codes: http://www.statkart.no/filestore/ny/sosi/SOSI_pdf/Losmasse.pdf

Norge Digitalt web site: <https://download.geonorge.no/skdl2/nl2prot/nl2>

10.8 Appendix 1: Codes of the types of soil cover

Losmassetype

- + Løsmasser/berggrunn under vann, uspesifisert = 1
- + Morenemateriale, uspesifisert = 10
- + Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 11
- + Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen = 12
- + Moreneleire = 13
- + Avsmeltningsmorene (ablasjonsmorene) = 14
- + Randmorene/randmorenebelte = 15
- + Drumlin = 16
- + Breelvavsetning (Glasifluvial avsetning) = 20
- + Breelv- og elveavsetning = 21
- + Ryggformet breelvavsetning (Esker) = 22
- + Haugformet breelvavsetning (Kame) = 23
- + Bresjø-/eller brekammeravsetning (Glasilakustrin avsetning) = 30
- + Breelv- og bresjø-/brekammeravsetning (Glasifluvial og glasilakustrin avsetning) = 31
- + Innsjøavsetning (Lakustrin avsetning) = 35
- + Bresjø-/brekammer og innsjøavsetning (Glasilakustrin og lakustrin avsetning) = 36
- + Hav- og fjordavsetning, uspesifisert = 40
- + Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet = 41
- + Marin strandavsetning, sammenhengende dekke = 42
- + Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen = 43
- + Skjellsand = 44
- + Marin gytje = 45
- + Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning) = 50
- + Elveavsetning, sammenhengende dekke = 51
- + Elveavsetning, usammenhengende/tynt = 52
- + Flomavsetning (uspesifisert) = 53
- + Flomavsetning, sammenhengende = 54
- + Flomavsetning, usammenhengende/tynt = 55
- + Vindavsetning (Eolisk avsetning) = 60
- + Forvittringsmateriale, ikke inndelt etter mektighet = 70
- + Forvittringsmateriale, sammenhengende dekke = 71
- + Forvittringsmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen = 72
- + Forvittringsmateriale, stein- og blokkrikt, dannet ved frostsprengning = 73
- + Skredmateriale, ikke inndelt etter mektighet = 80
- + Skredmateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 81
- + Skredmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen = 82
- + Løsmasseskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 86
- + Steinbreavsetning = 88
- + Torv og myr (Organisk materiale) = 90
- + Humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn = 100
- + Usammenhengende eller tynt løsmassedekke over berggrunnen, flere løsmassetyper, uspesifisert = 101
- + Bart fjell/fjell med tynt torvdekke, uspesifisert = 110
- + Fyllmasse (antropogent materiale) = 120
- + Steintipp = 121

- + Menneskepåvirket materiale, ikke nærmere spesifisert = 122
- + Bart fjell = 130
- + Bart fjell/fjell med usammenhengende el tynt dekke = 140
- + Marin suspensjonsavsetning = 200
- + Marin bunnstrømvsetning = 201
- + Glasimarin avsetning = 202
- + Iskontaktavsetning = 203
- + Utvaskingslag = 204
- + Glasifluvial deltaavsetning (marin) = 205
- + Fluvial deltaavsetning = 206
- + Tidevannsavsetning = 207
- + Estuarin avsetning = 208
- + Levé avsetning (marin) = 209
- + Grunnmarin avsetning = 210
- + Konturittavsetning = 211
- + Turbitittavsetning = 212
- + Debrisstrømvsetning = 213
- + Undersjøisk vifteavsetning = 214
- + Kanalsavsetning = 215
- + Dypmarin avsetning = 216
- + Bioklastisk avsetning = 217
- + Vulkanosedimentær avsetning = 218
- + Jordskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 301
- + Jordskred, usammenhengende eller tynt dekke = 302
- + Leirskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 303
- + Leirskred, usammenhengende eller tynt dekke = 304
- + Fjellskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 305
- + Fjellskred, usammenhengende eller tynt dekke = 306
- + Steinsprang, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 307
- + Steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke = 308
- + Snøskredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 309
- + Snøskred, usammenhengende eller tynt dekke = 310
- + Fjellskred/steinsprang, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet = 311
- + Fjellskred/steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke = 312
- + Snø- og jordskred, sammenhengende dekke = 313
- + Snø- og jordskred, usammenhengende eller tynt dekke = 314
- + Jordskred og steinsprang, sammenhengende dekke = 315
- + Jordskred og steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke = 316

11. Vedlegg 2: Salt groundwater in the Nordic Countries

This is a brief review of the report prepared by the Nordic Hydrological Programme (NHP): 'Salt groundwater in the Nordic countries' Salt groundwater in the Nordic Countries' NHP report No 35

11.1 Denmark

Non-haline aquifer: $[Cl] < 300 \text{ mg/L}$ (=highest permissible limit)

Measured $[Cl]$:

- Natural background concentration of chloride in groundwater varies from 15-15 mg/l with highest background values in west, lowest in east.
- $[Cl]$ in Danish groundwater: from less than 10 mg/L to more 200000 mg/L, depending on source for salt and hydrogeological conditions
- **Deep aquifers** (i.e. more than 100 meters b.s.) salt groundwater in most of them
- **Shallow aquifers:** $[Cl]$ normally between 10 and 50 mg/L, depending on the distance to the sea and the land use
- Halocline (strong, vertical salinity gradient) from about sea level to more than 300m below sea level, but salt groundwater above sea level found in several wells
- Very high $[Cl]$ ($>2000 \text{ mg/L}$): near sea level or in greater depths adjacent to salt deposits

Possible causes for groundwater salt:

- **Marine infiltration:** in shallows (for deeper aquifers the oxygen isotopic ration does not confirm a theory of a dilution of infiltrated sea water) aquifers near the coast and along the fjords, salt close below sea level depending on freshwater pressure from the catchment area and extraction of groundwater
- **Extrusion of old marine residual water** (from the pores): aquifers of marine deposits
- **Dissolution of salt deposits:** brines of mineral salt water
- **Road salting:** can affect wells far from natural chloride sources

Possible explanations for high $[Cl]$:

- In deeper aquifers: dissolution of salts or Extrusion of old marine residual water
- In aquifer above sea level: the salt does not derive from marine infiltration

11.2 Sweden

Salt groundwater: $[Cl] > 300 \text{ mg/L}$ (=taste limit of salt)

Salt water affected groundwater: $50 \text{ mg/L} < [Cl] < 300 \text{ mg/L}$

Salt groundwater in water supply wells:

- Salt groundwater along the whole Swedish coastline and within a 200km wide zone in central Sweden
- Median value of chloride more than 3 times higher in southern Sweden than in the northern part
- Chloride content increases with well depth
- Increased content of salt water wells in sedimentary rock areas
- Very high chloride contents (> 100000 mg/L) in boreholes in Cretaceous and Jurassic rocks in southern Scania

Salt groundwater in boreholes:

- Deep boreholes (>500m) below the highest marine shore level (measures from nuclear waste repository project) (highest marine shore level delimits the area which has been covered with salt or brackish water -between 0.5 and 30 grams of salt per litre- after the latest glaciation period)

Sources of the salt groundwater:

- **Atmospheric deposition:** most common source of chloride ions in groundwater
Wet deposition from precipitation: depends on amount of precipitation and distance from salt or brackish seawater (content of chloride in precipitation: 2-10 mg/L at the west coast, <0,2mg/L in central and eastern part of northern Sweden)
Dry deposition: difficult to estimate, usually 50-100% of the wet deposition in northern Sweden, and 100-300% in southern Sweden
Chloride content in groundwater > 50mg/L: usually requires other sources than atmospheric deposition, except locally along the Swedish south and southwest coast.
- **Intrusion of seawater:**
Flat sedimentary rock area: intrusion can extend several km from the seashore, increases with extraction of groundwater
Hard crystalline rock: intrusion probably restricted to a narrow zone (<100m) from the seashore (great variability among closely located wells, because of fractures)
- **Fossil seawater:** when salt content is too high to be explained by intrusion of recent seawater, and for wells far from the coastline.
Wells with an increased content of chloride usually found in areas which have been covered by salt or brackish water after the latest glaciation period.
Fossil seawater remains where groundwater flow is insignificant
Almost all drilled wells with more than 300mg Cl/L are in areas which have been covered with brackish or salt water after the latest glaciation
Cannot explain very high contents (ex: 60000mg Cl/L, 154000 mg Cl/L)
- **Water-rock interaction:** in granite, BR/Cl ratio of fluid inclusions matches the salt groundwater ratio

Salt can also be of marine origin with modifications from water-rock interaction processes

Freezing of seawater:

- **Anthropogenic sources:** waste products from industries, leakage from waste deposits, de-icing salts, unprotected storage of road salt
- Raised content of salts in sandy aquifers close to the road

Conclusion:

- Content of chloride in groundwater: increases with well depth and the occurrence of thick layers of clay, but decreases with topography.
- Strong hydraulic heterogeneity: zones of stagnant salt water and zones of fresh water with active groundwater flow side by side, even down a depth of 700m.
- Very strong correlation between saltwater wells and areas below the highest marine shore level after the latest glaciation period: fossil seawater from the different stages of the development of the Baltic sea=most probable source of the salt groundwater in water supply wells.
- In deep drilled wells: water-rock interaction, freezing of seawater combined with infiltration of rain water, mixing with fossil seawater

11.3 Finland

Effects of increasing salinity: more or less perceptible in the groundwater depending highly on its geohydrological conditions.

Main environmental harm caused by road salt usage: directed to groundwater.

Study of the Salpausselkä ridge, its road and waterworks.

Chloride in natural groundwater in eskers:

- Derived mainly from marine deposition
- Only a little chloride is usually found in bedrock and it has no effect on groundwater concentrations.

Chloride concentrations in groundwater (study of the waterworks):

- Greatly vary depending on the tonnage of road salt used, the size of the aquifer, sediment type, stratification and recharge-discharge relationships.
- The smaller the aquifer is, and the lower the effective porosity of the soil type is, the sooner the salinity increases in groundwater.

Ex: in moraines, groundwater increases in salinity rapidly. In big eskers, groundwater increases in salinity relatively slowly.

Effects of salting are slow to be observed in large aquifers.

Mechanism by which salt spreads in an aquifer: not yet completely known. It is presumed that: being heavier than water, salt accumulated first at the bottom of a groundwater basin. Dilution and spreading depend on local hydrogeological conditions then.

12. Vedlegg 3. Chloride concentration in groundwater.

In this document *background chloride concentration* in groundwater alludes to two things: Firstly, background chloride concentration is defined as the amount of chloride coming from precipitation only. Secondly, we define background values as a steady-state condition in time, but variable in space. For groundwater steady state conditions is more important than time dependent values because groundwater is flowing slowly and different residence time average temporal differences in chemical composition. The average concentration of chloride in groundwater is always higher than the average concentration in precipitation. The reason is that evaporation from soil and transpiration from plants increase the chloride content in the remaining water. Water with increased content of chloride infiltrates the soil and recharge groundwater. Because chloride is a conservative anion, chemical reactions with the soil can be neglected.

To estimate background concentrations of chloride in groundwater (c_g) we need:

- Average values of chloride concentration in precipitation (c_p).
- Average precipitation (P).
- Average evapotranspiration (E) or runoff values (R).

Chloride concentrations in groundwater is obtained by:

$$(1) \quad c_g = c_p(P/R)$$

or

$$(2) \quad c_g = c_p(P/P-E),$$

since $R = P - E$. From (2) it is easy to see that if $E \rightarrow P$, then $c_g \rightarrow \infty$, which actually is happening in areas with little precipitation and high evapotranspiration. The most famous example in Norway where $E \rightarrow P$ is Lom and Sjøk, but because the chloride content in precipitation is very low in this area, background concentration of chloride in groundwater is most likely far from critical values.

Data sources

Data is made available to us from Norwegian Institute for Air Research (NILU) and Norwegian Water and Energy Directorate (NVE). Average values of chloride concentration in precipitation for the period 2002 - 2006 (fig. 1) is documented in Aas et al. 2008. The spatial resolution is 50x50km, and the coordinates is given in the European Monitoring and Evaluation Programme grid (EMEP, 2010). Average precipitation and runoff from 1961-90 is documented by Beldring et al. 2002; 2003. Co-ordinates for water balance is given in UTM zone 33.

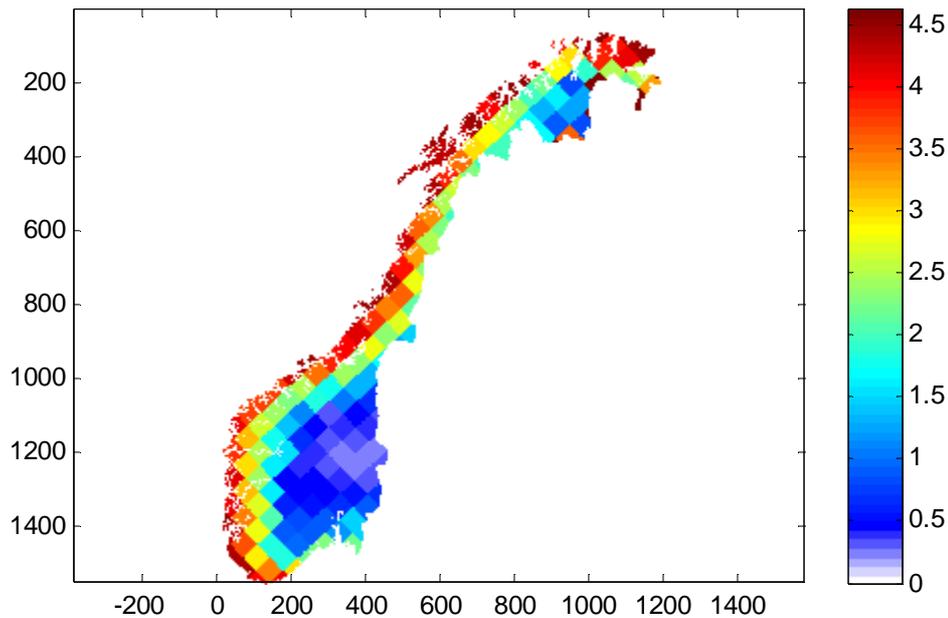


Figure 1. Average chloride concentration (mg/liter) in precipitation transformed from EMEP-grid to UTM33 co-ordinates. The marine origin of chloride is evident given the prevailing direction for the majority of Norwegian precipitation. Data source: NILU (Aas et al., 2008).

Results

Spatial estimates of c_g (cf. eq. 1 or 2) is illustrated in Fig. 2. Numerical values with UTM33 coordinates for every 1x1 km is transferred to the SaltSMART database. Based on this results, highest background concentrations is expected in coastal areas, especially in Rogaland, Agder, Trøndelag Nordland and Passvikdalen. Validation of the estimates against virgin groundwater remains to be done.

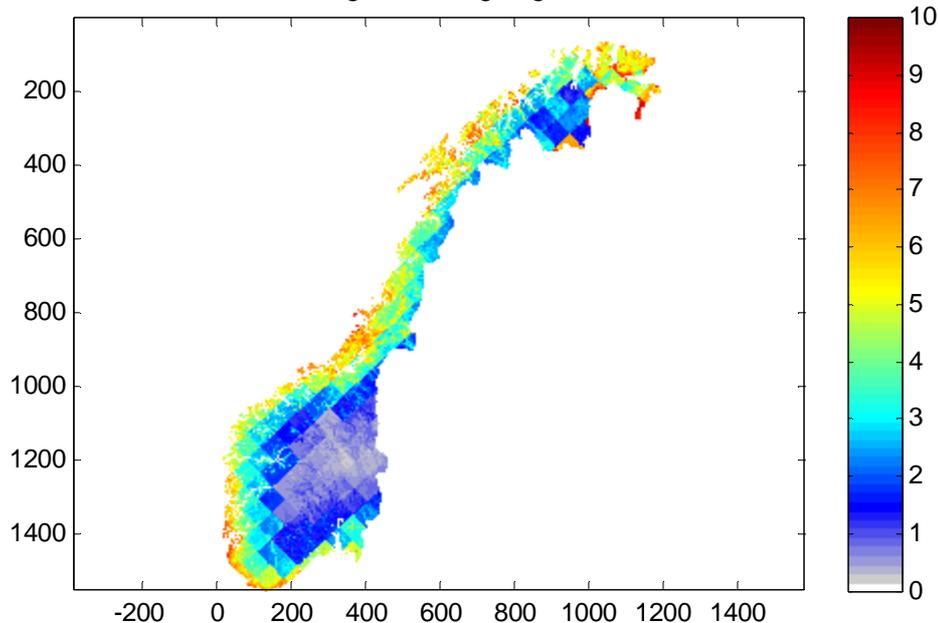


Figure 2. Estimated background chloride concentration in groundwater based on average chloride concentration in precipitation from 2002-2006 (Aas et al., 2008) and average water balance from 1961-90 (Beldring et al., 2002; 2003).

Discussion

Temporal variation in water balance and chemical concentration of chloride is significant. Hence, the question arise whether an average value for 2002-2006 for chloride concentration in precipitation is valid for the period of average water balance, which is derived for the period from 1961-90. This question is important to assess because it is directly related to the uncertainty of the estimates, which in a second step is important for the interpretation of the values. According to Beldring et al. (2002; 2003) the uncertainty of the average water balance is approximate 20%. The uncertainty is more pronounced for western part of Norway and less for the eastern part. In addition to the 50x50 km grid of average values, we also received time series of yearly average values for the period from 2000 to 2009 from all NILU's major monitoring stations. Based on these time series it is possible to quantify the temporal variation in yearly average values (Tab. I). Coefficient of variation C_v , indicate a yearly variance with respect to mean in the order 0.3 and less. The C_v values indicate that the uncertainty of the mean we use for c_p is in the same range as the uncertainty as the spatial estimates for water balance. Based on this qualitative examination the uncertainty of the estimated values in Fig. 2 is likely to be less than 30-40%. Thus background chloride concentration for areas with the heaviest load is probably less than 15 mg/L.

Table I. Temporal mean, standard deviation and coefficient of variation ($C_v = \text{std}/\text{mean}$) from NILU's monitoring stations for 2000-2009. Except for two stations (Ny-Ålesund and Nausta), C_v is in the range between 0.2 and 0.3.

Station	mean	std	std/mean
Birkenes	2.00	0.55	0.28
Tustervatn	2.91	0.57	0.20
Kårvatn	2.50	0.76	0.31
Karasjok	0.72	0.15	0.21
Hurdal	0.55	0.19	0.34
<i>Ny-Ålesund</i>	<i>13.15</i>	<i>5.82</i>	<i>0.44</i>
Løken	0.71	0.16	0.23
Treungen	0.66	0.21	0.32
Vatnedalen	0.91	0.30	0.33
Høylandet	4.95	1.24	0.25
Haukeland	2.89	0.72	0.25
Vikedal	3.80	0.91	0.24
<i>Nausta</i>	<i>2.78</i>	<i>1.23</i>	<i>0.44</i>
Søgne	5.03	1.29	0.26
Brekkebygda	0.34	0.10	0.29
Karpbukt	3.48	1.05	0.30

Conclusion

The motivation for this study was to use available data to get a rough estimate of background chloride concentration in groundwater. This is of interest not only for groundwater but also for evaluation of chloride concentration in Norwegian freshwater lakes. Most likely background concentration of chloride is about 10 mg/L for the areas receiving most chloride from precipitation. 10 mg/L is 1/5 of the concentration for the lowest impact class (50 mg/l) of chloride (cf. WP1). For most of the country background concentrations of chloride is lower (< 5 mg/liter). We suggest to compare the estimated background values with observations of chloride concentration in Norwegian groundwater before the map is published.

References

- Aas, W., Hjellbrekke, A., Hole L. R., and Tørseth K., 2008, Deposition of major inorganic compounds in Norway 2002-2006, NILU : OR 72/2008, Ref : O-108067, ISBN : 978-82-425-2051-7 (printed), 978-82-425-2052-4 (electronic)
- Beldring, S., Roald, L.A., Voksø A. 2002. Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. (Map of annual runoff for Norway for the period 1961-1990.) Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Document no. 2/2002, 49 pp.
- Beldring, S., Engeland, K., Roald, L.A., Sælthun, N.R., Voksø, A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences* 7, 304-316.
- EMEP, 2010, European Monitoring and Evaluation Programme grid (www.emep.int/grid/index.html, accessed 16.12.2010)



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Boks 8142 Dep.
N-0033 Oslo
Tlf. (+47 915)02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN: 1892-3844