




# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



Rapport nr.: 2019.028	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
<b>Tittel:</b> InterCity-prosjektet, Østfoldbanen Fredrikstad – Sarpsborg. Faglig rådgivning rundt geologiske forhold i Fredrikstad		
ICP-16-A-00017, rev. 01A		
<b>Forfatter:</b> Guri Venvik, Inger-Lise Solberg, Marie Bredal, Ola M. Sæther, Atle Dagestad og Eirik Pettersen		<b>Oppdragsgiver:</b> Statens vegvesen og Bane Nor
<b>Fylke:</b> Østfold	<b>Kommune:</b> Fredrikstad	
<b>Feltarbeid utført:</b>	<b>Rapportdato:</b> 20. september 2019	<b>Prosjektnr.:</b> 383200
<b>Ansvarlig:</b> 		
<b>Sammendrag:</b> NGU har på oppdrag fra Statens vegvesen og Bane Nor bidratt med faglig rådgivning i kartlegging av omfang og årsak til setningsutviklingen i Fredrikstad sentrum, med spesielt fokus på området rundt Glemmen og Rolvsøyveien. Området i og rundt Fredrikstad har komplekse grunnforhold med setningssensitiv leire, med stedvis stor tykkelse i dalførene. Berggrunnen er preget av gamle forkastnings- og/eller bruddsoner med soner av dypforvitring der fjellet er delvis omdannet til leirminerale. Disse grunnforholdene gir bygningstekniske utfordringer ved etablering av ny infrastruktur og bygg. Det må også tas hensyn til skadepotensialet på eksisterende bebyggelse og infrastruktur i utbyggingsområder. Setningsforløpet som registreres i området i dag er en kombinasjon av naturlig setningsutvikling forsterket av menneskeskapte endringer i de hydrologiske forholdene gjennom aktiv overvannshåndtering og inngrep i undergrunnen. Ut fra tilgjengelige data registreres det en tydelig korrelasjon mellom setningshastighet og sedimentmektighet. Det er stedvis i/under de mektige leiravsetningene registrert grovere sedimentlag med relativt gode vannføringsegenskaper. Disse lagene kan ha avgjørende betydning for stabiliteten i leira ved at lagene både kan drenerer leira med påfølgende setninger eller gi poretrykksøkning med påfølgende ustabilitet. Endringer i de naturlige hydrauliske forholdene i forbindelse med utbygning kan medføre både drenering og poretrykksøkning i disse permeable sedimentlagene. Basert på datagrunnlaget som foreligger, som viser omfattende setninger langs hele Rolvsøyveien, må man forvente en lignende setningsutvikling ved nye, større terrenginngrep i samme område. Dette kan innebære økt setningshastighet under selve konstruksjonsfasen og i påfølgende år. Over tid kan det forventes at setningshastigheten vil avta og stabiliseres med en tilnærmet konstant setningsrate. Setningene vil trolig ikke stanse i overskuelig framtid, så det bør derfor ved enhver ny utbygning tas høyde for en lignende kontinuerlig setning i dette området. Datagrunnlaget i dette studiet gir ikke grunnlag til å sette det registrerte setningsforløpet i Glemmenområdet i sammenheng med etablering av borehull eller andre inngrep i undergrunnen. Likevel gir datasettene en god oversikt over det regionale setningsforløpet. Skader på bygg og infrastruktur som ikke er fundamentert til fast grunn (fjell), og spesielt konstruksjoner som er forankret delvis i fast fjell og delvis i løsmasser, må forventes i fremtiden. Fremover, med tilgang til stadig nye satellittdata fra Sentinel-1 på <a href="https://insar.ngu.no/">https://insar.ngu.no/</a> , vil en ha gode muligheter til å følge med på setningsutviklingen i området både i rom og tid. Nyetablering er mulig å gjennomføre, men de tekniske løsningene må ta hensyn til komplekse grunnforhold og iberegne dette i kostnadene. Ved inngrep kan setningen av grunnen øke, noe som kan gi økt skade på eldre bygg, med størst skade der differensialsetning (ulik setning) kan forekomme.		
<b>Emneord:</b>	Kvartærgeologi	Hydrogeologi
Leire	Dyp til berg	Setninger
InSAR	Dypforvitring	Fagrapport
<b>Kontakt:</b> Norges Geologiske undersøkelse, Postboks 6315 Torgaard, 7491 Trondheim		



## INNHOOLD

Sammendag.....	1
1. INNLEDNING.....	2
2. LØSMASSER OG AVSETNINGSPROSESSER.....	4
3. BERGGRUNN, SPREKKESONER OG DYPFORVITRING.....	9
4. GRUNNFORHOLD KNYTTET TIL LØSMASSER OG BERG I GLEMMENOMRÅDET.....	15
4.1 Berggrunnstopografi.....	15
4.2 Grove løsmasser.....	17
4.3 Finkornige sedimenter og lagdeling.....	17
4.4 Organisk materiale.....	19
4.5 Sammenligning av 2G`s modell med NADAG og GRANADA data.....	20
5. HYDROGEOLOGI.....	24
5.1 Løsmasser og poretrykksforhold.....	24
5.2 Nedbørsfelt og nydannelse av grunnvann.....	25
5.3 Kjemiske analyser av grunnvannsprøve.....	27
6. SETNINGSMÅLINGER.....	28
6.1 InSAR.....	28
6.1.1 Tilgjengelige InSAR-data i undersøkelsesområdet.....	28
6.1.2 InSAR-prosessering.....	29
6.1.3 InSAR-resultater.....	29
6.2 «Fysiske» setningsmålinger på bakkenivå.....	31
6.3 Tolkning av setninger.....	32
7. OPPSUMMERING.....	34
8. ANBEFALINGER FOR OPPFØLGING.....	36
9. REFERANSER.....	39
VEDLEGG 1 TEGNFORKLARING TIL KVARTÆRGEOLOGISK KART.....	42
VEDLEGG 2 AKTSOMHETSKART FOR TUNNELER OVER FREDRIKSTAD OG OMEGN.....	43
VEDLEGG 3 AKTSOMHETSKART FOR TUNNELPLANLEGGING – PRODUKTBEKRIVELSE.....	44

## Sammendrag

NGU har på oppdrag fra Statens vegvesen og Bane Nor bidratt med faglig rådgivning i kartlegging av omfang og årsak til setningsutviklingen i Fredrikstad sentrum, med spesielt fokus på området rundt Glemmen og Rolvsøyveien. Området i og rundt Fredrikstad har komplekse grunnforhold med setningssensitiv leire, med stedvis stor tykkelse i dalførene. Berggrunnen er preget av gamle forkastnings- og/eller bruddsoner med soner av dypforvitring der fjellet er delvis omdannet til leirminerale. Disse grunnforholdene gir bygningstekniske utfordringer ved etablering av ny infrastruktur og bygg. Det må også tas hensyn til skadepotensialet på eksisterende bebyggelse og infrastruktur i utbyggingsområder.

Setningsforløpet som registreres i området i dag er en kombinasjon av naturlig setningsutvikling forsterket av menneskeskapt endringer i de hydrologiske forholdene gjennom aktiv overvannshåndtering og inngrep i undergrunnen. Ut fra tilgjengelige data registreres det en tydelig korrelasjon mellom setningshastighet og sedimentmektighet. Det er stedvis i/under de mektige leiravsetningene registrert grovere sedimentlag med relativt gode vannføringsegenskaper. Disse lagene kan ha avgjørende betydning for stabiliteten i leira ved at lagene både kan drenerer leira med påfølgende setninger eller gi poretrykksøkning med påfølgende ustabilitet. Endringer i de naturlige hydrauliske forholdene i forbindelse med utbygning kan medføre både drenering og poretrykksøkning i disse permeable sedimentlagene.

Basert på datagrunnlaget som foreligger, som viser omfattende setninger langs hele Rolvsøyveien, må man forvente en lignende setningsutvikling ved nye, større terrenginngrep i samme område. Dette kan innebære økt setningshastighet under selve konstruksjonsfasen og i påfølgende år. Over tid kan det forventes at setningshastigheten vil avta og stabiliseres med en tilnærmet konstant setningsrate. Setningene vil trolig ikke stanse i overskuelig framtid, så det bør derfor ved enhver ny utbygging tas høyde for en lignende kontinuerlig setning i dette området. Datagrunnlaget i dette studiet gir ikke grunnlag til å sette det registrerte setningsforløpet i Glemmenområdet i sammenheng med etablering av borehull eller andre inngrep i undergrunnen. Likevel gir datasettene en god oversikt over det regionale setningsforløpet. Skader på bygg og infrastruktur som ikke er fundamentert til fast grunn (fjell), og spesielt konstruksjoner som er forankret delvis i fast fjell og delvis i løsmasser, må forventes i fremtiden. Fremover, med tilgang til stadig nye satellittdata fra Sentinel-1 på <https://insar.ngu.no/>, vil en ha gode muligheter til å følge med på setningsutviklingen i området både i rom og tid. Nyetablering er mulig å gjennomføre, men de tekniske løsningene må ta hensyn til komplekse grunnforhold og iberegne dette i kostnadene. Ved inngrep kan setningen av grunnen øke, noe som kan gi økt skade på eldre bygg, med størst skade der differensialsetning (ulik setning) kan forekomme.

# 1. Innledning

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har sammenstilt geologiske data ved et nytt kollektiv-knutepunkt på Grønli i Fredrikstad og gjort betraktninger om geologiske forhold regionalt, sett på lokale forhold basert på eksisterende og tilgjengelige data, samt hatt fokus på hvilke datagrunnlag som mangler for å redusere risikoen ved videre planlegging av InterCity-prosjektet.

Grunnlagsdata som foreligger er berggrunnskart 1:250 000 (Berthelsen m.fl. 1996), og løsmassekart 1:50 000 (Olsen & Sørensen 1998) og 1:250 000 (Olsen & Riiber 2017) som gir en grov kartlegging av området. I tillegg er det benyttet aktsomhetskart for tunnelplanlegging (1:50 000, NGU), geotekniske boredata fra NADAG, punktdata fra GRANADA med grunnvannsborehull. Setningsdata fra InSAR er fra Sentinel-1- og ERS-satellitt, med total bevegelse i tidsrommet 1993 til 2018. Det er benyttet tidsserier med ERS-data fra perioden 1993-2000 og for Sentinel-1 fra januar 2016 til oktober 2018. NGU vil bidra til å øke forståelsen av omfang og årsak til setningsutviklingen i Fredrikstad sentrum, med spesielt fokus på området rundt Glemmen og Rolvsøyveien (Figur 1).

Selv om det i dette arbeidet har vært fokusert på Fredrikstad-området er de geologiske prosessene som omtales i denne rapporten regionale, og tilsvarende forhold og problemstillinger må forventes flere steder langs strekningen på Nye Østfoldbanen.

NGU har sammenstilt tilgjengelig data fra egne åpne databaser, samt det som er gjort tilgjengelig fra Statens vegvesen og Bane Nor. Oppstartsmøte med befaring ble gjennomført i januar 2019 med felles gjennomgang av problemstillingene. Senere har det vært tett oppfølging mellom NGU og Statens vegvesen per e-post og Skype/telefonmøter.

Rapporten har til hensikt å redegjøre for følgende punkter, som spesifisert i avtalen inngått 18.12.2018:

- Prosessforståelse av avsetningsmiljø og type løsmasser.
- Betydningen av bergarter og sprekkesoner.
- Sammenstilling av aktsomhetskart for tunneldriving og forslag til nye geofysiske undersøkelser.
- Gjøre en vurdering av tidligere arbeid om grunnforhold inkludert borelogger og forståelse av områder utsatt for stabilitetsproblemer.
- Forståelse av vannstrømning i løsmassene, med mulig artesiske forhold.
- InSAR analyse med data fra Sentinel-1 og ERS satellitter med fokus på utsatte områder med total bevegelse over tidsrommet 1992 til 2018.
- Tidsserier med ERS data 1992-2000 på spesielle punkter av interesse. Her velges punkter som viser historisk utvikling av setning i grunnen.
- Disse punktene skal om mulig settes i sammenheng med inngrep i undergrunnen, som konstruksjoner eller borepunkt som er kjent for Statens vegvesen/Bane NOR.
- Generelle anbefalinger fra NGU om områder og problemstillinger som må følges opp for å redusere usikkerheter og risiko for kostnadsoverskridelser under videre prosjektering og drift.
- Anbefalinger for videre detaljerte grunnundersøkelser som konsulenter utfører.

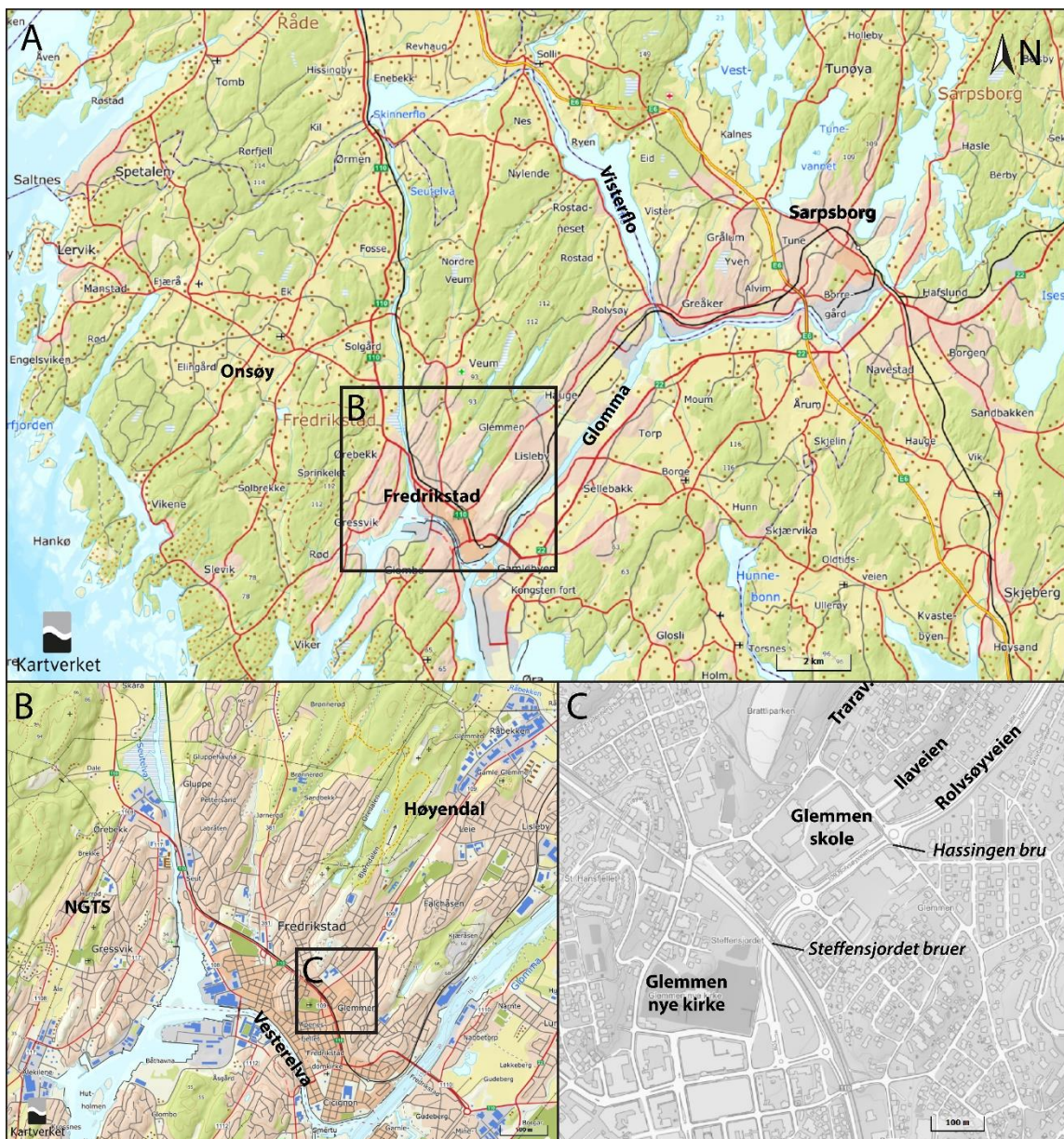
Punktet nedenfor angående vurdering av tiltak har NGU valgt å ikke gå videre inn på, noe som forklares i rapporten. Grunnforholdene er utfordrende og datagrunnlaget for svakt til å kunne gi noen konkrete geofaglige råd om tiltak for det aktuelle området.

- Vurdering av tiltak for å opprettholde grunnvannsstand/poretrykk under og etter byggefase for å begrense endring og skade på eksisterende infrastruktur og bebyggelse.

Alternative tillegg:

- Radon/ Uran i bergarter med hensyn på 1) deponering av farlig avfall 2) HMS under driving av tunnelen (eksempel Bjarkøy tunnelen).

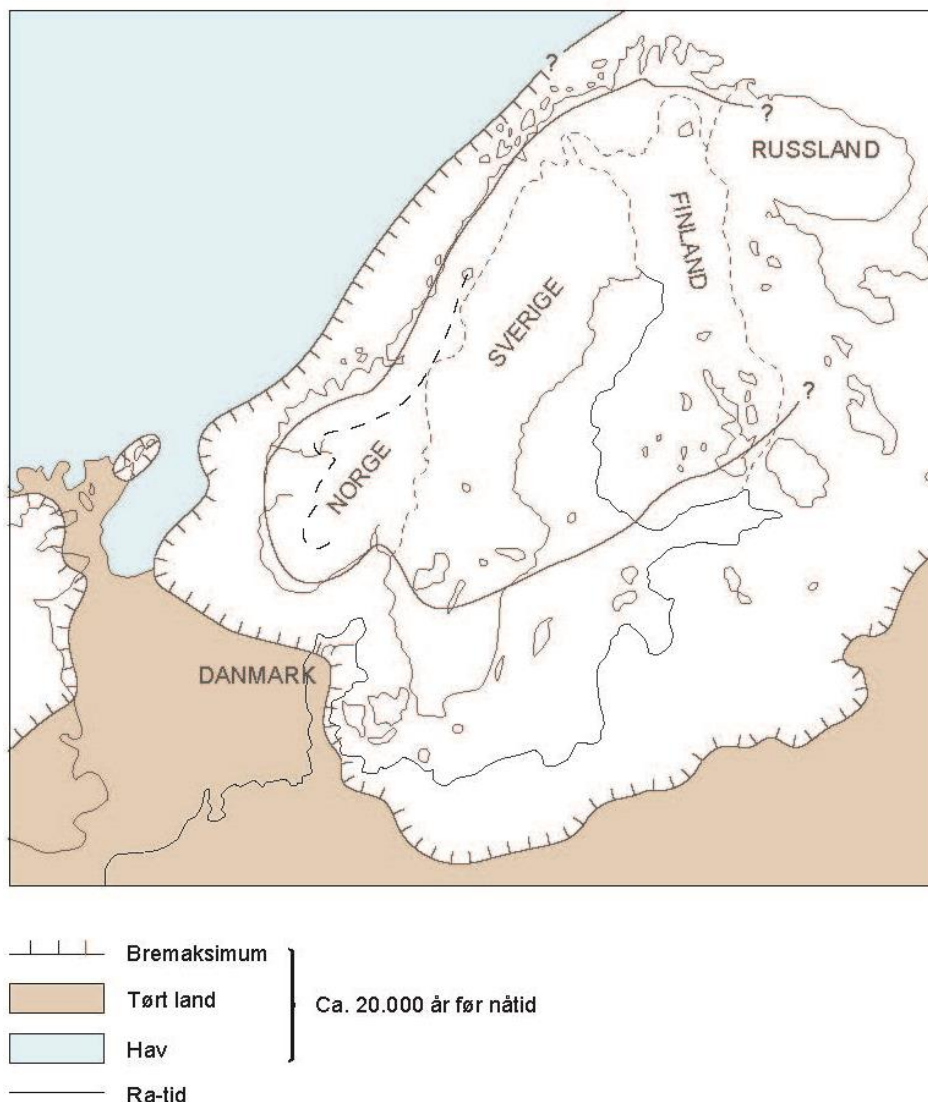
Dette har NGU ikke gått vider inn på siden Statens vegvesen har god kunnskap og rutiner rundt karlegging og håndtering av radon fra fjell med høy konsentrasjon av uran, eksempelvis fra Grantunnelen. Det var enighet om at dette ikke skulle inkluderes i arbeidet.



Figur 1. Lokalteter i Fredrikstad og omegn. Kartgrunnlag fra Kartverket ([www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no)).

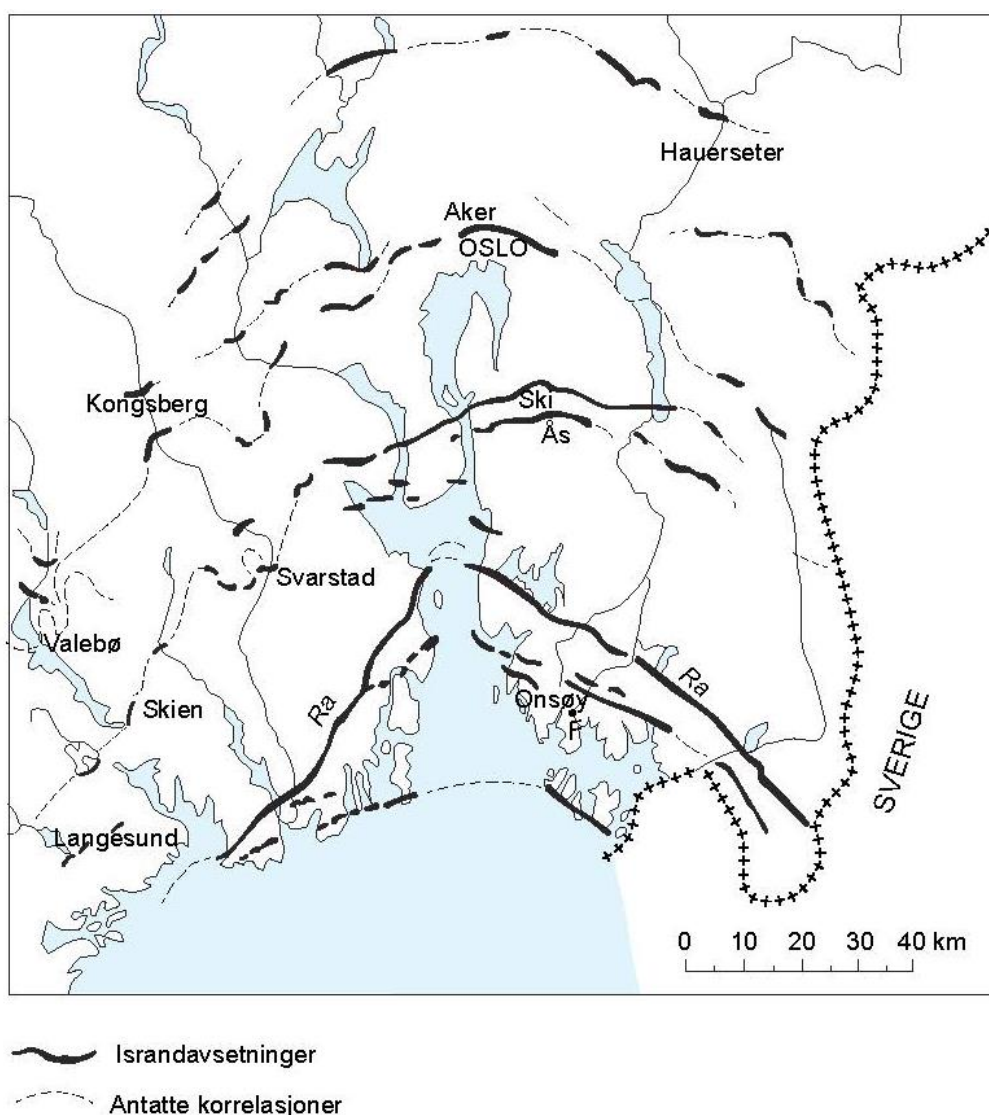
## 2. Løsmasser og avsetningsprosesser

Isen som dekket nesten hele Skandinavia, nådde sin største utbredelse for ca. 20 000 år siden (Fig. 2, 3, Kjærnes m.fl. 1991). Da isutbredelsen var på det største, var istykkelsen opptil to-tre tusen meter. Jordskorpa ble presset ned under tyngden av de enorme ismassene (Fig. 4B). Under avsmeltingen trakk iskanten seg tilbake samtidig med at isdekket ble tynnere (Fig. 4C). Tilbaketrekningen ble avbrutt av kortvarige stopp eller framrykninger. I slike tilfeller ble løsmasse materialet som isen fraktet med seg avsatt foran iskanten (Fig. 5, Bargel 2005). Like nordøst for Glemmen videregående skole er det stedvis påvist rester av morenemateriale som antas å tilhøre Onsøy-Borge-trinnet (ca. 13 200 år før nåtid, kalibrert alder, Fig. 3, 6, Olsen & Sørensen 1998). Ytterligere 7-8 km lenger nordøst finner vi det mektige randtrinnet Raet (ca. 12 900-12 500 år før nåtid, kalibrert alder) som demmer opp Vannsjø. En mulig forekomst av en vannførende stratigrafisk enhet fra Raet sør-sørvest for Visterflo kan ligge i undergrunnen til om lag 15-30 m dyp, og representerer i så fall skrålagene i et brefrontdelta som ble dannet når iskanten lå i ro (tilsvarende Fig. 5).



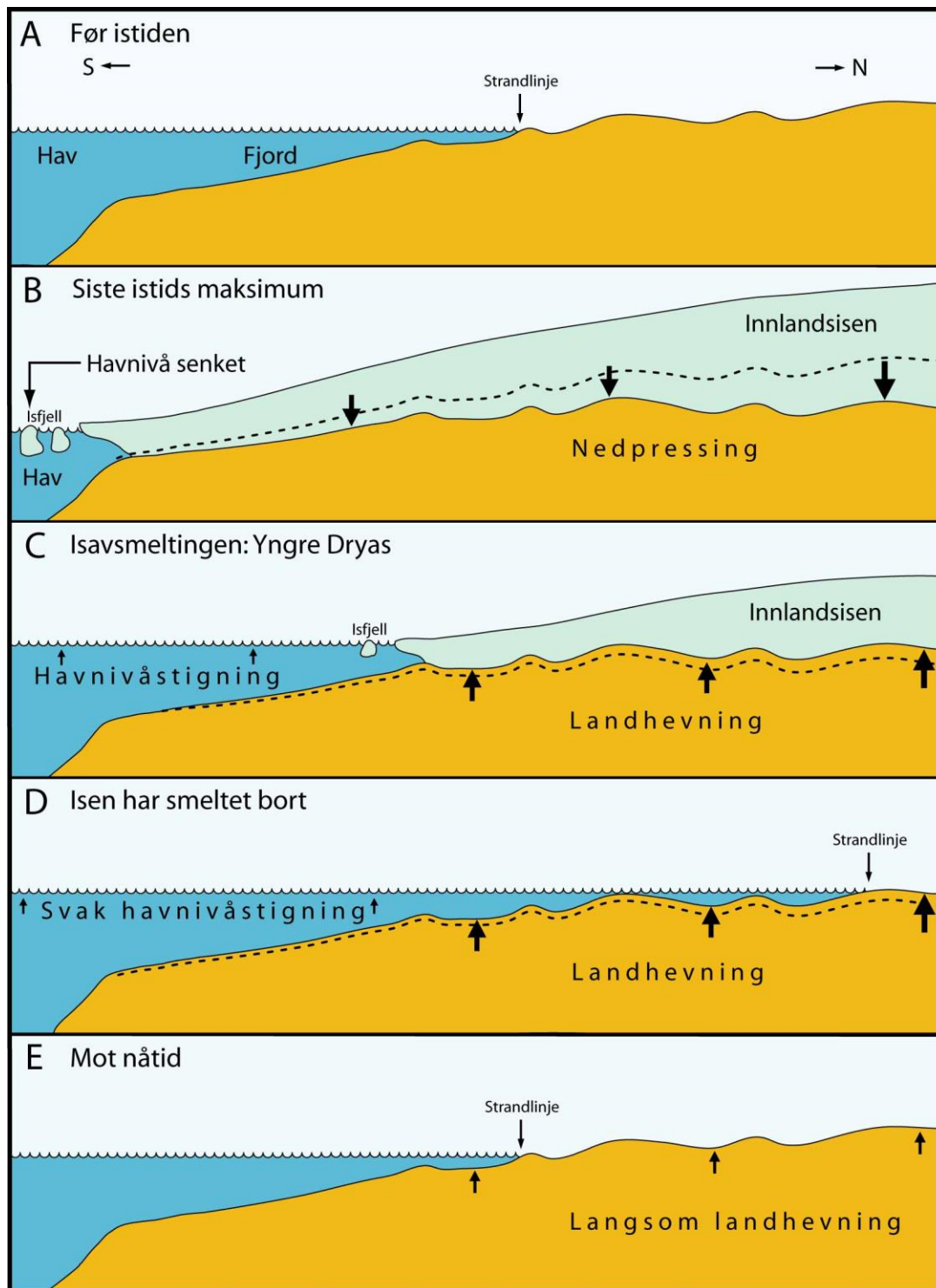
Figur 2. Isens utbredelse under forskjellige faser av siste istid og for ca. 12 500 år siden (Ra-tid) (modifisert fra Olsen & Sørensen 1998).

På grunn av treghet i jordskorpa har det tatt lang tid å gjenopprette likevekten helt, og vi registrerer selv i dag en meget langsom heving av landmassene i Østfold. Landhevingen har ført til at mange områder som under og etter isavsmeltingen var hav- og fjordbunn nå er blitt til tørt land (Fig. 4D, 4E). Hele Østfold var nesten isfri for 11 000 år siden da iskanten i nordøst lå ved nordenden av Rømsjøen (Olsen & Riiber 2018). Det øverste nivå hvor havet stod etter at isen smeltet vekk, kalles den marine grense (MG). MG er i Fredrikstad-Sarpsborg-området omkring 185 m over dagens havnivå (Olsen & Riiber 2018). Det betyr at hele området som i dag utgjør Fredrikstad by lå under havet da isen smeltet bort (Fig. 4D, 6). I dag ligger Fredrikstad helt nederst ved utløpet til Glomma, nær havnivå, i et landområde som fremdeles stiger noen mm/år (isostasi) (ca. 3 mm/år i Halden (Olsen & Riiber 2018)). Landhevningen holder dermed omtrentlig tritt med den globale havnivåstigningen med gjennomsnittlig 3.3 mm/år (eustasi, NASA Global Climate Change 2019).

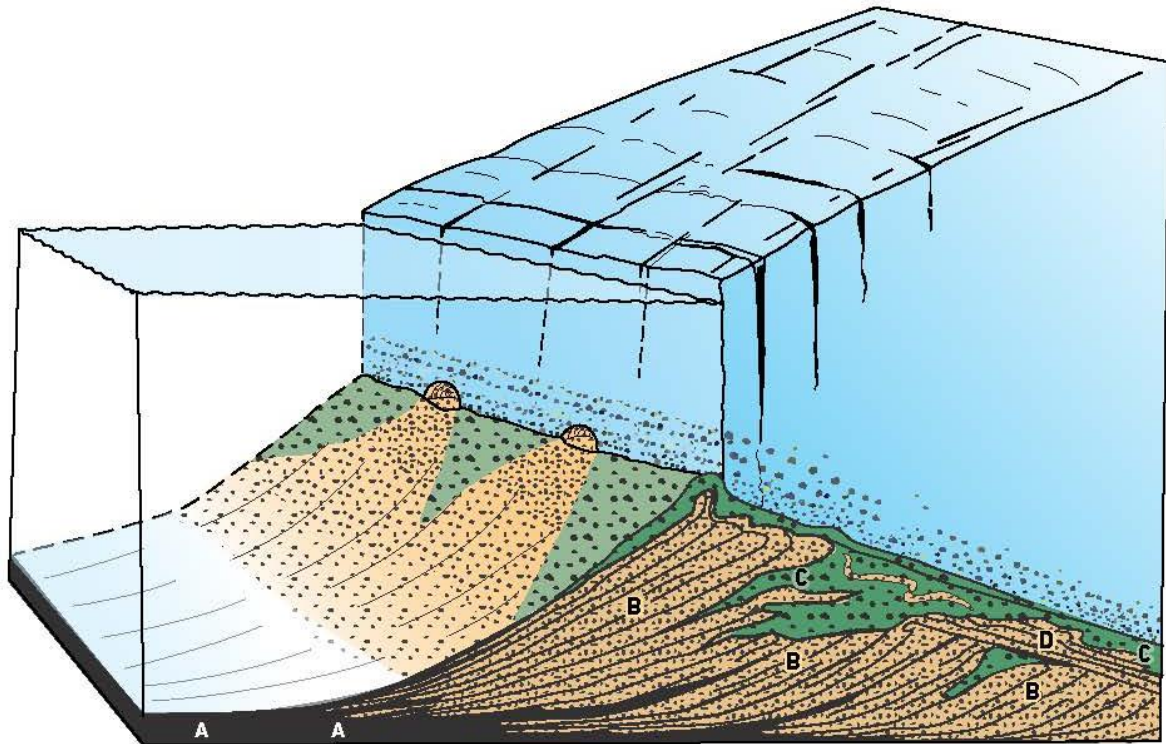


Figur 3. Israndavsetninger omkring Oslofjorden med omtrentlig alder ( $^{14}\text{C}$ -år). Hvaler-Tjøme-morenen, lengst sør, er usammenhengende med alder 11 800-12 300 år før nåtid. Onsøy-Borge-morenen, nord for Fredrikstad, består ofte av lave blokkrygger og er betydelig omlagret av havet og/eller isfrontoscillasjoner (frem og tilbaketrekninger av isen). Alder er anslått til 11 300 år før nåtid. Ra-morenen er det største israndtrinn i regionen, og er utviklet under marin grense (MG) med betydelig isfront oscillasjoner. Alder anslått til 10 700-11 000 år før nåtid (Olsen & Sørensen 1998).





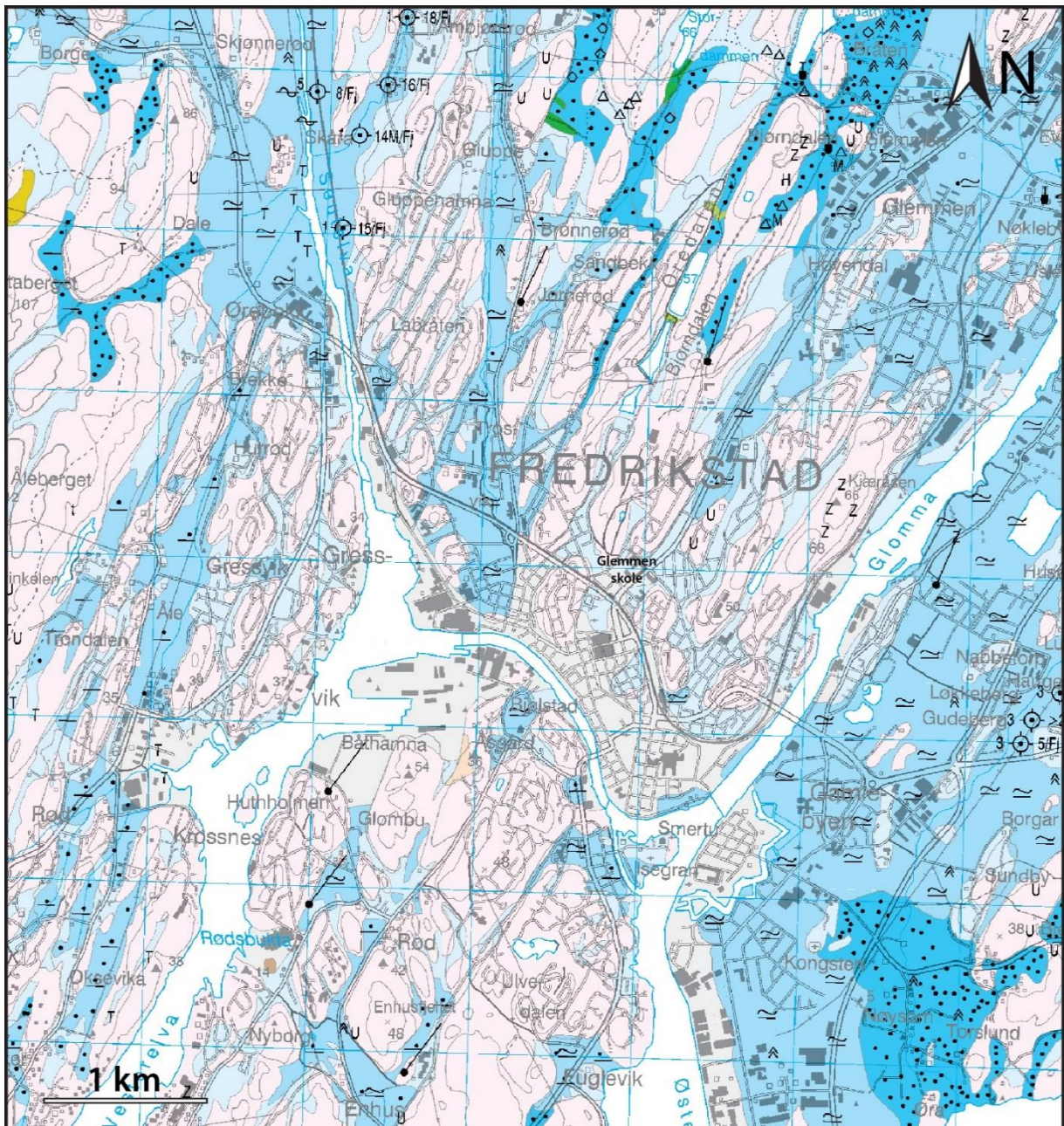
Figur 4. Sammenheng mellom nedpressing av jordskorpen (isostasi), globale havnivåendringer (eustasi) og strandlinjeforskyvninger. A: Før istiden. Havnivå og jordskorpe i balanse etter den nest siste istiden. B: Under siste istids maksimum dekker isen store deler av Skandinavia og presser ned jordskorpa. Havnivået er mye lavere enn før istiden. C: Innlandsisen smelter: Jordskorpa er fortsatt nedpresset, men stiger sakte. Havet følger etter iskanten inn over land. Havnivået stiger også når isen smelter (eustasi), men saktere enn jordskorpa. Iskanten ligger i lengre perioder i ro: Randmorene blir avsatt først på Hvaler (Hvaler-Tjøme trinnet, ca. 14 000 år før nåtid), deretter Onsøy-Borge trinnet (for ca. 13 200 år siden), og så Ra-trinnet (ca. 12 900-12 500 år gammelt) (Fig. 3). D: Innlandsisen smelter videre og forsvinner til slutt helt: Selv om det globale havnivå stiger pga. issmeltingen (eustasi), synker det regionalt i forhold til land fordi jordskorpen heves raskere (isostasi) pga. vektavlastningen, dvs. strandlinja beveger seg utover mot havet og bort fra randavsetningen. I og med at Ra-trinnet er avsatt etter Onsøy-Borge-trinnet er silt og leir avsatt oppå Onsøy-Borge trinnet. E: Jordskorpa fortsetter å stige og de oversvømte landområdene blir igjen tørt land (strandlinjeforskyvning). Landhevningen avtar. Figur fra Bargel (2005).



Figur 5. Tverrsnitt av en endemorene som er avsatt under havnivå foran en stagnert isfront. Under en periode med stillstand av isfronten kan det dannes morene og glasimarine lagdelte avsetninger, inkludert glasifluviale deltaavsetninger, eller vifter avsatt i et marint miljø. Tegnforklaring: Prikker er sand og grus. Trekanter er steiner i morene og i sålen på breen. Svart indikerer glasimarin silt og leir. A: Bunnlag, B: Skrå-lag "vifte"-enhet, som består av sand- og gruslag avsatt hovedsakelig ved gravitasjonsgliding, som i vifter og deltaer. C: Bunnmorene, inklusivt skli-morene, bunnmorene og ablasjonsmorene. D: Glasifluvial enhet, antatt å være avsatt av subglasiale elver som rant i oppoverbakke i is-tunneler under hydrostatisk trykk; eller at lagene ble avsatt oppå isen som senere smeltet og ga dem en helning på landsida. Figur fra Andersen & Borns (1994).

Onsøy-Borge-trinnet består hovedsakelig av sporadiske strandavsetninger som er vasket ut fra morenematerialet, og enkelte morenerygger (Olsen & Riiber 2018). Strandmaterialet er ofte lokalisert til sørsida av høydedrag og til passpunktene i trange dalganger (Fig. 6). Siden Ra-trinnet er avsatt etter Onsøy-Borge-trinnet er Onsøy-Borge-trinnet mange steder dekket av finkornige masser som silt og leir.

Løsmassene i studieområdet er i hovedsak hav- og fjordavsetninger bestående av silt og leir bunnfelt i havet mens havnivået var vesentlig høyere enn i dag, og opptrer i forsenkningene i terrenget (Fig. 6). Under kan det være bunnmorene, såkalte friksjonsmasser, som ligger direkte oppå bergoverflaten i undergrunnen. Dyptliggende forvitningsmateriale kan også være representert i eller nær berggrunnen. Det kan også være linser og mindre mektige lag av glasifluvial og glasimarin opprinnelse som ligger vekselvis med de finkornige silt- og leirlagene. Mellom løsmassene er det oppstikkende bart fjell, og fjellrygger med lengderetning nord-nordøst til sør-sørvest. Marine strandavsetninger (sand og grus) finnes flere steder, spesielt i området Bjørndalen og videre nordøst mot Visterflo (Fig. 1, 6). I områdene omkring Onsøy-Borge-trinnet er det gjerne et grus- og sandlag som ligger oppå hav- og fjordavsetninger bestående av leir og silt.



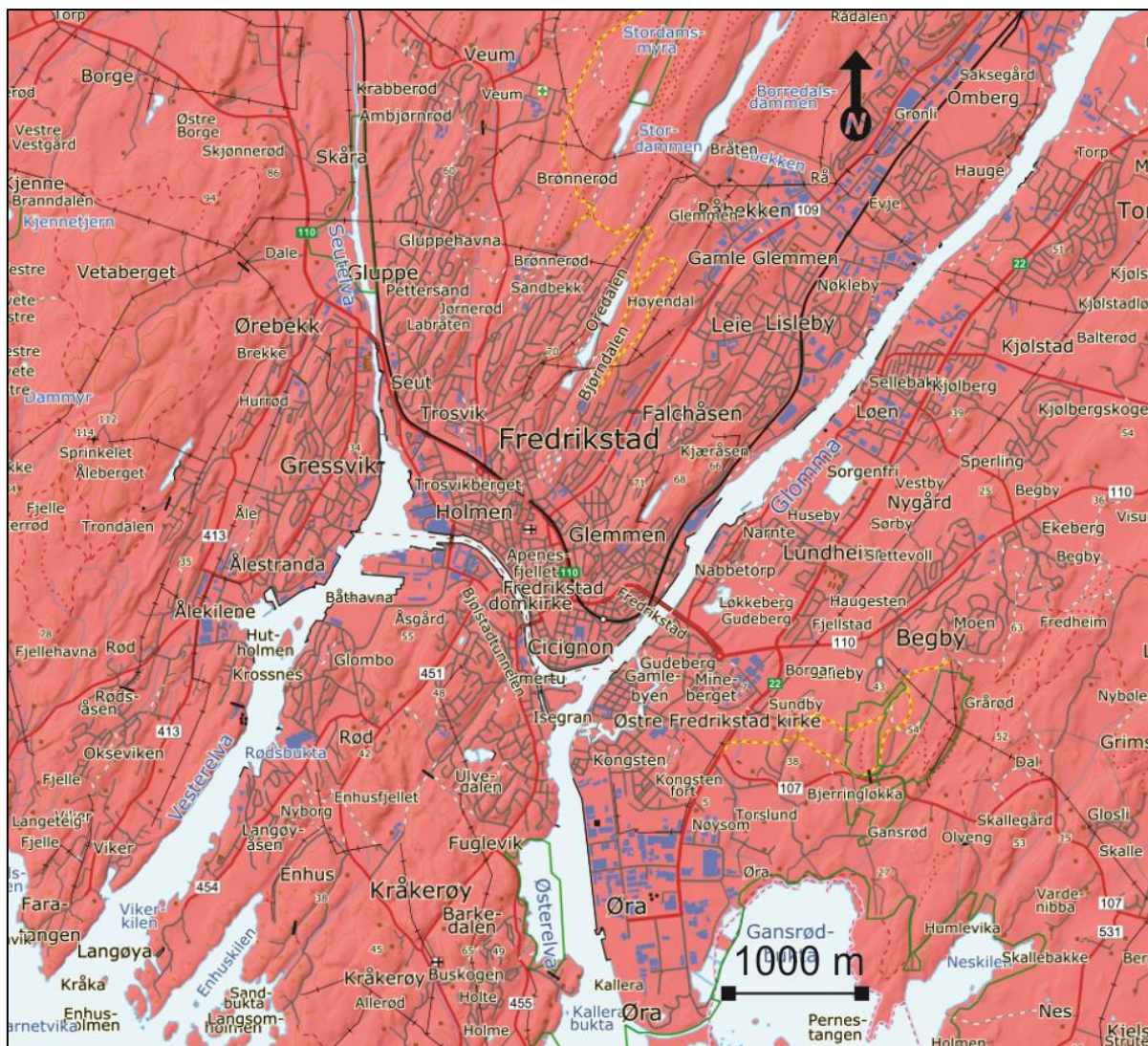
Figur 6. Kvatærgeologisk kart for Fredrikstad, kartlagt i målestokk 1:50 000. Se tegnforklaring i vedlegg 1. (Olsen & Sørensen 1998).

### 3. Berggrunn, sprekkesoner og dypforvitring

Berggrunnen i Fredrikstad og omegn består av granitt, 918 millioner år gammel, nærmere bestemt Iddefjordgranitten (Fig. 7). Fredrikstadgranitten er som de andre granittene i Iddefjordgranitten relativt ensartet og består for det meste av kvarts og feltspat, men bånd som er mer biotittrike opptrer også (Pedersen & Maaløe 1990).

Topografiske lineamenter slik som daler gir ofte et godt bilde av svakhetssoner i berggrunnen (Olesen m. fl. 2007). Disse er ofte relatert til oppsprekking av berggrunnen og styrt av det tektoniske regimet slik at berggrunnen er oppsprukket i flere omganger og i flere retninger. Det mest påfallende sett med topografiske lineamenter består av NNØ-SSV-gående dalfører med et underordnet sett NNØ-SSØ (Banks & Rohr-Torp 1991).

Som vist i figur 8 har berget nær Glemmen skole steile sprekker som er parallelle med dalretningen, NNØ-SSV. Det er også sprekker parallelt med overflaten, kalt eksfoliasjonssprekker dannet ved trykkavlastning.



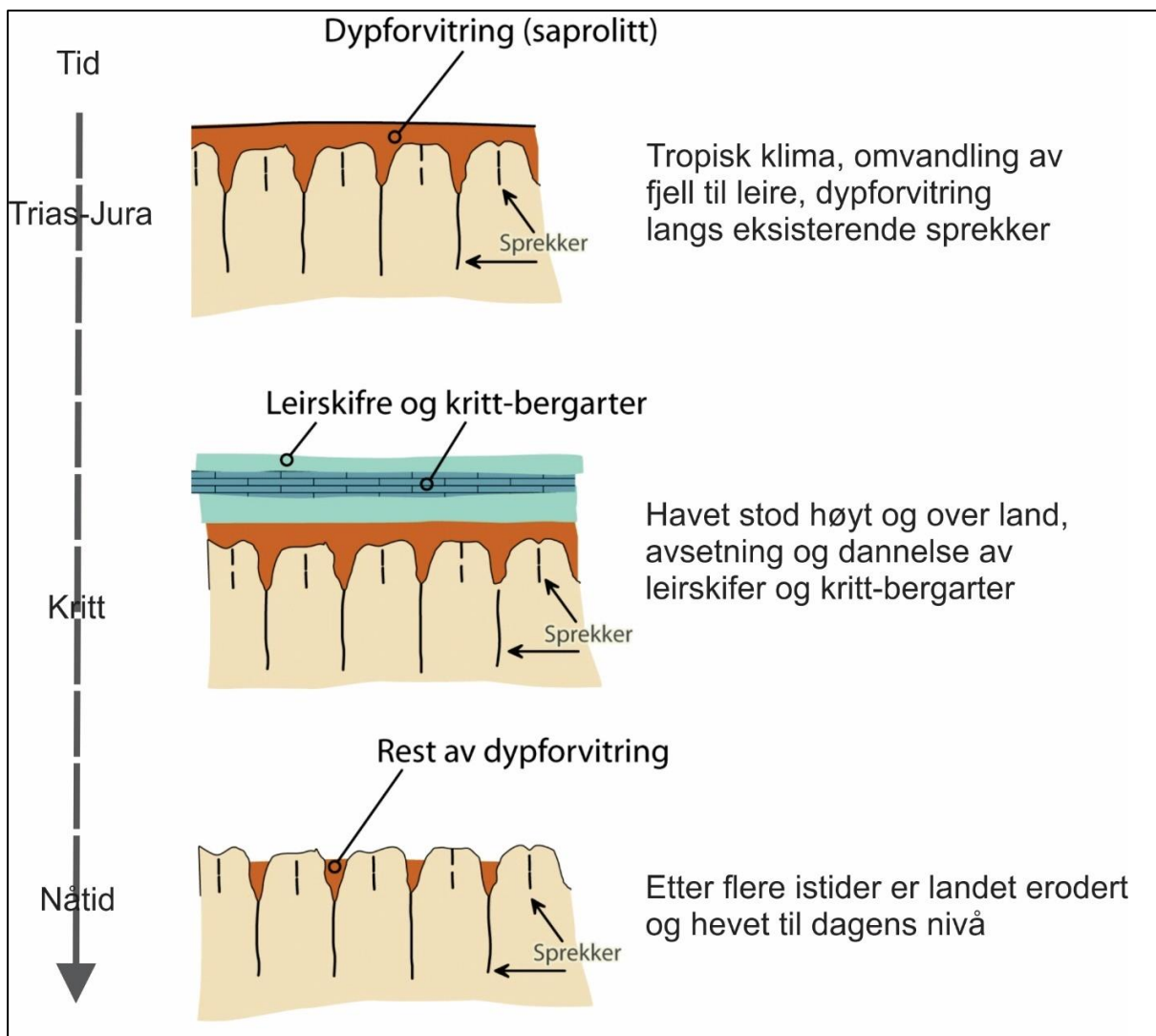
Figur 7. Berggrunnen i Fredrikstad og omegn består av granitt, nærmere bestemt Iddefjordgranitten. Den har rød til lys rosa farge på kartet. Berggrunnskart 1:250 000 fra [www.ngu.no](http://www.ngu.no). (Berthelsen m.fl. 1996). Eksempel på Iddefjordgranitten er vist i bildet under, fra Glemmenområdet i Fredrikstad.



*Figur 8. Eksempel på Fredrikstadgranitten, en enhet i Iddefjordgranitten, som utgjør berggrunnen i Fredrikstad og omegn. Bildet er tatt nær Glemmen videregående skole (Foto: Guri Venvik, NGU).*

Lenge før de siste istidene lå Norge nærmere ekvator. I et varmt og fuktig klima gjennom trias-, jura- og kritt-tidene (250 millioner år siden) ble den skandinaviske berggrunnen utsatt for tropisk forvitring. Dypforvitring er en prosess som forekommer i tropisk klima som omdanner magnetitt (jernholdig magnetisk mineral) til ikke magnetiske jernhydroksider (rust) og silikatmineraler til leire (Olesen m.fl. 2007). Forvitring er et overflatefenomen, som utvikler seg nedover i dypet ved tilførsel av overflatevann (Figur 9). Omvandling med forvitring går spesielt dypt langs eksisterende sprekker og forkastningssoner, der vannet lett kan infiltrere ned i undergrunnen (dypforvitring).

Denne forvitringen fører til at det i berggrunnen fins tynne, langstrakte og dype soner med oppsmuldret forvitret fjell. Disse følger strukturelle svakhetssoner i berget. Antakelig har surt vann, dannet i store sumpområder, angrepet silikatmineralene som langsomt ble brutt ned til leirmineralene smektitt (svelleleire) og kaolin (Olesen m.fl. 2007). Soner med dypforvitring er kjent for å bestå av mye leire (Figur 9). Det er sannsynlig at de NNØ-SSV-gående forsenkningene i terrenget i Fredrikstadorrådet gjenspeiler svakhetssoner, hvor dypforvitring har forekommet slik at sonene består av både mekanisk oppknust fjell, i forkastnings- eller bruddsoner, samt forvitret fjell med omdannelse til leirmineraler. Isdekkets senere erosjon i terrenget var særlig utpreget langs disse svakhetssonene og gir opphav til dype, smale dalganger. Omfanget langs sonene, både i utstrekning og i dyp, er for det meste ukjent, men geotekniske grunnboringer har vist løsmassemekktigheter på flere titalls meter (se mer i kap. 0).



Figur 9. Skjematisk fremstilling av dypforvitring, etter Olesen m.fl. (2007).

Forkastnings- eller sprekkesoner hvor dypforvitring har forekommet kan ha en kjerne med mye leire, avhengig av hvilket dyp sonene treffes (Olesen m. fl. 2007). Et eksempel på en slik sone ved overflaten er fra Siljan i Telemark, Figur 10. Dypforvittringssoner kan kartlegges, blant annet med måling av magnetisk susceptibilitet, hvor leirsonene har lavere magnetisk susceptibilitet enn vertsbjergarten (Figur 10). Blokker forekommer på siden av leirsonen eller i dypet av sonen.

Forkastnings- og sprekkesonene som danner dalførene i Fredrikstadområdet har også påvist sannsynlig dypforvitring (Figur 11 og Vedlegg 2). Dette gjør at dalførene har potensiale for ustabilitet og vannføring pga. knust fjell og sprekker dannet av forkastnings- og bruddsoner, i tillegg til forvitret fjell og omdanning til leire pga. dypforvitring.

Metoden for påvisning av dypforvitring kalles AMAGER-metoden, og baseres på målinger av magnetfelt fra fly og helikopter kombinert med forsenkninger i terrenget (Olesen m.fl. 2007).

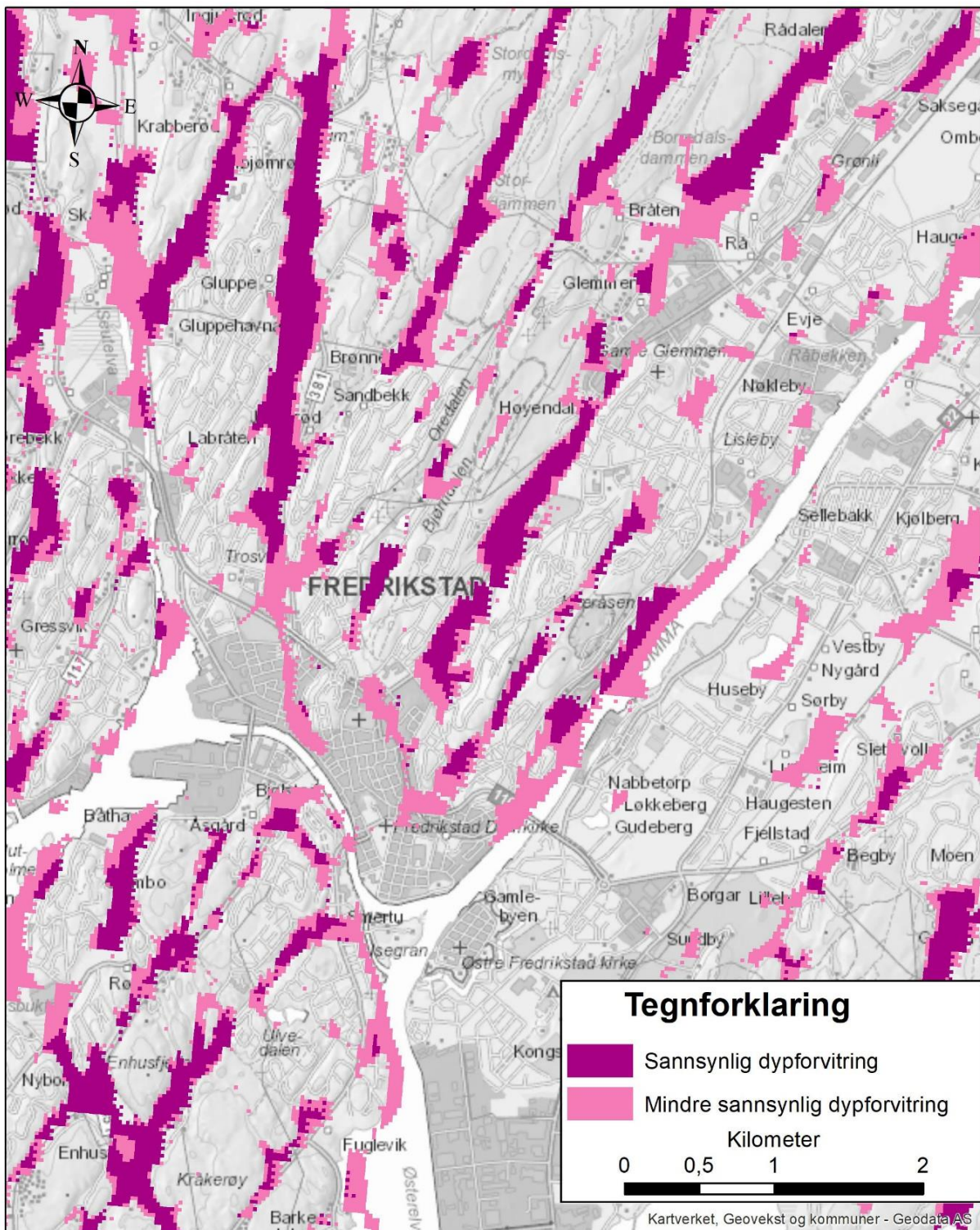


Figur 10. Eksempel på dypforvitring fra Thorsås i Siljan, Telemark. Kjernen av dypforvitringssonen er kjent for å bestå av mye leire, mens sidene og i dypet har blokker. Dypforvitring påvises med magnetiske målinger i kombinasjon med terrengformer. I dette tilfellet er sonen blottet og en kan måle magnetisk susceptibilitet (SI) direkte i blotningen, hvor fast fjell gir høye SI verdier og leirsoner gir lave SI verdier (Olesen m.fl. 2007).

Grunnlaget for kartene med sannsynlighet for dypforvitring bygger på datasett med celledørrelse 25 x 25 meter (topografi) og 50 x 50 meter (magnetiske data), og kartet er fremstilt i målestokk 1: 150.000. Dette betyr at metoden *ikke kan påvise tynne soner* ifølge veilederen til aktsomhetskart for tunnelplanlegging (Vedlegg 3). I områder med tykke løsmasser vil topografien gi motsatt signal enn signalet fra berggrunnen, og metoden vil ikke da gi noe informasjon om eventuell dypforvitring. Soner med stor utstrekning, som NNV-SSØ-sonene vist i Figur 11, antas å fortsette der dekket av løsmasser er tykt. Aktsomhetskart for tunnelplanlegging som viser sannsynlig og mulig dypforvitring er et regionalt kart som framstiller større regionale variasjoner i undergrunnen. Det vil si at lokale variasjoner forekommer, og som ikke framkommer på kartet, som for eksempel dypforviting registrert ved Seut (Figur 12). Kartresultatet av dypforvitring er vist i Vedlegg 2 for Fredrikstad og omegn, med produktbeskrivelse i Vedlegg 3.

Som Vegvesenet selv har påpekt, har undersøkelser av grunnforholdene ved ny bru ved Seut påvist problematiske forhold knyttet til dypforvitring. Borekjerner fra Seut viser forvitret granitt hvor leirpartiklene er vasket ut eller mistet ved kjernetap (Figur 12). Borekjernematerialet som er tatt opp tyder på å være blokkformen og som normalt forekommer på siden eller i dypet av dypforvitringssonen. Det er stor sannsynlighet at forholdene i berggrunnen ved Glemmen er tilsvarende som ved Seut, siden dalføret ved Glemmen er indikert med sannsynlig dypforvitring og mørk farge på kartet, Figur 11.

# Aktsomhetskart for tunnelplanlegging



Figur 11. Rølsøyveien går i en dalgang med NNØ-SSV-retning som trolig er en sprekkesone med dypforvitring. Det er stor sannsynlighet at sprekkesonen med dypforvitring henger sammen med sonen på sørsiden av elva, ved Bjølstad og Rødsveien. [www.ngu.no/emne/datasett-og-nedlasting](http://www.ngu.no/emne/datasett-og-nedlasting)





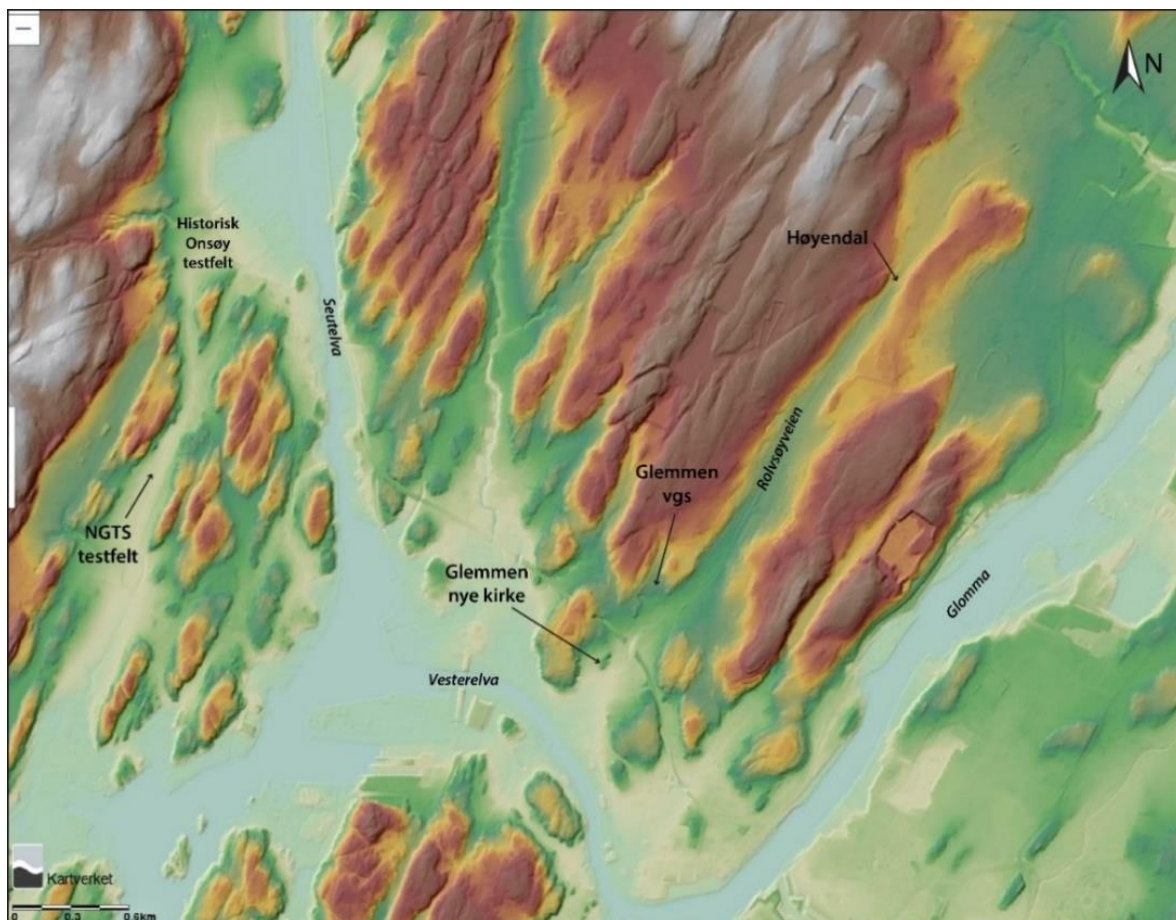
Figur 12. Foto av borekjerner fra Seut (Vegvesenets egne kjerner). Dette er tydelig forvitret granitt, hvor de tykkere leirsonene uteblir pga. kjernetap (foto: Guri Venvik, NGU).

## 4. Grunnforhold knyttet til løsmasser og berg i Glemmenområdet

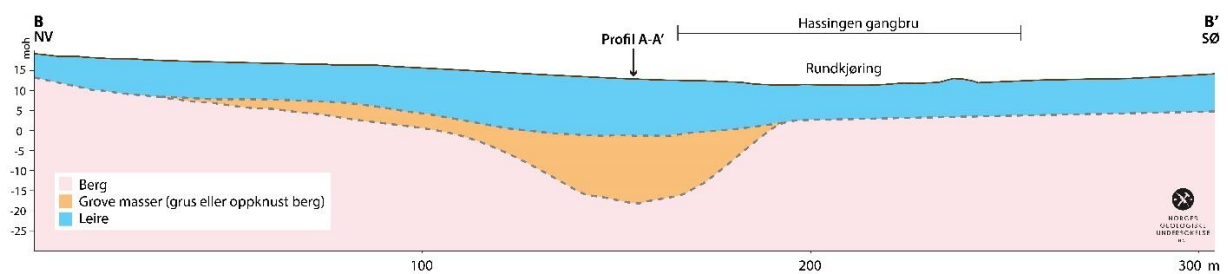
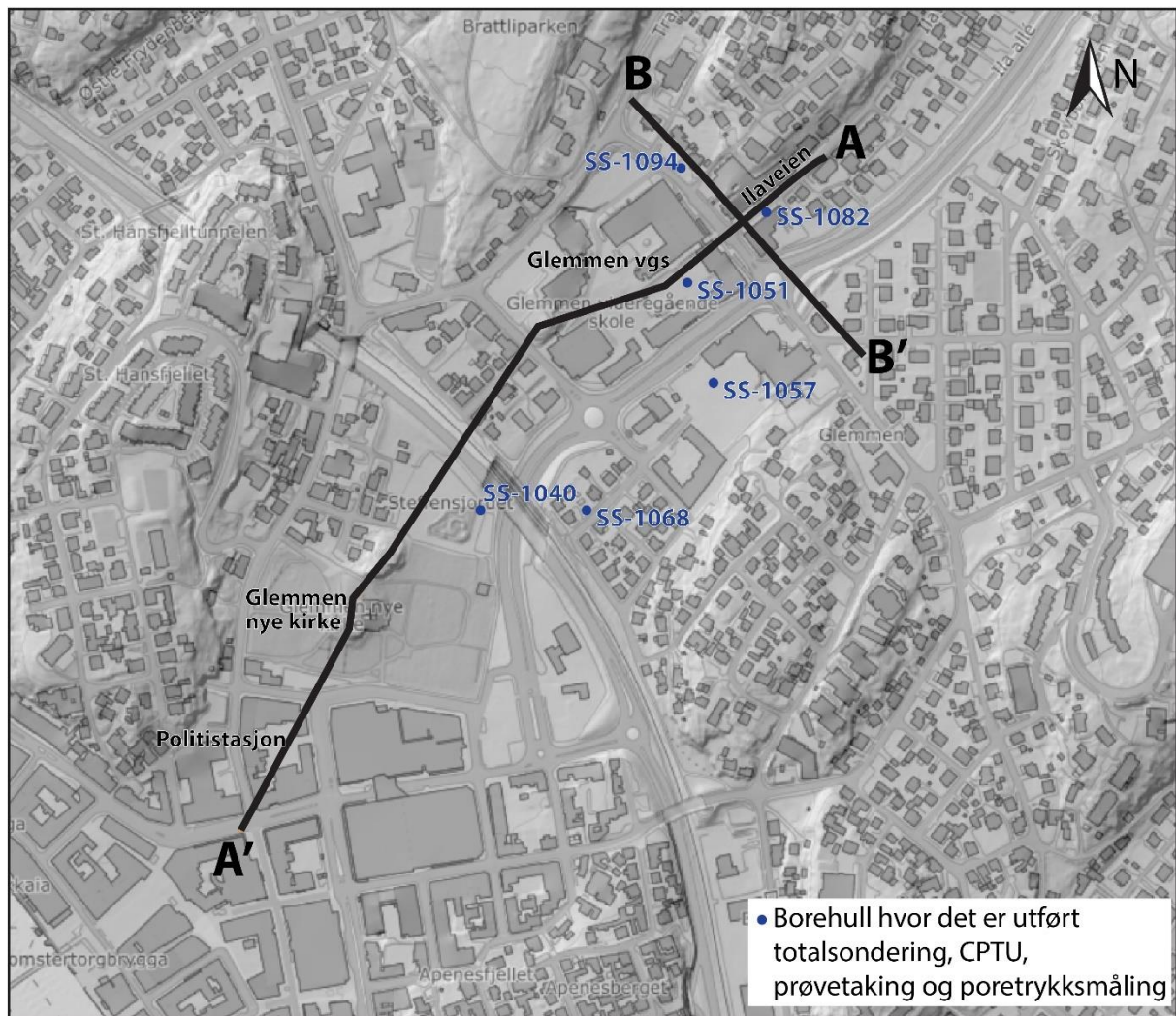
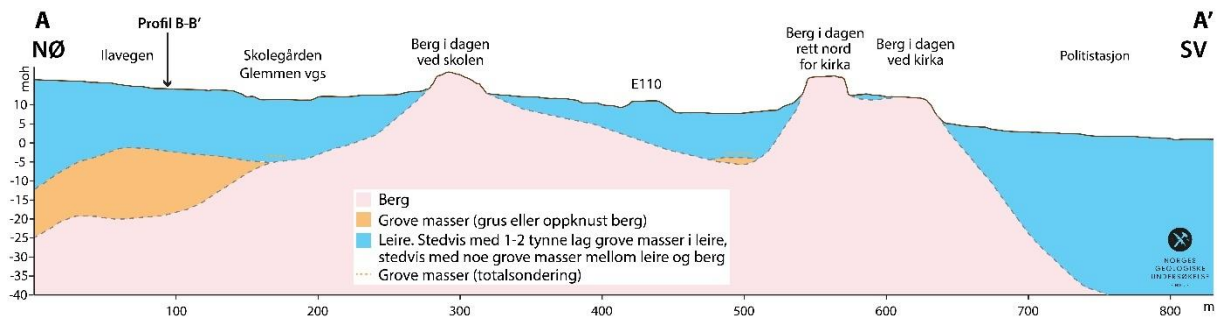
### 4.1 Berggrunnstopografi

Løsmassemekktigheten, og følgelig dyp til berggrunnen, varierer svært mye i studieområdet. De overordnede lineamentene som gir dalformasjonene i området, er styrende for hvor man kan forvente å finne store løsmassemekktigheter. Disse lineamentene er godt synlig på LiDAR-data (Figur 13). I disse løsmassefylte dalgangene må det under terreng påregnes bratte fjellskrenter, hyller og trolig overheng i fjellgrunnen. Figur 14 viser en profilskisse fra Ilaveien og forbi Glemmen nye kirke. Utvalgte borer er benyttet for å skissere dyp til berg og sedimenter.

Konsulentfirmaet 2G har i hovedsak gjort en god jobb med å samle data for å lage modell over forventet løsmassemekktighet og dyp til berg. Modellen viser betydelig variasjoner i dyp til berg (2G 2019), selv om det noen steder er feil i modellen (se kap. 4.3 og 4.5) og framstillingen kunne vært noe bedre (f.eks. større figurer med mer innhold). Modellen mangler også noen data fra området hvor bl.a. politistasjonen ligger, rett sørvest for kirka (se kap. 4.5) (NGI 1964; Noteby 1991). Dataene har vært tilgjengelige i NADAG siden 2015. Disse viser at berget stuper bratt ned, noe som vil påvirke modellen. Den dype «gryta» under Steffensjordet-bruene vil fremdeles være der, men etter en fjellterskel øst for kirka, stuper bergoverflaten ned mot Vesterelva. Dette kan også ha noe betydning for dreneringen ned mot Vesterelva, og stemmer godt i forhold til poretrykket i SS-1057 (øst for skolen, noe poreovertrykk) som er høyere enn SS-1068 (nord for Steffensjordet-bruene, mer hydrostatisk).



Figur 13. LiDAR-data fra Fredrikstad, med oversikt over noen sentrale lokaliteter (NHD Østfold 5pkt 2015, fra hoydedata.no).



Figur 14. Profilskisser fra områdene ved Ilaveien og Glemmen nye kirke. Utvalgte boredata fra Statens vegvesen, COWI, NGI og Noteby er benyttet for å skissere dyp til berg og sedimenter. Lokaliteten til enkelte borer fra COWI er vist på kartet. Kartgrunnlag fra hoydedata.no.

## 4.2 Grove løsmasser

Det foreligger ikke prøver av det grove materialet som ligger over berg i studieområdet, så det er ikke mulig å si noe om disse løsmassenes mekaniske og hydrauliske egenskaper. Det er imidlertid registrert stor variasjon i tykkelsen på de grove løsmassene som er avsatt på berg. De grove massene kan være morene, glasifluvial sand og grus, eller det kan være oppknust (dypforvitret) berg. Dersom det er glasifluviale avsetninger, vil de normalt ha gode drenerende egenskaper. Morene og oppknust berg kan også ha gode vannføringsegenskaper, men kan også inneholde finkornige masser som gir dårlig hydraulisk konduktivitet.

De største grove avsetningene ser ut til å være under leire nordøst for skolen (Glemmen vgs) hvor det registreres 15-20 m leire over 15-20 m grove masser (Fig. 14). Berget stuper bratt ned under løsmassene her og det registreres ca. 30 m dyp til berg i sonderingene kun 35-40 m fra synlig bergoverflate i dagen. Andre steder i Glemmenområdet er det på det meste 5-10 m tykke grove sedimenter mellom leiravsetningene og bergoverflaten, men mange steder er dette laget mye tynnere (5-20 cm).

Nordover langs Rolvsøyveien ble det på 1970-tallet gjort en del grunnundersøkelser (SVV 1980b). Disse viser også kupert berg under løsmassene; i midten av dalen som veien går gjennom er de grunneste boringene ca. 5 m dype, og dypeste ca. 40 m til berg. Generelt er berget brattest på vestsiden av dalen. Sedimentene består for det meste av finkornige masser (mye kvikkleire), men ved Høyendal er det opptil 7 m grove løsmasser. Prøver viser at dette er grovest på toppen (0-5 m grusig sand over 5-7 m siltig, leirig sand. Leire under). Området ved Høyendal er det smaleste partiet i dalen (Figur 13), med ca. 100 m mellom berg i dagen på øst- og vestsiden av veien, men grunnboringer viser likevel 20 m til berg under gangbrua her. De grove massene kan være knyttet til randtrinet Onsøy-Borge, hvor morenelaget kan ha blitt strandvasket (som nevnt i kap. 2). Den geotekniske rapporten kommenterer også at det er setninger i området langs hele Rolvsøyveien (SVV 1980b).

## 4.3 Finkornige sedimenter og lagdeling

Ut fra de utførte grunnboringene kan leira i Glemmenområdet generelt ansees som homogen da det registreres få grovkornete sedimentlag. Totalsonderinger indikerer kun få steder 1-2 tynne lag grovt materiale i leirpakken, og som også kan også være enkeltsteiner (droppstein). Sedimentene som ligger i den lille kløfta parallelt med berg i dagen nord for Steffensjordet-bruene og øst for rundkjøringen, er likevel et unntak (fig. 15 i 2G (2019)), da det her er det registrert flere sand-/gruslag i leira.

Som nevnt over er det stedvis registrert tykke grove avsetninger (eller oppknust berg) mellom leirpakken og berg, ellers ligger leira rett på berget (selv om det kan potensielt kan finnes et 5-10 cm grovt lag over berg som ikke fanges opp av grove totalsonderinger). 2G har laget oversikter over dette i sin rapport, se f.eks. fig. 32 i 2G (2019). Denne figuren er imidlertid ikke helt riktig, siden f.eks. boring nr. 6, nr. SS-1060 og nr. SS-1068 indikerer finkornige masser over berg.

Ca. 2,6 km vest for Glemmen ligger et testområde for bløt leire; NGTS (Norwegian Geo-Test Sites) Onsøy testfelt (Fig. 13). Dette er et relativt nytt testområde, men 1,3 km lenger nord ligger de historiske Onsøy testområdene som ble etablert på slutten av 1960-tallet (se referanser i Lunne m.fl., 2003). Disse testområdene ser ut til å ha hatt sammenlignbare avsetningsforhold som ved Glemmen/Rolvsøyveien, siden de ligger i en sedimentfylt dalgang mellom berg i dagen – spesielt gjelder dette NGTS-

feltet. Det gjøres ofte omfattende og mange ulike undersøkelser i testfelt, og det anbefales derfor at rapporter og artikler fra disse studeres og sammenlignes med data fra Glemmen, for potensielt å finne nyttige materialparametre knyttet til byggingen av det nye stasjonsområdet. Den overordnede fordeling av sedimentene i NGTS-feltet er vist i tabell 1.

Tabell 1. Stratigrafiske enheter i NGTS Onsøy testfelt (data fra Gundersen m.fl., 2019).

Enhet	Tykkelse (ca.) (m)	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)	Annet	Kommentar/Tolkning
I	1				Tørreskorpeleire
II	8-10,5. Tykkelse av laget øker med dyp til berg.	60-70. Generelt høyere enn Enhet III.	70	Høy til veldig høy plastisitetsindeks (44 %). Bioturbasjon. Skjell/skjellfragmenter.	Trolig avsatt distalt/et godt stykke unna breen. Postglasiale forhold.
III	5,5-9,5. Tykkelse av laget øker med dyp til berg.	40-50	45	Middels høy plastisitetsindeks (27 %). Mye skjell. Nederst i enheten: et 3 cm tykt sandlag. Datering av skjell på 15,7 m dyp ga <sup>14</sup> C-alderen 10 330 ± 30 år BP.	Trolig avsatt noe nærmere breen og dermed noe grovere.
IV	Lignende indeksparametre som enhet II, men vanninnhold, plastisitetsindeks og leirinnhold synker mot berg. Noen av prøvene har høyere sensitivitet enn de andre enhetene.				Vekslende forhold. Trolig tilbaketrekende brefront.
Berg	Dreietrykksonderinger indikerer 24,1 m dyp til berg i sør-midtre deler av feltet, og 28,4 m i sørstre hjørne				

En tolkning av enhetene i NGTS-feltet kan være at enhet IV og III ble avsatt under glasiale forhold. Hvor nær breen har vært gjenspeiles i fordelingen av grove og fine sedimenter. Datering av skjell viser at enhet III korresponderer med Yngre Dryas (Gundersen m.fl., 2019). Dette breframrykket har ført til at leirinnholdet i enhet III er en del lavere enn i enhet IV og II. Enhet II ble trolig avsatt etter at breen hadde trukket seg vekk fra området, mot nordøst. Det høye leirinnholdet tyder på rolige avsetningsforhold for leirpartikler som har blitt fraktet i suspensjon over mange kilometer. Datering av skjell fra ca. 2 m dyp ga <sup>14</sup>C-alderen 2735 ± 30 år BP.

I Glemmenområdet er det i nyere tid gjort mest totalsonderinger, men tabell 2 viser utvalgte parametre fra prøveserier (og totalsonderinger). De finkornige sedimentene på NGTS-feltet og i Glemmenområdet ser ut til å ha nokså lik stratigrafi, selv om tykkelsen på de ulike enhetene kan variere. I tillegg er leir- og vanninnhold enda høyere på NGTS-feltet enn på Glemmen. Også prøveserier fra eldre grunnundersøkelser viser lignende oppbygging (f.eks. SVV 1973). Det varierer om alle enhetene er registrert i grunnboringene, og manglende dypere enheter kan og henge sammen med hvor dyp boringen er.

Siden de grovkornede lagene kun registreres i et fåtall av grunnboringene og ikke danner tydelige sammenhengende strukturer, er det usikkert i hvilken grad de grove lagene i selve leira i Glemmenområdet kommuniserer hydraulisk med hverandre over større avstander. Eventuelle tynne siltlag vil kunne kommunisere, men disse vil være vanskeligere å detektere og finne utbredelsen til. Utfordringer knyttet til setninger vil derfor muligens i stor grad være knyttet til den kompressible leira med svært høyt vanninnhold, og at den tåler tilleggslaster dårlig. Siden leira har høyt leirinnhold vil den være lite permeabel, og setninger vil dermed kunne pågå over lang tid. Dette er også indikert gjennom InSAR-data (se kap. 6).

Tabell 2. Utvalgte parametre fra prøver og totalsonderinger (TOT) fra Glemmenområdet (COWI 2016, 2017a, 2017b). Bruene det henvises til er Steffensjordet-bruene. Plassering av boringene vises i figur 14.

Enhet	SS-1040 (sør for bruene)		SS-1051 (skolegården)		SS-1057 (øst for skolen)		SS-1068 (nord for bruene)		SS-1094 (nord for skolen)	
	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)	Leirinnhold (%)	Vanninnhold (%)
I		28-35		29-39		24-25		26-27		17-23
II	49-56	52-63	53	46-58	51	43-52	52	45-60	39-42	28-54
III	25-48 En del sand nederst	25-53	37	31-46	31	33-44	48	35-50	14-39	30-43
IV	41-53 Noe sand nederst	34-63	Enkelte gruskorn	34-66	-	-	-	-	-	-
V	TOT: grovt lag (ca. 8 m tykt)		-		-		-		TOT: grovt lag (ca. 3 m tykt)	
Berg	TOT: Slagboring startet på 44 m dyp		TOT: Slagboring startet på 16 m dyp		TOT: Slagboring startet på 11 m dyp		TOT: Slagboring startet på 15 m dyp		TOT: Slagboring startet på 12,5 m dyp	
Kommentar	Kvikk i nedre del		Mye kvikkleire		Kvikk i nedre halvdel		Lite til middels sensitiv		Lite til middels sensitiv, ett kvikkleirelag	

Plastisitetsindeksen ( $I_p = w_L - w_p$ )<sup>1</sup> er et mål på hvor hurtig leira responderer på endringer i vanninnholdet. En masterstudie av norske leirer indikerer at  $I_p$  øker med økende innhold av leirfraksjonen, noe som også er funnet i andre studier (Syversen 2013). Generelt har enhet II høyest plastisitetsindeks i Glemmenområdet, slik som for NGTS testfelt. Dette korresponderer godt med det høye leirinnholdet i den øvre delen av leirpakkene. Enhet II har svært høyt vanninnhold, noe som trolig henger sammen med høyt leirinnhold og høyt humusinnhold (se under).

#### 4.4 Organisk materiale

Humusinnholdet er interessant i forbindelse med setningsvurderinger. Høyt humusinnhold kan være medvirkende årsak til høyt vanninnhold og gir ofte stor kompressibilitet (SVV 2010). Tabell 3 gir en oversikt over innholdet av organisk materiale fra noen prøver i Glemmenområdet, og humusinnholdet er generelt lavt.

Bestemmelse av organisk innhold ved historiske Onsøy testfelt viste i gjennomsnitt 0,6 % da kjemisk oksidering ved salpetersyre ble benyttet. Ved glødetap ble organisk innhold omtrent 3 %. (Lunne m.fl. 2003). Ved NGTS testfelt ble glødetap benyttet, med verdier på 2,5-4 %. I følge SVV (2010) er ikke glødetapmetoden så nøyaktig siden kalkholdige elementer (skjellrester etc.) også forbrennes, men den anses tilstrekkelig for vanlige geoteknisk undersøkelser.

<sup>1</sup> Flytegrensen  $w_L$  er det vanninnhold hvor jordartens konsistens i omrørt tilstand går over fra å være fast (plastisk) til å bli flytende. Plastisitetsgrensen  $w_p$  angir laveste vanninnhold hvor jordarten i omrørt tilstand er plastisk. SVV (2010).

Tabell 3. Måling av organisk innhold (i %). Data fra NGI (1964), Noteby (1991) og COWI (2016, 2017a, 2017b). For COWI-boringene: organisk materiale er i hovedsak målt i enhet II (se tabell 2).

Metode	BH 1 (NGI)	BH 1 (Noteby)	SS-1040 (COWI)	SS-1051 (COWI)	SS-1057 (COWI)	SS-1068 (COWI)	SS-1094 (COWI)
Glødetap			2,2-3,1	1,7-3,1	1,4-2,6	2,2-3,4	1,3 (kun én måling)
O <sub>na</sub>		0,4-1					
Ukjent («Humus»)	0,9-1,15						

#### 4.5 Sammenligning av 2G's modell med NADAG og GRANADA data.

Konsulentselskapet 2G har sammenstilt data og laget en 3D-modell med dyp til fjell og grov inndeling av lag i dypet for et avgrenset område (2G 2019). NGU har sett nærmere på datagrunnlaget i modellen og gjort en vurdering av denne, vist i Figur 15. Data fra NADAG og GRANADA er åpne data og tilgjengelig for alle via NGUs databaser. Innenfor det modellerte området, etter kvalitetsfiltrering, finnes det 186 boringer i GRANADA og 283 i NADAG. Dybde til fjell i NADAG konverteres til absolutt høyde ut fra oppgitt høyde i NADAG, og hvor det ikke er anført dybde til berg, antas det at det kun er løsmasser som indikerer at maks boret lengde i disse tilfellene kan anses for minste dybde til berg.

Det antas at der modellert berggrunnsoverflate ikke er angitt er berggrunnsoverflaten omtrentlig sammenfallende med topografien (berg i dagen). 2G-modellen har oppløsning på 10x10 meter noe som gir usikkerheter når en sammenligner modellen med borepunktene. Dybde til fjell fra borepunktene er diskrete punkter på berggrunnsoverflaten. Et grid med ruter på 10x10 meter er grovt og er en ulempe i dette området der det er store variasjon i terreng og bergoverflate over korte avstander. Mindre avvik i posisjon kan gi relativt store utslag. Eksempelvis, deler av modellen viser stor variasjon i bergoverflate og er forholdsvis bratt med opptil 57 grader helning fra overflaten i området. Det er til dels benyttet data fra GRANADA som trolig har en noe større posisjonell usikkerhet enn data i NADAG.

I NADAG er det både boringer som har dybde til berg samt boringer som kun er i løsmasser, i tillegg er det boringer som er utenfor området hvor modellen har verdier (er antatt å være berg i dagen). Dette gir fire forskjellige sammenligninger med bergoverflata, hvor avviket fra modellen er gitt ved ( $\Delta$ ):

##### ❖ Boringer med dybde til berg

- Hvor modellen har verdier

$$\Delta = \text{Høyde} - \text{dybde til berg} - \text{høyde til modelloverflaten i punktet}$$

- Hvor modellen ikke har verdier

$$\Delta = - \text{dybde til berg}$$

##### ❖ Boringer uten dybde til berg (minste dybde til berg)

- Hvor modellen har verdier

$$\Delta = \text{Høyde} - \text{maksboret lengde} - \text{høyde til modelloverflaten i punktet}$$

- Hvor modellen ikke har verdier

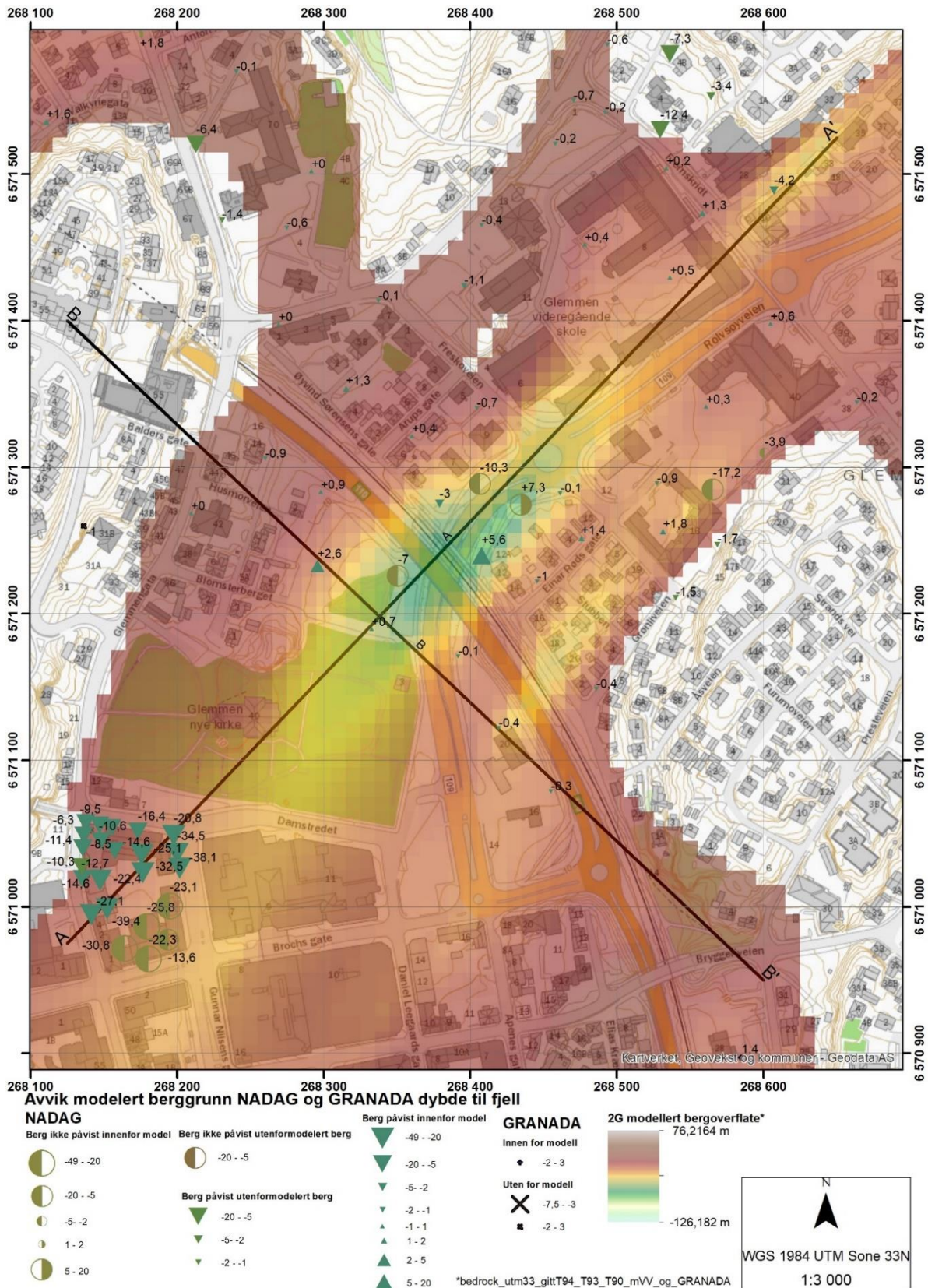
$$\Delta = - \text{maksboret lengde}$$

For boringer hvor differansen er under 0,5 m dybde kan en anta at de fleste av disse har inngått i modellen. For boringer som avviker med mer enn 5 m dybde kan det antas at de ikke er brukt i modellen, enten fordi de er nyere enn modellen, ikke har vært tilgjengelige, eller er valgt bort på grunn av kvalitet. For GRANADA er høyde satt til gjennomsnittet av 1 Digital Terreng Modell (DTM) og 10 m DTM (20 av 186 hadde større forskjell enn 1 m).

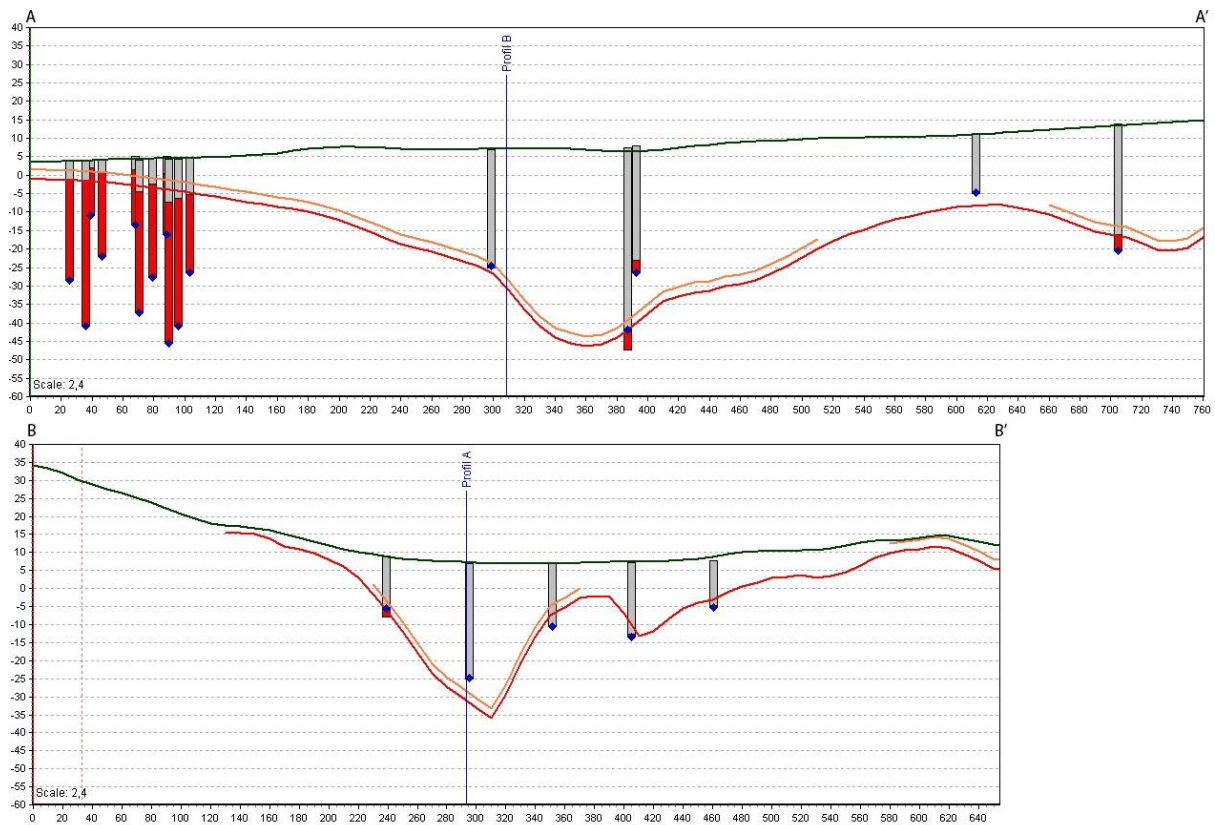
Kart med dybde til berg sammenlignet med modellen (2G) som er antatt å inneholde mest informasjon (bedrock\_utm33\_gittT94\_T93\_T90\_mVV\_og\_GRANADA) med NADAG- og GRANADA-avvik til bergoverflate er vist i figur 15. Avviket er angitt med + der modellen ligger lavere enn punktene fra NADAG og GRANADA og visa versa.

Figurene 15 og 16 viser at modellen avviker betydelig fra boringer i NADAG i området sør for Glemmen nye kirke, tverrsnitt A-A'. I området Rolvsøy veien-St Olavs gate, tverrsnitt B-B', innenfor dette kartutsnittet er det ganske god overensstemmelse. Dette er videre illustrert med de to profilene vist nedenfor A-A' og B-B' i Figur 16. Profillinjene er angitt på kartet i Figur 15. Avviket mellom modellen til 2G og dataene NGU har sammenstilt er vist med rød farge i A-A' i Figur 16, hvor området sørvest for Glemmen nye kirke har betraktelig større dyp til fjell enn hva som fremgår i 2Gs modell. Andre mindre avvik forekommer også (Figur 16). Profillinjene har inkludert datapunkt som ligger innen 25 meter på hver side av linjen A-A' og B-B' (Figur 15).





Figur 15. Modellert berggrunnsoverflate fra 2G-modellen (benevnt *bedrock\_utm33\_gittT94\_T93\_T90\_mVV\_og\_GRANADA*) sammenlignet med NADAG-boringer som er indikert med halvsirkler og trekanted samt GRANADA-brønner med kryss. De svarte linjene A-A' og B-B' er tverrsnitt vist i figur 16. Tallene i kartet viser avvik angitt i meter mellom dyp til fjell i 2Gs modell og dyp til fjell gitt i datapunkt fra NADAG eller GRANADA, som er åpne databaser hos NGU.



Figur 16. I profilene A-A' og B-B' er borerer inkludert innenfor 25 meter fra linjene vist i figur 15. Rød linje: fjelloverflate 2G modell\*, oransje linje: øverste grense til antatt overliggende grove løsmasser fra 2G modellen. NADAG-borerer er vist som stolper hvor grå angir løsmasser over avvik fra modellen mens rød angir avvik fra 2G-modellen. Bergoverflata fra borepunktene er angitt med blått.

## 5. Hydrogeologi

### 5.1 Løsmasser og poretrykksforhold

I Glemmenområdet er det over korte avstander registrert store variasjoner i dyp til berg. I tillegg ligger leira noen steder tilsynelatende rett på berget, mens andre steder er det registrert tykke grove avsetninger mellom leira og berg. Ifølge illustrasjonen i 2G sin rapport, er det heller ikke et sammenhengende grovt lag over berg (fig. 32 i 2G (2019)). NB: se kommentar om denne figuren i kap. 4.3.). Dette gir kompliserte poretrykksforhold.

2G gir en oversikt over nye poretrykksmålinger, men nevner også noen av de eldre (2G, 2019). I tillegg ble det i 1991 målt poretrykk i to borehull ved politistasjonen, og begge viste hydrostatiske forhold (grunnvannsnivået lå 0,7 m og 1,1 m under terreng, Noteby (1991)). Ved disse målepunktene var det stort sett registrert leire ned til berg (på 30-35 m dyp). Ut fra de utførte poretrykksmålingene ser det ikke ut til å være noen sammenheng mellom registrerte artesiske eller hydrostatiske trykkforhold, og om leira ligger på grove løsmasser eller direkte på berggrunnen. De to interne nivåene i målingene med artesiske poretrykk (SS-1040 og SS-1051) kommuniserer ikke, mens det gjør målingene med hydrostatisk trykk (SS-1057, SS-1068 og SS-1094), (2G 2019). Hvor mye poretrykket påvirkes av nedbør ser ut til å korrespondere med avstand til bergoverflaten. Dette er naturlig siden det de fleste stedene er registrert grove masser under leira nært berg i dagen, og dermed kortere avstand til mating fra grunnvann i berget.

Som tidligere nevnt er det vanskelig å følge de grove lagene som noen få steder finnes i leira. Det er likevel viktig å være oppmerksom på grovere lag i leira som kan stå i hydraulisk kontakt med oppsprukken berggrunn i dalsiden. Her kan det bygges opp poretrykk i løsmassene, slik det registreres i SS-1051. Den dypeste poretrykksmåleren her er plassert rett over berg (tolket fra totalsondering).

Høyt poretrykk er også viktig å være oppmerksom på med tanke på belastning på kvikkleire. Spunting/peling inkludert spyling og kalksementpeling øker poretrykket. Dette kan igjen føre til kollaps av kvikkleira, og dersom det i tillegg er poreovertrykk fra før, skal det potensielt lite ekstra trykkoppbygging til før brudd vil oppstå.

Samtidig, i et område med leire som har så høyt vanninnhold som leira ved Glemmen har, vil en senkning av poretrykk også være et problem. Området har allerede mye setninger, noe som vil kunne øke ved drenering. Man kan unngå setningsskader på ny jernbanestasjon og nye høyhus som pelefunderes. Derimot er det ikke ofte tilknyttet infrastruktur (kulverter, ledninger, rør o.l.) blir pelefunderert, og ved strekk/brudd i disse er skadepotensialet stort.

Med varierende, men til dels store dyp til berg (sammenlignet med kort avstand til berg i dagen på hver side av dalen), og med grove masser under kompressibel, men tett leire, gir dette et potensiale for store, langtidsvirkende setninger. Også gamle geotekniske rapporter understreker at leira «er sterkt kompressibel og vil gi store setninger ved belastning» og at man må «i størst mulig grad unngå å påføre grunnen tilleggs-laster» (NGI 1964; SVV 1973). Ødometerforsøk viser at leira er lite permeabel og med lav setningshastighet, noe som betyr at selv om det er lite setninger per år, vil de pågå over lang tid (et stort antall tiår) (SVV 1973).

SVV (1980a, 1984) sannsynliggjør at en sondering i 1965 førte til en utstrømming i området rett sør for Steffensjordet-bruene, omtalt som «Utstrømming S». Dette er den delen av Glemmenområdet hvor det er dypest til berg. Området er som en «gryte» hvor det  $\pm$  10 m grove masser over berg. Sonderingen

fra 1965 var 51 m dyp og gikk trolig ned i de grove massene (sammenlignet med sondering SS-1040). Leira ligger som et lokk over gryta med de grove massene, og har bare enkelte tynne siltlag og sandlommer. De artesiske forholdene her skyldes trolig gryteformen på berget, med oppadgående grunnvannsstrømmer. Siden de grove massene i bunnen av gryta ikke ser ut til å kommunisere med de grove massene over berg i nærheten, foregår grunnvannsmatingen trolig via sprekker i berget (fig. 32 i 2G (2019) – denne figuren er som tidligere nevnt ikke helt riktig, men viser prinsippet). En liten terskel i berget ligger litt sør for Steffensjordet-bruene, før berget stuper bratt ned mot Vesterelva. Boringene ved politistasjonen antyder at det er lite grove masser under leira, men ellers kjennes det ikke til boredata fra denne delen av Glemmen.

2G oppsummerer at «poretrykksmålerne på vestsiden av Rolvsøyveien ser ut til å være påvirket av nedbør mens dette i liten grad er tilfelle for målepunktene på østsiden av veien. Mer bevegelse i grunnvannet på vestsiden av veien, noe som igjen indikerer tilstedeværelse av et eller flere vannførende lag og lukkede akviferer» (2G 2019). Siden det er så store variasjoner i dyp til berg og vannførende lag (spesielt grove masser over berg), er det for lite målepunkter til å trekke for mange konklusjoner angående dette. F.eks. er SS-1040 (sør for Steffensjordet-bruene) dyp (minst 48 m til berg), har grove masser over berg og artesiske trykk. SS-1068 (nord for Steffensjordet-bruene) ligger knapt 100 vest for denne, er grunnere (ca. 15 m til berg), leira ligger rett på berget og har hydrostatisk trykk. Nye data fra 2018 ser ut til først å være med under «Vurderinger» i 2G sin rapport (2G 2019). Data om poretrykk burde blitt presentert samlet, for så å gjøre vurderinger.

## 5.2 Nedbørsfelt og nydannelse av grunnvann

Løsmassene i dalen fra Steffensjordet og nordover langs Rolvsøyveien har ut fra topografiske forhold et relativt lite nedbørsfelt, der størstedelen ligger i fjellryggene på øst- og vestsiden av dalen. Det forventes at den massive og lite oppsprukne granittiske fjellgrunnen i dette område gir stor overflateavrenning, og kun en liten del av nedbøren vil infiltrere ned i grunnen og bidra til dannelse av grunnvann. Infiltrasjon av nedbør og overflatevann ned i løsmassene i dette området vil også være minimal som følge av det høye leirinnholdet. Det er av disse naturgitte forholdene liten tilførsel av overflatevann til undergrunnen og liten utskifting av grunnvann i løsmassene i området.

Som følge av liten naturlig grunnvannsdannelse kan selv mindre lokale endringer i vannbalansen i nedbørsfeltet gjennom blant annet nedbygningen og aktiv overflatevannshåndtering føre til endringer i grunnvannsnivå og poretrykk i sedimentene og i omliggende fjellgrunn. Erfaringer fra vannbalansestudier i urbane områder viser at nedbygning av områder normalt fører til senkning i grunnvannsnivået i underliggende løsmasser og fjellgrunn som følge av utbygging og utbredelse av tette flater.

Ser en på Glemmenområdet er potensialet for endringer i vannbalansen betydelig, da området for det meste er nedbygd. Det foreligger ikke noen målinger av grunnvannsnivå i fjellgrunnen i dette området, men historiske observasjoner av tidligere kilder langs llaveien i overgangen mellom løsmasser og fjell (pers.med. lokalhistoriker Svein Skahjem 2018), tyder bortfall eller redusert vannføring i disse at grunnvannsnivået i fjellgrunnen i dette området har sunket over tid. En slik senkning i grunnvannsnivået i fjellgrunnen vil igjen føre til endringer i grunnvannsnivå og poretrykk i nærliggende sedimenter som har hydraulisk kontakt med fjellgrunnen.

Lokale forhold kan gi meget god vanngiverevne i fjellgrunnen, som for eks. brønner nr. 99275 og nr. 98216 i Nasjonal grunnvannsdatabase GRANADA med angitt vannføring på hele 50 000-60 000 l/time. Disse veldig høye verdiene for vannføring er trolig korttidskapasitet (blow yield), mens langtidskapasiteten trolig vil være mye lavere. Hvis informasjonen tilgjengelig i GRANADA er riktig, viser dette at det er svært stor variasjon i lokal vannføring i fjellet, noe som kan indikere vannførende enkeltstående sprekker eller soner.

Mektigheten på løsmasser er betydelig i det smale området langs llaveien, noe som gjør området spesielt setningssensitivt ved en eventuell senkning i grunnvannsnivået i nærliggende fjellakvifer. Et annet forhold som kan ha betydning på setningsforløpet i dette området er tidligere utførte dype geotekniske grunnboringer som har penetrert leiravsetningene og står i hydraulisk kontakt med underliggende grovere løsmasser/dypforvitret fjellgrunn med artesisk trykk. Hvis slike grunnboringer ikke tettes forskriftsmessig, vil de over tid kunne påvirke større områder og redusere grunnvannsnivået i fjellgrunnen og poretrykket i overliggende leiravsetninger. Det er tidligere registrert en slik grunnboring med kontinuerlig vannføring i dette området (SVV 1980a), og med en vannkjemisom indikerer drenering av porevann fra marine brakkvannsavsetninger, det vil si gammelt grunnvann (se kap. 0).

### 5.3 Kjemiske analyser av grunnvannsprøve

Kjemiske analyser av vannprøve fra borehull i krysset mellom riksvei 110 og Rolvsøyvegen, viser at vannet er bløtt og forholdsvis saltholdig, og av typen Na-Cl og Na-HCO<sub>3</sub> vann (tabell 4, SVV 1980a).

Det er ingen synlig lineær fortynningsgrad av vannet i forhold til sjøvann. Det er sannsynlig at dette er porevann fra sedimenter avsatt i brakkvann under den marine grense. Porevannet har sannsynligvis fått opprettet en ione-sammensetning som gjenspeiler at det er dannet nye likevekter mellom porevann og sedimenter. Dette indikerer lite bevegelse i eller liten utskifting av grunnvannet.

Tabell 4. Resultater av kjemiske analyser av en vannprøve fra borehull i krysset mellom riksvei 110 og Rolvsøyvegen, Fredrikstad (SVV 1980a, Bilag 2, side 1 (vannanalyse). Multiplikasjonsfaktor er forholdet mellom konsentrasjonsverdiene i gjennomsnittlig sjøvann og tilsvarende verdier målt i grunnvannsprøven.

Parameter	Enhet	Måleresultat	Sjøvann	Multiplikasjonsfaktor
pH		7,6		-
Konduktivitet	µS/cm	891		-
Turbiditet	NTN	4,8		-
Organisk karbon	mg/L	2,1		-
Alkalitet	ml 0,1N HCl/L	36,0		-
Bikarbonat	mg/L	220		-
Klorid	mg/L	172	18980	110x
Sulfat	mg/L	31	2649	85x
Fosfat (orto)	mg/L	0,071		-
Kalsium	mg/L	24,1	400	17x
Magnesium	mg/L	8,95	1272	141x
Natrium	mg/L	142	10556	74x
Kalium	mg/L	8,99	380	42x

## 6. Setningsmålinger

Setningsmålinger utført både på bakkenivå og fra satellitter er benyttet i det følgende. Satellittbaserte setningsmålinger omfatter analyse og tolkning av data fra InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), fra satellittene Sentinel-1 og ERS. Dataene, der det er blitt brukt data gjennom hele året, er prosessert og gjort tilgjengelige av NGU. Disse tidsseriene er videre supplert med fysiske setningsmålinger på bakken utført av og for Statens vegvesen.

I samarbeid med Norsk Romsenter og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), er Copernicus Sentinel-1 data tilgjengelige gjennom «InSAR Norge» (<https://insar.ngu.no/>). I motsetning til data brukt i denne rapporten, inneholder denne karttjenesten kun data som er innhentet gjennom den snøfrie delen av året (juni-oktober).

I det følgende er fysiske setningsmålinger fra 1978 fram til 2018 og satellittbaserte setningsmålinger fra 1993 til 2000, og fra januar 2016 til oktober 2018 sammenstilt:

- InSAR-analyse av tidsserier fra Sentinel-1 og ERS satellitter med fokus på utsatte områder med total bevegelse over tidsrommet 1993 til 2018.
- Tidsserier med ERS data 1993-2000 på spesielle punkter av interesse. Her er spesielle punkt valgt ut som viser bevegelse og historisk utvikling av setning av grunnen.
- Setningsforløpet i punktene settes om mulig i sammenheng med inngrep i undergrunnen, som konstruksjoner eller borepunkt som er kjent for Statens vegvesen/Bane NOR.

### 6.1 InSAR

#### 6.1.1 Tilgjengelige InSAR-data i undersøkelsesområdet

I det undersøkte området har ERS-satellitten samlet inn data hver 24. dag i perioden 1993-2000, mens Sentinel-1 -satellitten har samlet inn nye data hver 12. til hver 6. dag i perioden juni 2016 til oktober 2018. ERS har også en lavere romlig oppløsning enn Sentinel-1 og gir følgelig betydelig færre datapunkter enn Sentinel-1. Sentinel-1 gir dermed et langt bedre datagrunnlag enn tidligere data fra ERS (Figur 17 og Figur 19).

Tabell 5. Grunnlaget for arbeidet med InSAR-data.

Satellitt	Oppløsning	Retning	Tidsperiode	Antall bilder
ERS	25 m x 25m	Descending	1993-2000	49
Sentinel-1	20 m x 5m	Descending	Juni 2016- november 2018	130

«Retning» angitt i Tabell 5 viser at satellitten flyr fra nord til sør (descending), som betyr at bildene er tatt mot vest. I dette prosjektet, der man er interessert i vertikal setning, har retningen på satellitten liten betydning. I all hovedsak er deformasjonsmønsteret i ascending- og descending-modus sammenfallende for Sentinel-1-målingene. Dette støtter opp registreringene som viser at området er preget av rent vertikale setninger. For ERS er bare descending-data tilgjengelig, og det er av den grunn valgt å bruke kun descending-data i dette prosjektet.

### 6.1.2 InSAR-prosessering

Dataene er prosessert med PSI (Persistent Scatterer Interferometry, Ferretti m.fl., 2001). Metoden utnytter små og tydelige reflektorer, som hustak, brostein, konstruksjoner og andre harde flater, og fungerer derfor godt i urbane områder. Vegetasjon gir ingen eller dårlige data så park- og skogsområder med mye vegetasjon har et lite datagrunnlag. For både ERS og Sentinel-1 er det blitt brukt scener gjennom hele året siden Fredrikstad normalt har lite snø om vinteren.

### 6.1.3 InSAR-resultater

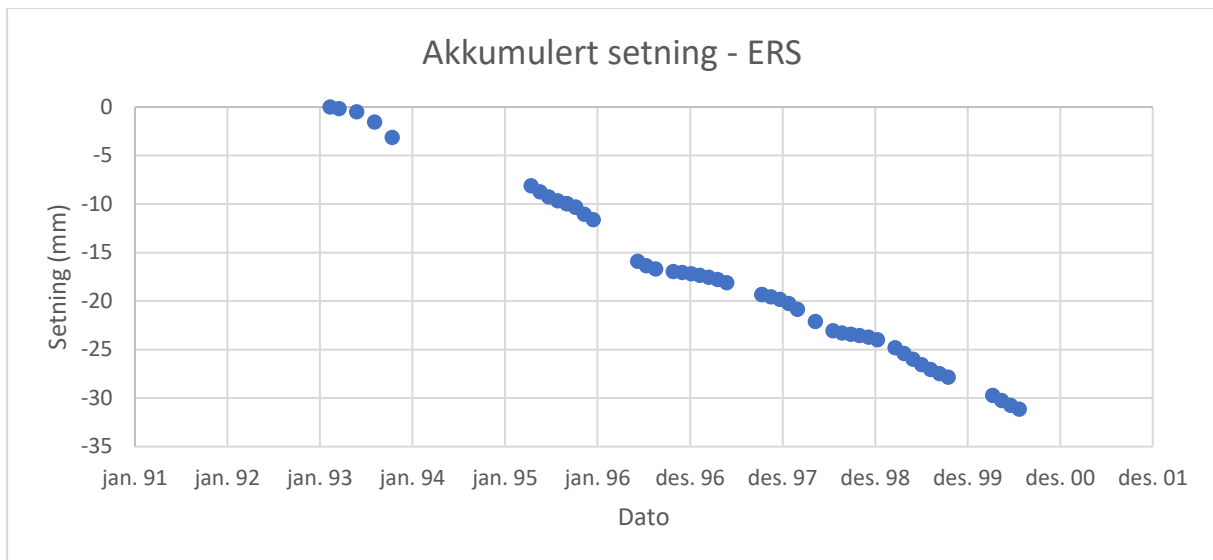
Setningene som vises på InSAR strekker seg mer eller mindre langs hele Rolvsøyveien fra Glemmen og til Gamle Glemmen kirke. Men også i forlengelsen av lineamentet, og i parallelle lineament, som over på den andre siden av Vesterelva og langs Oredalsveien, viser data setninger. Setningsproblemene er dermed ikke bare et lokalt problem.

For det undersøkte området, Glemmen og langs Rolvsøyveien, viser ERS-dataene (Figur 17) en langt dårligere punkttetthet enn Sentinel-1 (Figur 19). Likevel gir både ERS og Sentinel-1 en estimert gjennomsnittlig setningshastighet på ca. 4-5 mm/år for perioden 1993-2000 og perioden 2016-2018. Den akkumulerte setningen i perioden 1993-2000 er på ca. 32 mm, basert på ERS data (Figur 18). I perioden 2016-2018 viser det samme området en akkumulert setning på ca. 10 mm basert på Sentinel-1-data (Figur 20). Selv om dekningsgraden og datapunktene er betydelig bedre for Sentinel-1 sammenlignet med ERS-satellitten, viser de to måleseriene i all hovedsak et likt regionalt bevegelsesmønster, der setningene har en betydelig utstrekning langs hele Rolvsøyveien.

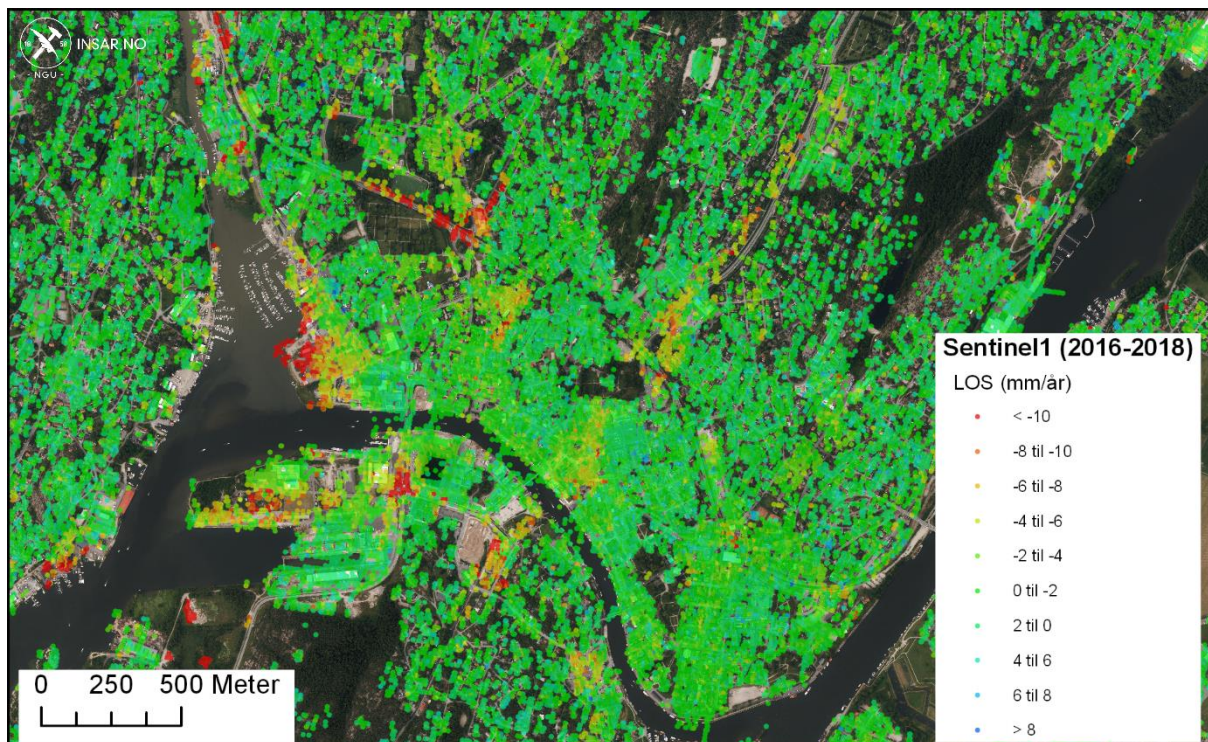


Figur 17. Setningshastighet basert på data fra ERS-satellitten for perioden 1993 til 2000. Setningshastigheten vises i mm/år langs «line-of-sight» (LOS), som er satellittens synsretning.

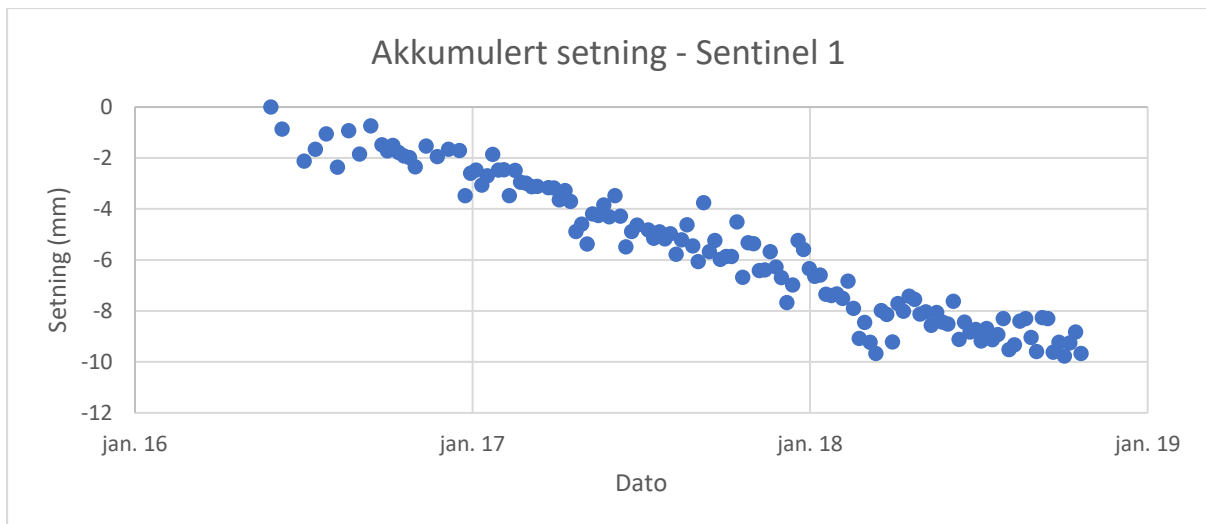




Figur 18. Akkumulert gjennomsnittlig setning i området Glemmen og Rolvsøyveien, basert på data fra ERS-satellitten for perioden 1993-2000.



Figur 19. Setningshastighet i Fredrikstad sentrum basert på data fra Sentinel-1 satellitten for perioden juni 2016 til oktober 2018. Setningshastigheten vises i mm/år langs line-of-sight (LOS), som er satellittens synsretning.

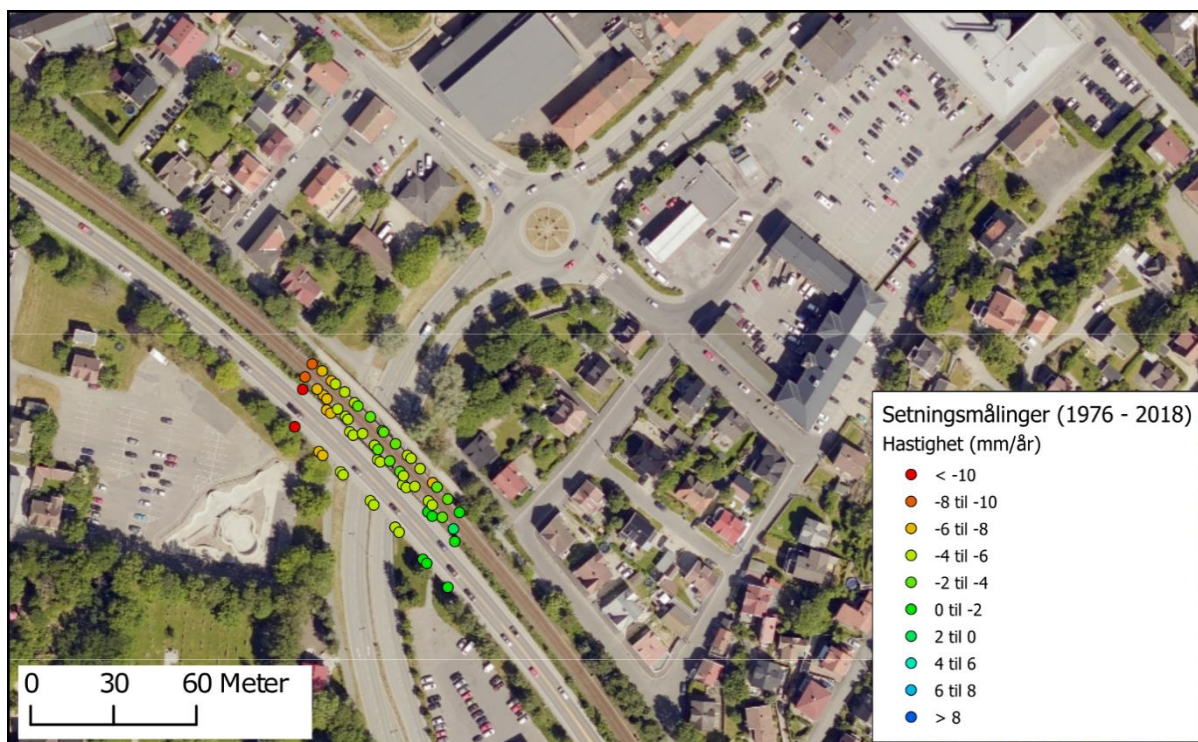


Figur 20. Akkumulert gjennomsnittlig setning i området Glemmen og Rolvsøyveien basert på data fra Sentinel 1-satellitten for perioden 2016-2018.

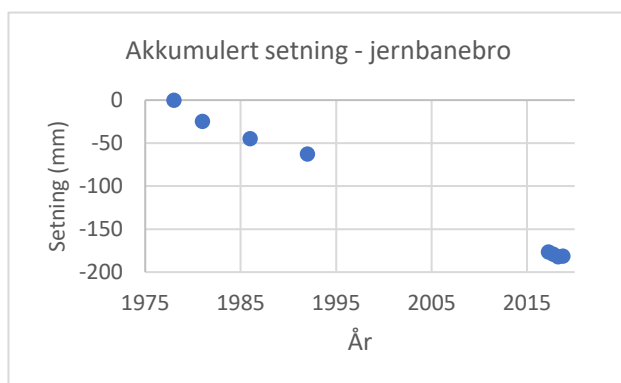
## 6.2 «Fysiske» setningsmålinger på bakkenivå

I perioden 1976 fram til 2018 ble det gjort nivellering av 24 punkter på veibroen og 36 punkter på jernbanebroen som begge går over Rolvsøyveien (F109). Figur 21 viser gjennomsnittlig setningshastighet over måleserien for disse punktene. Fra 1978 til 2018 har setningene på jernbanebroen vært på 182 mm (Figur 22), mens fra 1976 til 2005 har total setning på veibroen vært på 122 mm (Figur 23) (TerraTec 2018).

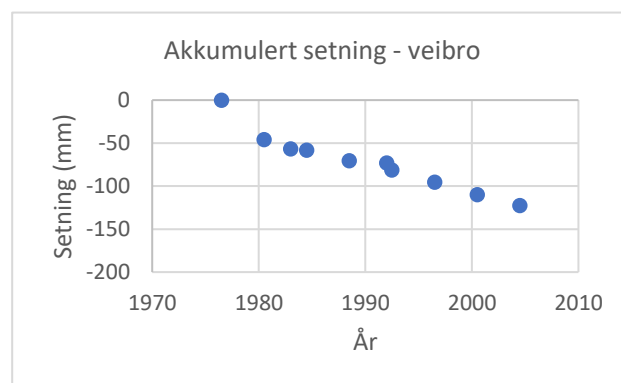
Bruene har en akse (landkar i akse 1) på fjell som har stått i ro mens de resterende aksene på friksjonspeler i leira setter seg. Dette gir en omfordeling av egen-lasten til brua som også vil påvirke setning-utviklingen. Brua "henger" på en akse. Hvis alle aksene sto i leira ville nok setningsfordelingen vært annerledes. Veggen som også setter seg har ikke hatt spesielle setningsproblemer fordi den setter seg mer jevnt (pers. med. E. Gundersen august 2019).



Figur 21. Setningshastighet i perioden 1978 -2018 for veibroen og jernbanebroen over Rolvsøyveien. Data fra TerraTec (2018).



Figur 22. Akkumulert setning i perioden 1976 til 2018 for jernbanebroen.

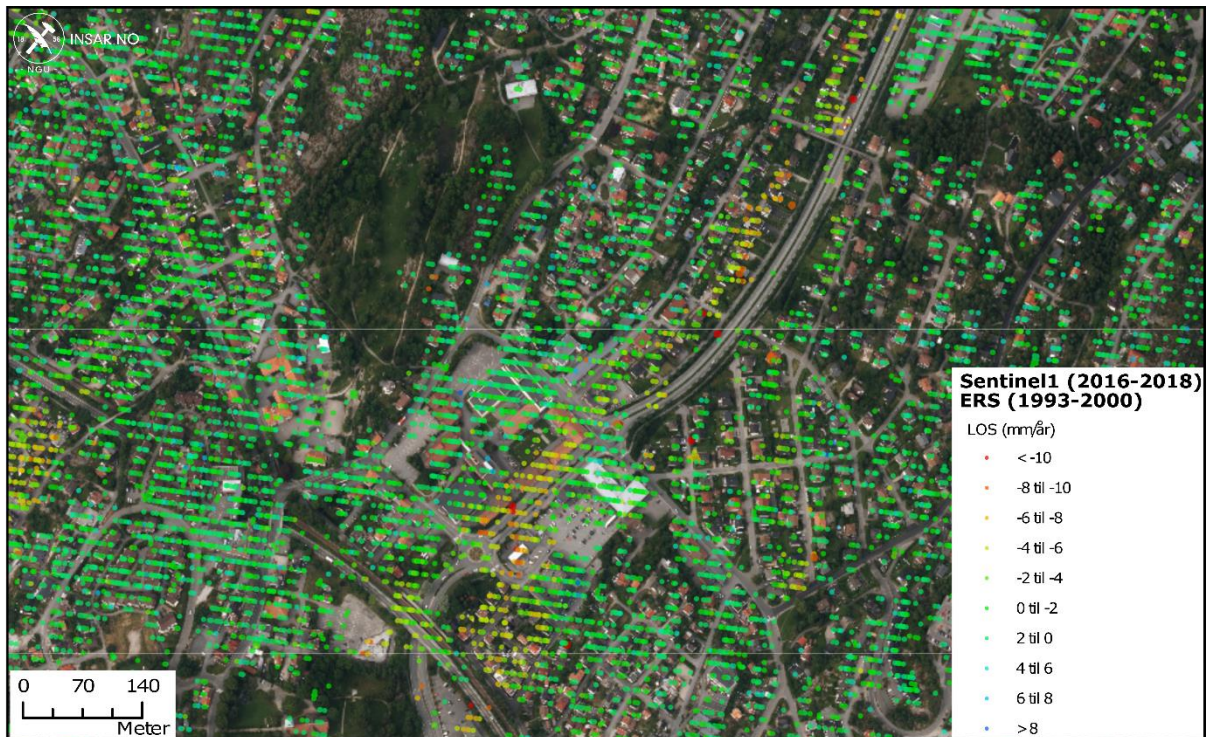


Figur 23. Akkumulert setning i perioden 1976 til 2005 for veibroen.

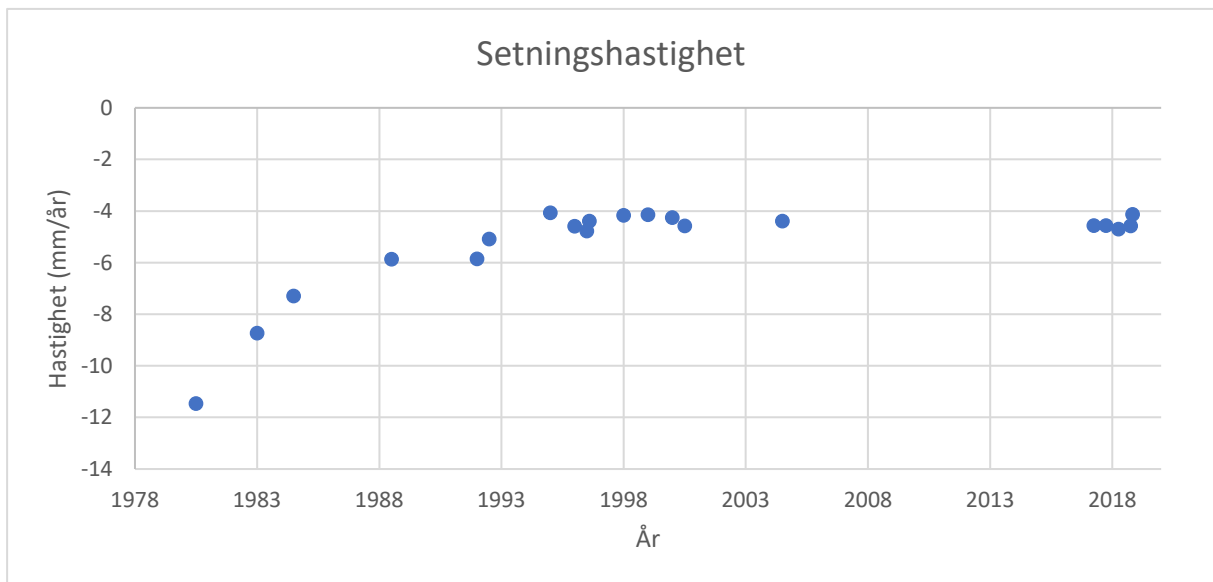
### 6.3 Tolkning av setninger

En sammenstilling av setningshastigheten basert på data fra ERS og Sentinel-1, samt manuelle innmålinger av fysiske målepunkter fra veibroen over Rolvsøyveien, viser en høyere setningshastighet i tidsseriens begynnelse i 1978 og fram til ca. 1990. I perioden fra ca. 1990 og fram mot 2018 registreres det en tilnærmet konstant setningshastighet på veibroen på ca. 4-5 mm/år. Setningsforløpet målt på broen er ikke nødvendigvis identisk med omkringliggende setninger i terrenget, men det kan se ut som utbyggingen og inngrep i grunnen på 1970- og 1980-tallet førte til en noe høyere setningshastighet de første årene etter terrenginngrepene, sammenliknet med etterfølgende år (Figur 25). Beregning av

forventet setning er beskrevet i SVV-218 A nr.1 (1973) som ble skrevet rett før bygging av bruene på Steffensjordet.



Figur 24. Sammenstilling av ERS- og Sentinel-1-data i området rundt Glemmen og Rolvsøyveien.

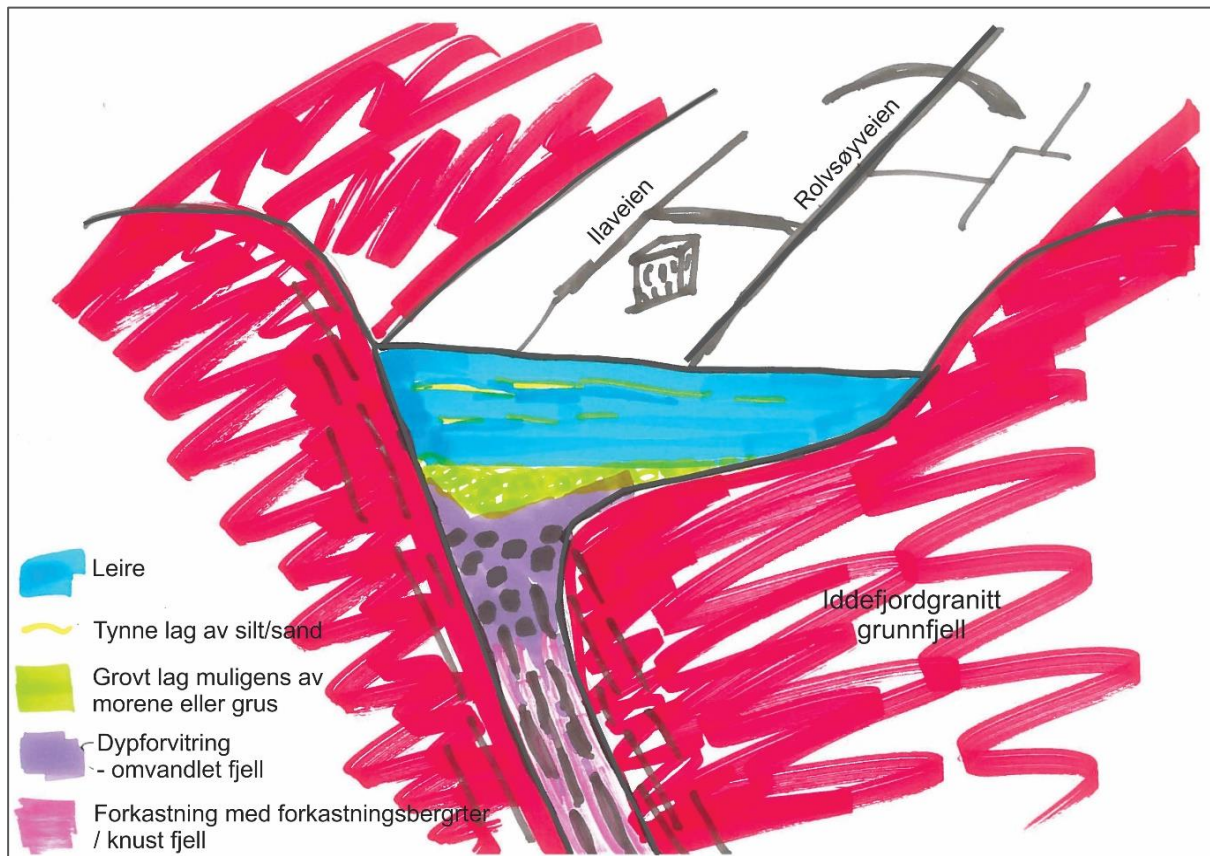


Figur 25. Setningshastighet for Rolvsøyveien veibro i tidsrommet 1978 til 2018 baser på manuelle innmålinger, samt ERS og Sentinel-1

## 7. Oppsummering

Området i og rundt Fredrikstad har komplekse grunnforhold med setningssensitiv leire med stedvis stor tykkelse i løsmassefylte dalganger. Relieffet på berget er preget av gamle forkastnings- og/eller bruddsoner, og har sannsynligvis vært utsatt for dypforvitring der mye av fjellet er omdannet til leirmineraler. Dette gir utfordringer ved etablering av ny infrastruktur og bygg, der det også må tas hensyn til skadepotensiale på eksisterende bebyggelse og infrastruktur i utbyggingsområder.

Komplekse grunnforhold i området, med stedvis tykke leiravsetninger i hydraulisk kontakt med oppsprukken fjellgrunn og vannførende løsmasser, skaper stedvis stort setningspotensial (Figur 26). Setningsforløpet som registreres i dag i dette området kan ses på som en kombinasjon av naturlig setningsutvikling forsterket av menneskeskapt endringer i de hydrologiske forholdene gjennom aktiv overvannshåndtering og inngrep i undergrunnen. Som 2G også påpeker i sin rapport «Fagrapport hydrogeologi Grønli» er det en tydelig korrelasjon mellom setningshastighet og sedimentmektighet (2G 2019). Dette kan forklares med stedvis stor mektighet av leire med høyt vanninnhold og følgelig stort potensial for setninger.



Figur 26. Skjematisk tverrsnitt av geologien i dypet. Dette er en tolkning som må verifiseres med ny kartlegging, blant annet med refraksjonsseismikk.

Noen få steder finnes grove lag i leira, men den laterale utbredelsen til disse er vanskelig å følge ut fra tilgjengelige grunnboringsdata. Det er likevel viktig å være oppmerksom på grove lag som mates fra fjellgrunnen i en dalside, og som strekker seg inn i leiravsetningene. I disse grovkornede lagene kan

det bygges opp poretrykk. Høyt poretrykk er også viktig å være oppmerksom på med tanke på belastning av kvikkleire ved spunting/peling og kalksementpeling. Dersom det i tillegg er registrert poreovertrykk fra før skal det potensielt lite ekstra trykkoppbygging til før kvikkleira kollapse.

Samtidig, gitt det høye vanninnholdet i leira i Glemmenområdet, vil en senkning av poretrykk også være et problem. Området har allerede pågående setninger og disse vil kunne øke ved økt drenering. Man kan unngå setningsskader på ny jernbanestasjon og nye høyhus som pelefunderes. Problemet er når tilknyttet infrastruktur (kulverter, ledninger, rør o.l.) ikke er pelefunderert; ved strekk/brudd i disse er skadepotensialet stort.

Ved Glemmen er det kort avstand til berg i dagen på begge sider av dalen, men likevel varierende, og til dels store dyp til berg. Dette, sammen med grove masser under kompressibel, men tett leire, gir potensiale for store, langtidsvirkende setninger. Også gamle geotekniske rapporter fra området understreker at leira «er sterkt kompressibel og vil gi store setninger ved belastning» og at man må «i størst mulig grad unngå å påføre grunnen tilleggslast» (NGI 1964; SVV 1973).

Basert på datagrunnlaget som foreligger, vises omfattende setninger langs hele Rolvsøyveien. En må forvente en lignende setningsutvikling ved nye, større terrenginngrep i samme område (Figur 18 og 20). Dette kan innebære økt setningshastighet under selve konstruksjonsfasen og i påfølgende år. Over tid kan det forventes at setningshastigheten vil avta og stabiliseres til en tilnærmet konstant setningsrate. Setningene vil trolig ikke stanse i overskuelig framtid, så det bør derfor ved enhver ny utbygging tas høyde for lignende kontinuerlige setninger i dette området.

Data benyttet i dette studiet gir ikke grunnlag for å sette det registrerte setningsforløpet i Glemmenområdet i sammenheng med etablering av borehull eller andre inngrep i undergrunnen. Datasetsene gir likevel en god oversikt over det regionale setningsforløpet. Skader på bygg og infrastruktur som ikke er fundamentert til fast grunn (fjell) må derfor forventes i fremtiden. Dette gjelder spesielt konstruksjoner som er forankret delvis i fast fjell og delvis i løsmasser, som vil kunne få skader på grunn av differensielle setninger. En vil særlig få problemer i med kabler, rør og lignende i overgangen mellom konstruksjoner som er dels fast forankret og dels forankret på løsmasser. Framover, med tilgang til stadig nye Sentinel-1-data på [www.insar.no](http://www.insar.no), vil en ha mulighet til å følge med på setningsutviklingen i området.

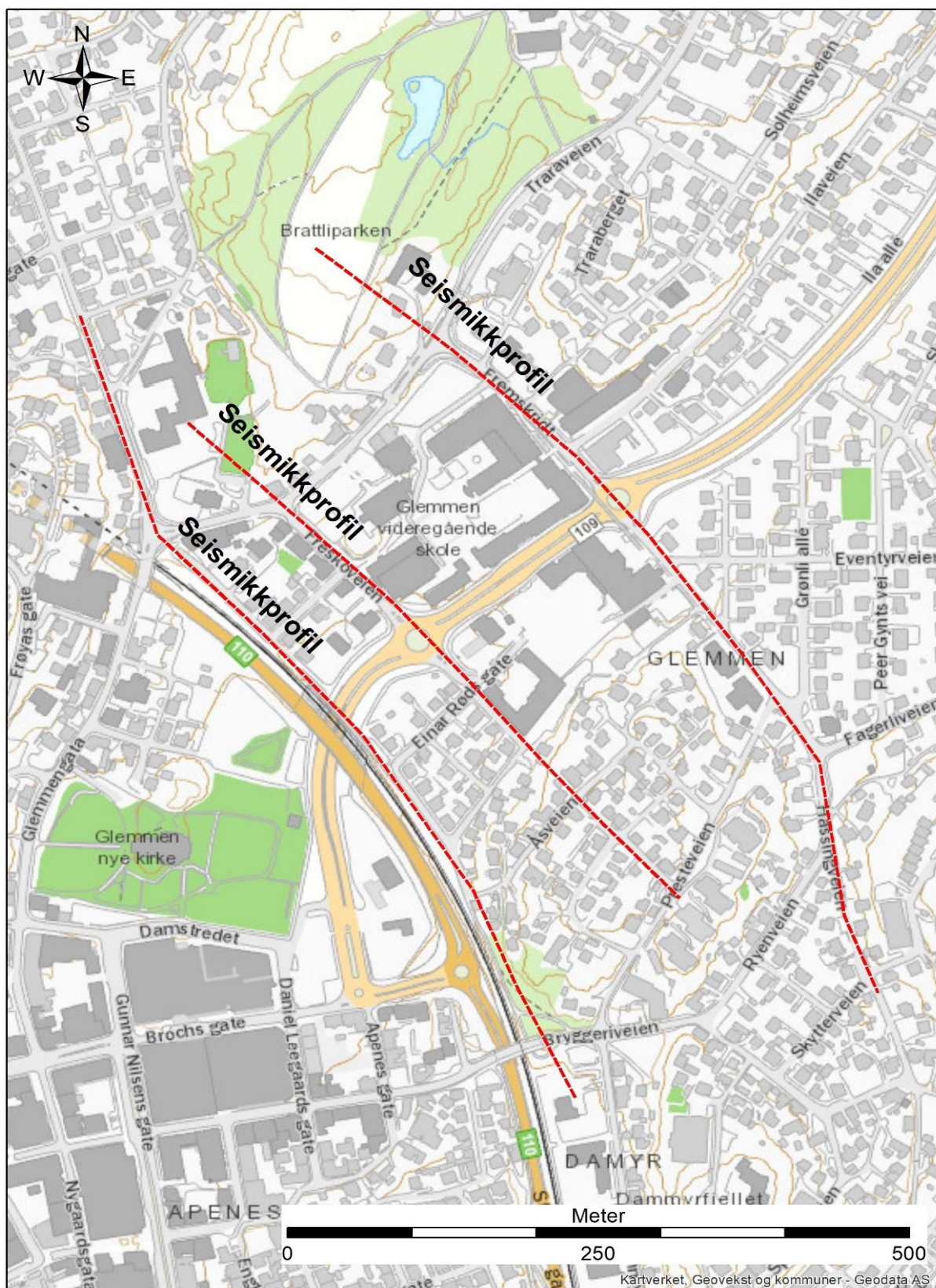
Nyetablering er mulig å gjennomføre, men løsningene må ta hensyn til komplekse grunnforhold og iberegne tilleggskostnader for dette. Ved inngrep kan setningen av grunnen øke, noe som kan gi økt skade på eldre bygg, med størst skade der differensialsetning (ulik setning) kan forekomme.

## 8. Anbefalinger for oppfølging

- På grunn av de geologiske forholdene, med et tykt lag av leire og manglende data og kunnskap om vannføringsegenskapene til sedimenter og fjellgrunn, er det komplisert å injisere vann i fjellgrunnen/forvittringslaget under løsmassene eller i fjellryggene på siden av dalen for å øke/opprettholde poretrykket i leira. Kontinuerlig injisering av vann i grunnen er en løsning som ikke er foretrukket av SVV og Bane Nor, siden det vil påkrevne løpende kostnader og vedlikehold. Derfor vil vi ikke komme med noen vurdering for tiltak for å opprettholde grunnvannsstand/poretrykk under og etter byggefase for å begrense endring og skade på eksisterende infrastruktur og bebyggelse, som tidligere har vært diskutert.
- Med stedvis stor mektighet på setningssensitiv leire over grove løsmasser gir dette potensiale for store, langtidsvirkende setninger. Det må følgelig påregnes setninger ved bygging av ny infrastruktur i Glemmenområdet. Dette gjelder også områder med etablert bebyggelse og infrastruktur, hvor økte setninger vil kunne føre til ekstra kostnader ved forebygging/reparasjon av skade ol.
- Det anbefales at setningsutviklingen i området overvåkes før, under og etter anleggsfasen. Med stabil innsamling av data hver 6. dag fra Sentinel-1 kan utvikling av setning i grunnen overvåkes gjennom sommermånedene (juni-oktober). Denne datafangsten ble startet høst 2015 med satellitt Sentinel-1 som innhenter data over Norge hver 6. dag via Copernicus Programmet og Norwegian Ground Motion Service. Disse dataene er åpne og gratis tilgjengelig via [www.insar.no](http://www.insar.no) og vil være et nyttig verktøy til å overvåke setninger i grunnen fremover.
- Hvis det er mulig, bør det utføres kjerneboring for påvisning av løsmassesammensetningen mot dypet og mulig dypforvitring i forkasting- og/eller bruddsone. Dette vil også gi informasjon om hydraulisk konduktivitet i løsmassene.
- Ca. 2,6 km vest for Glemmen ligger testområder for bløt leire; NGTS Onsøy testfelt og de historiske Onsøy testområdene. Disse testområdene ser ut til å ha hatt sammenlignbare avsetningsforhold som ved Glemmen/Rolvsøyveien. Det gjøres ofte omfattende og mange ulike undersøkelser i testfelt, og det anbefales derfor at rapporter og artikler fra disse studeres og sammenlignes med data fra Glemmen.
- Ved eventuelle nye geotekniske boringer bør man vurdere om det er mulig å kartlegge den laterale utbredelsen til de grove lagene som registreres i leira i noen av grunnboringene. Man bør være spesielt oppmerksom på grove lag som kan stå i hydraulisk kontakt med fjellgrunnen og som kan gi poretrykksoppbygning i leira.
- Det er viktig å være oppmerksom på poretrykksoppbygging i kvikkleire ved spunting/peling og kalksementpeling, da dette kan føre til kollaps av kvikkleira, spesielt i områder hvor det i dag måles poreovertrykk. I 2G sin rapport fra 2019 ser det ut til at nye poretrykksdata fra 2018 først er inkludert i «Vurderinger». Data om poretrykk burde presenteres samlet, for så å gjøre vurderinger.
- I et område med leire som har så høyt vanninnhold som ved Glemmen, vil en senkning av poretrykk også være et problem. Det registreres allerede omfattende setninger i området, som vil bli forsterket ved økt drenering i området. Selv om en ny stasjon og nye høyhus pelefundamenteres, vil man kunne få problemer med infrastruktur som knyttes til disse, som ikke er pelefundamentert (kulverter, ledninger, rør o.l.).

- Seismikk for kartlegging av fjelloverflate og dypforvittringszone:
  - NGU anbefaler å få bedre kontroll på dyp til fjell og fjellkontakt, spesielt i området for planlagt stasjonsområde. Den geofysiske metoden som egner seg best til dette er refraksjonsseismikk utført med ikke-destruktiv energikilde. Denne metoden vil kunne gi fjellkontakt samt bredden på svakhetssonen som er indikert i dalføret. Dette vil gi støtte til valg av konstruksjoner, plassering av disse, og mer presisjon for planlegging av spunt ol. Metoden vil også gi seismisk hastighet i undergrunnen som bla. kan benyttes til å anslå fjellkvalitet. NGU anbefaler lange geofysisk profil og med kort avstand mellom geofonene (max. 5 m). For å få god datakvalitet med hensyn til forhold mellom geofon- og skuddavstand, bør det være 1/3 forhold mellom skuddsalve og geofonavstand, det vil si med 5 m geofonavstand skulle skuddavstand ikke være større enn 15 m. Flere profiler vil gi en bedre forståelse av grunnen i dalsonene, så det anbefales minst to parallelle profiler med noe avstand imellom. Plasseringen bør også planlegges i forhold til hvor det finnes eksisterende grunnboringer, slik at data kan sammenlignes.
  - Med flere parallelle seismikkprofiler vil en kunne kartlegge dyp til fjell, orientering og bredde av antatt sprekkesoner i fjellgrunnen samt tykkelse på sedimentlagene over fjell (Figur 27).
  - For mer informasjon om oppbyggingen av løsmasselagene kan refraksjonsseismikk være aktuelt, men denne metoden er mindre egnet for kartlegging av svakhetssoner i fjellet (den indikerte dypforvittringssonen under løsmassene).
  - NGU har dessverre ikke tilstrekkelig utstyr for å gjøre slike målinger i bebygget område. I tillegg vil NGU komme i konkurransekonflikt med kommersielle selskaper. NGU kan anbefale GeoPhysics, GeoMap og Rambøll for slikt arbeid. NGU kan prosessere og tolke dataene hvis oppdragsgiver ønsker det.
  - Metoden 2D resistivitet har vist seg å gi dårlig resultat i tettbebygde strøk der det er mye tekniske anlegg i bakken. Tidligere arbeid utført på Ekeberg i forbindelse med Follo-banen er et eksempel på dette (Saintot m.fl. 2011). Vi er derfor i tvil om 2D resistivitet vil kunne gi noe merverdi for det aktuelle området i Fredrikstad. Dersom dette likevel utføres, anbefales det å bruke 2 m og 5 m elektrodeavstand, og tilstrekkelig lange profiler. Kryssende profiler vil også være en fordel, og noen av profilene bør legges i samme linjer som de seismiske profilene. Nye geotekniske undersøkelser bør i så fall inkludere RCPTU og måling av saltinnhold i porevannet ved opptak av uforstyrrede prøver til laboratorietesting, slik at data kan sammenlignes.





Figur 27. Forslag til plassering av seismikkprofil for å kartlegge dyp til fjell samt beliggenhet, orientering, bredde og fjellkvalitet på antatt sprekkesonen som utgjør dalen. Stiplede røde linjer er forslag til profilplassering.

## 9. Referanser












- 2G 2019: InterCity-prosjektet. Østfoldbanen, Fredrikstad-Sarpsborg. Fagrapport hydrogeologi Grønli. 2G (COWI og Multiconsult) rapport ICP-16-A-25125, rev. 01A, rapportdato 22.02.2019.
- Andersen, B.G. & Borns, H. W. 1994. The Ice Age World. Scandinavian University Press. (ISBN 82-00-21810-4) 208 s.
- Banks, D. & Rohr-Torp, E. 1991: Hvaler-prosjekt: Grunnvann i fast fjell. Sprekkekartlegging i Iddefjord-Granitten. NGU-rapport 91.214
- Bargel, T.H. 2005: Spor etter istiden i Oslo og Akershus. Norges geologiske undersøkelse, Gråsteinen 10, 142 s.
- Berthelsen, A., Olerud, S., Sigmond, E.M.O. og Sundvoll, B.: 1996: Oslo. Berggrunnskart – M 1:250 000, Norges geologiske undersøkelse
- Carstens, H. 2014: Forvitret grunnfjell. <https://www.geo365.no/geoforskning/forvitret-grunnfjell/> [mai 2019]
- COWI 2016: InterCity-prosjektet. Avrop Ø-SS-40 Glemmen i Fredrikstad. Datarapport grunnundersøkelser. COWI rapport ICP-16-V-70008, rev.00A, rapportdato 23.06.2016.
- COWI 2017a: InterCity-prosjektet. Seut-Sarpsborg. Avrop Ø-SS-54 Fredrikstad. Datarapport grunnundersøkelser. COWI rapport ICP-16-V-70012, rev.01A, rapportdato 18.12.2017.
- COWI 2017b: InterCity-prosjektet. Østfoldbanen, Fredrikstad-Sarpsborg. Avrop Ø-SS-52 Fredrikstad. Datarapport grunnundersøkelser. COWI rapport ICP-16-V-70011, rev.00A, rapportdato 28.09.2017.
- Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. 2001: Permanent scatterers InSAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, 8–20
- GRANADA: [https://geo.ngu.no/kart/geologiskarv\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/geologiskarv_mobil/) [mai 2019]
- Gundersen, A.S., Hansen, R.C., Lunne, T., L'Heureux, J.S. & Strandvik, S.O. 2019: Characterization and engineering properties of the NGTS Onsøy soft clay site. AIMS Geosciences 5(3): 665-703, doi: 10.3934/geosci.2019.3.665.
- InSAR Norge 2019. [www.insar.no](http://www.insar.no) [mai 2019]
- Kjærnes, P.A., Robertsen, K. & Bargel, T.H. 1991: Vannsjø 1913 IV. Kvartærgeologisk kart – M 1:50 000 med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse
- Lunne, T., Long, M., Forsberg, C.F. 2003: Characterization and engineering properties of Onsøy clay. Proceedings of Characterisation and Engineering Properties of natural Soils 1: 395-427.
- NADAG: <http://geo.ngu.no/kart/nadag> [mai 2019]
- NASA Global Climate Change 2019: Sealevel Sattellite Data 1993-Present <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> [mai 2019]
- NGI 1964: Grunnundersøkelser for nytt posthus i Fredrikstad. NGI rapport (63/60) 63/15, rapportdato 24.02.1964.
- NGTS (Norwegian Geo-Test Sites): <https://www.ngi.no/eng/Projects/NGTS-Norwegian-Geo-Test-Sites/#About-the-project> [mai 2019]

- Noteby 1991: Nytt politihus i Fredrikstad. Grunnundersøkelser. Geoteknisk datarapport. Noteby rapport 49622 nr. 1, rapportdato 25.01.1991.
- Olesen, O., Dehls, J.F., Ebbing, J., Henriksen, H., Kihle, O. & Lundin, E. 2007: Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning of tunnels. Norwegian Journal of Geology, 87, 253-267.
- Olsen, L. & Riiber, K. 2017: Østfold fylke, kvartærgeologisk kart M 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse
- Olsen, L. & Riiber, K. 2018: Beskrivelse til kvartærgeologisk kart over Østfold fylke i M 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse
- Olsen, L. & Sørensen, E. 1998: Fredrikstad 1913 III Kvartærgeologisk kart – M 1:50 000 med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse
- Pedersen, S. & Maaløe, S. 1990: The Iddefjord granite: geology and age. NGU Bulletin, 417, 55-64.
- Saintot, A., Dalsegg, E. & Rønning, J.S. 2011: Resistivity measurements and structural geology along the railroad tunnel transect Oslo - Ski. NGU Report 2011.004, 143 s.
- SVV 1973: Innfartsåre til Fredrikstad (RV.110). Kryss ved Rolvsøyvegen. Statens vegvesen, Veglaboratoriet, rapport B-218A nr. 1, rapportdato 02.11.1973.
- SVV 1980a: Innfartsåre til Fredrikstad. Kryss ved Rolvsøyvegen. Observasjonsdata. Statens vegvesen, Veglaboratoriet, rapport B-218A nr. 6, rapportdato 20.10.1980.
- SVV 1980b: RV. 109 Yrkesskolen-Råbekken. Hovedplansundersøkelse. Statens vegvesen, Veglaboratoriet, rapport B-248A nr. 2, rapportdato 25.03.1980.
- SVV 1984: Innfartsåre til Fredrikstad. Kryss ved Rolvsøyvegen. Observasjoner. Statens vegvesen, Veglaboratoriet, rapport B-218A nr. 8, rapportdato 08.06.1984.
- SVV 2010: Geoteknikk i veibygging. Statens Vegvesen Håndbok 016.
- Syversen, F.S.G. 2013: En studie av den mineralogiske sammensetningen i norske sensitive leirer. Med et geoteknisk perspektiv. Masteroppgave, Institutt for geofag, UiO.
- TerraTec 2018: Rapport for målearbeider Østfoldbanen vestre linje. 4. gangs setningsnivellelement – Grønli Bru Fredrikstad. TerraTec AS, rapportdato 11.09.2019

## **VEDLEGG**

# Vedlegg 1 Tegnforklaring til kvartærgeologisk kart

## TEGNFORKLARING Legend

	<b>MORENEMATERIALE, SAMMENHENGENDE DEKKE, STEDVIS MED STOR MEKTIGHET</b> Till, continuous cover, locally of great thickness
	<b>RANDMORENERYGG / RANDMORENEBELTE</b> Marginal moraine / zone of marginal moraines
	<b>HAV- OG FJORDAVSETNING, SAMMENHENGENDE DEKKE, OFTE MED STOR MEKTIGHET</b> Marine deposit (excluding shore deposit), continuous cover, often of great thickness
	<b>MARIN STRANDAVSETNING, SAMMENHENGENDE DEKKE</b> Marine shore deposit, continuous cover
	<b>HAV- OG FJORDAVSETNING OG STRANDAVSETNING, USAMMENHENGENDE ELLER TYNT DEKKE OVER BERGGRUNNEN</b> Marine deposit, discontinuous or thin cover on bedrock
	<b>ELVE OG BEKKEAVSETNING (FLUVIAL AVSETNING)</b> Fluvial deposits
	<b>VINDAVSETNING (EOLISK AVSETNING)</b> Eolian deposit
	<b>TORV OG MYR (ORGANISK MATERIALE)</b> Peat and bog (organic material)
	<b>HUMUSDEKKE / TYNT TORVDEKKE OVER BERGGRUNNEN</b> Humus cover or a thin cover of peat on bedrock
	<b>FYLLMASSE (ANTROPOGENT MATERIALE)</b> Anthropogenic material
	<b>BART FJELL</b> Exposed bedrock







A LITEN FJELLEBLØTNING  
Small exposure of bedrock

## SMÅ ELLER VANSKELIG AVGRENSBARE AVSETNINGER I OMRÅDER DOMINERT AV ANDRE LØSMASSER / BART FJELL

### Sporadic deposits in areas dominated by other superficial deposits or exposed bedrock

M	MORENEMATERIALE Till
H	HAV- OG FJORDAVSETNING Marine deposit
U	MARIN STRANDAVSETNING Marine shore deposit
R	SKREDMATERIALE Rapid mass-movement deposit
T	TORV OG MYR Peat and bog
f	HUMUSDEKKE / TYNT TORVDEKKE OVER BERGGRUNNEN Humus cover or a thin cover of peat on bedrock
Z	FYLLMASSE Anthropogenic material

## KORNSTØRRELSE Grain size

	BLOKK (B) >256mm Boulder
	STEIN (St) 256mm - 64mm Cobble
	GRUS (G) 64mm - 2mm Gravel
	SAND (S) 2mm - 0.063mm Sand
	SILT (Si) 0.063mm - 0.002mm Silt
	LEIR (L) <0.002mm Clay

Symbolene brukes enkeltvis når en fraksjon utgjør med enn 80%. Sammensatte symboler brukes når flere fraksjoner inngår med mer enn 10%, hovedfraksjonen blir angitt sist.

The symbols are employed individually when one fraction exceeds 80%. Combined symbols are used when several fractions exceed 10%, the largest fraction being indicated last.





## EKSEMPLER Examples

	GRUS (G) MER ENN 80% Gravel (G) more than 80%
	SANDIG GRUS (SG), MEST GRUS, SAND MER ENN 10% Sandy gravel (SG). Most gravel, sand exceeds 10%
	GRUSIG SAND (GS), MEST SAND, GRUS MER ENN 10% Gravelly sand (GS). Most sand, gravel exceeds 10%
	LEIRIG SILT (LS), MEST SILT, LEIR MER ENN 10% Clayey silt (LS). Most silt, clay exceeds 10%













## MEKTIGHET OG LAGFØLGE Thickness and stratigraphy

(SYMBOLER FOR AVSETNINGSTYPEN OG KORNSTØRRELSE ER VIST OVENFOR)  
(Symbols for sediment types and grain size are shown above)

## EKSEMPLER Examples

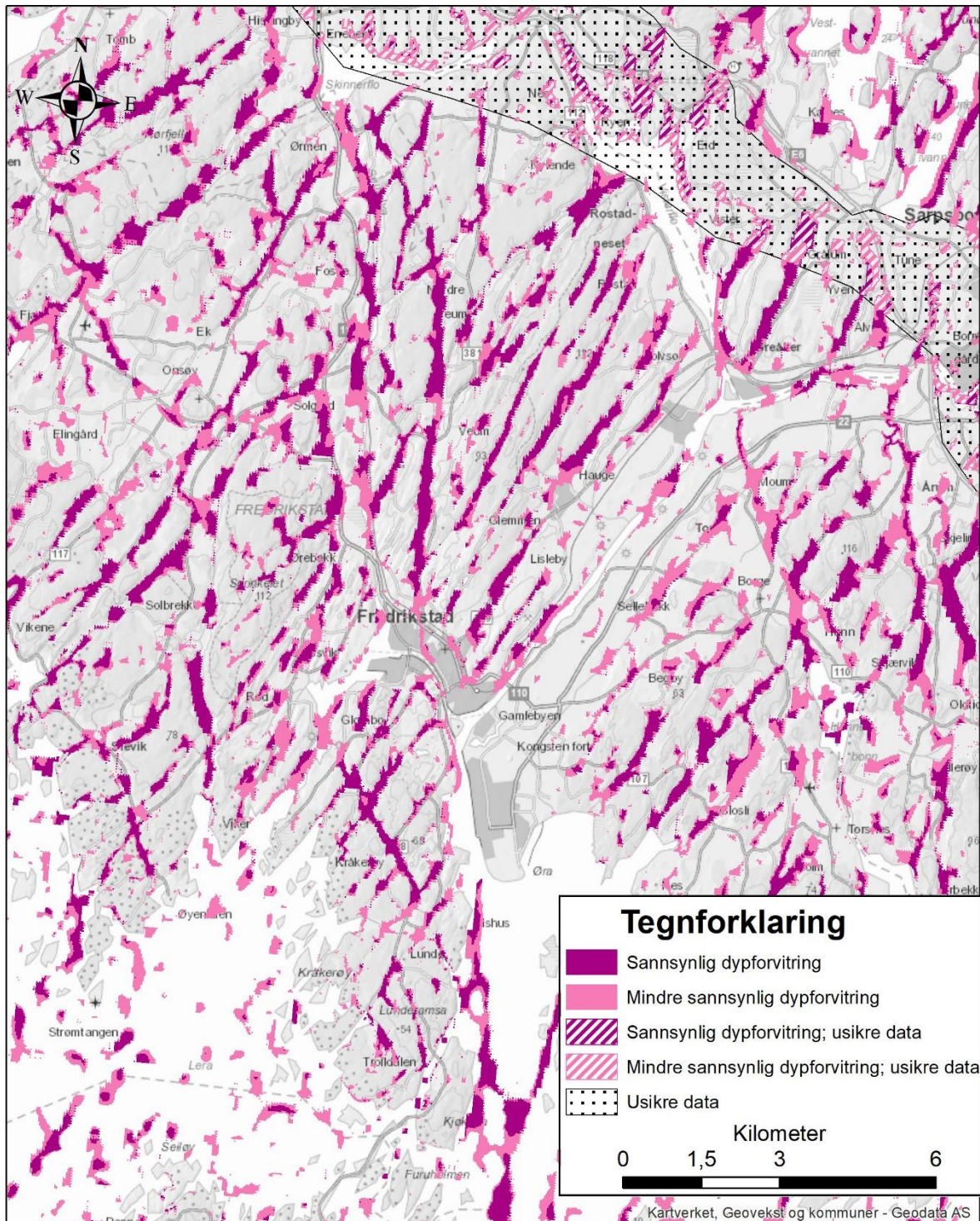
	DEN KARTLAGTE AVSETNINGEN ER 3M MEKTIG The thickness of the mapped deposit is 3m
	MEKTIGHETEN TIL DEN KARTLAGTE AVSETNINGEN ER STORRE ENN 2M The thickness of the mapped deposit exceeds 2m
	DEN KARTLAGTE AVSETNINGEN BESTÅR AV 1M SAND, UNDER ER DET 3M SANDIG GRUS OVER FJELL The mapped deposit consists of 1m sand, which is underlain by 3m of sandy gravel on bedrock
	DEN KARTLAGTE AVSETNINGEN ER 2M MEKTIG, UNDER ER DET EN 5M MEKTIG BREELVAVSETNING OVER MORENEMATERIALE SOM ER MER ENN 1M MEKTIG The mapped deposit is 2m thick; this is underlain by a glaciofluvial deposit of 5m over till which exceeds a thickness of 1m

## ISBEVEGELSESTRETNING Direction of ice movement

	ISSKURINGSSTRIBE, BEVEGELSE MOT OBSERVASJONSPUNKET Glacial striation, movement towards the observation point
	ISSKURINGSSTRIPER INNENFOR SEKTOREN Glacial striation within the sector
	RAVINE Gully
	STRANDVOLL Beach ridge
	SKREDKANT Slide scarp
	LITEN UTGLIDNING Small slide
	RYGG Ridge
	HØYT BLOKKINNHOLD I OVERFLATEN High frequency of boulders on the surface
	MASSETAK I DRIFT Gravel pit in operation
	MASSETAK, NEDLAGT ELLER SPORADISK I DRIFT Gravel pit, worked out or sporadically in operation
	BAKKEPLANERING Hill levelling
	BORING MED REFERANSE Borehole with reference

## Vedlegg 2 Aktsomhetskart for tunneler over Fredrikstad og omegn

Flere dalførere, spesielt med NNØ-SSV retning, har stor sannsynlighet for dypforvitring. Sonene med sannsynlig dypforvitring (mørk farge) følger sprekkesoner med samme retning. Skravert område er Raet. [www.ngu.no/kart](http://www.ngu.no/kart)

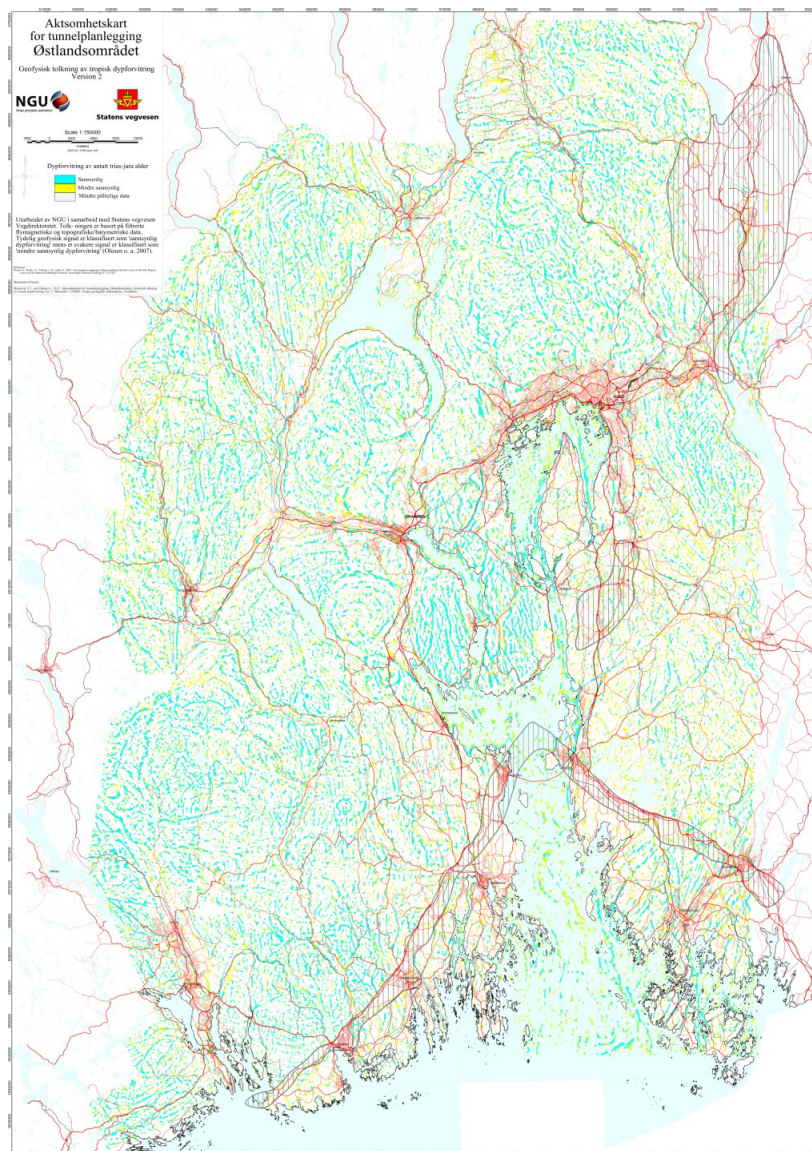


## **Vedlegg 3 Aktsomhetskart for tunnelplanlegging – produktbeskrivelse**

## AKTSOMHETSKART FOR TUNNELPLANLEGGING

Kartet viser soner der det sannsynligvis er svakhetssoner i fjellet, som er forårsaket av dypforvitring. Det er et hjelpemiddel for planlegging av tunneler, fjellhaller mv. Kartet er fremstilt ved å samtolke magnetiske data målt fra fly- og helikopter med digital topografi. Der begge disse datasettene viser lave verdier, kan det være dypforvitrede soner som skaper problemer ved tunneldriving. Ved flere tunnelprosjekter med til dels store drivingsproblemer, har en i ettertid kunnet påvise disse sonene ved bruk av aktsomhetskartet.

Norges geologiske undersøkelse (NGU) publiserte det første "Aktsomhetskart for Tunnelplanlegging, Østlandet" i 2006 (Olesen 2006). Andre versjon med forbedret metodikk og utvidet område blir i 2013 lagt ut som nedlastbar versjon på nettet i samarbeid med Statens vegvesen Vegdirektoratet.



Aktsomhetskart for tunnelplanlegging Østlandet, Versjon 2. .

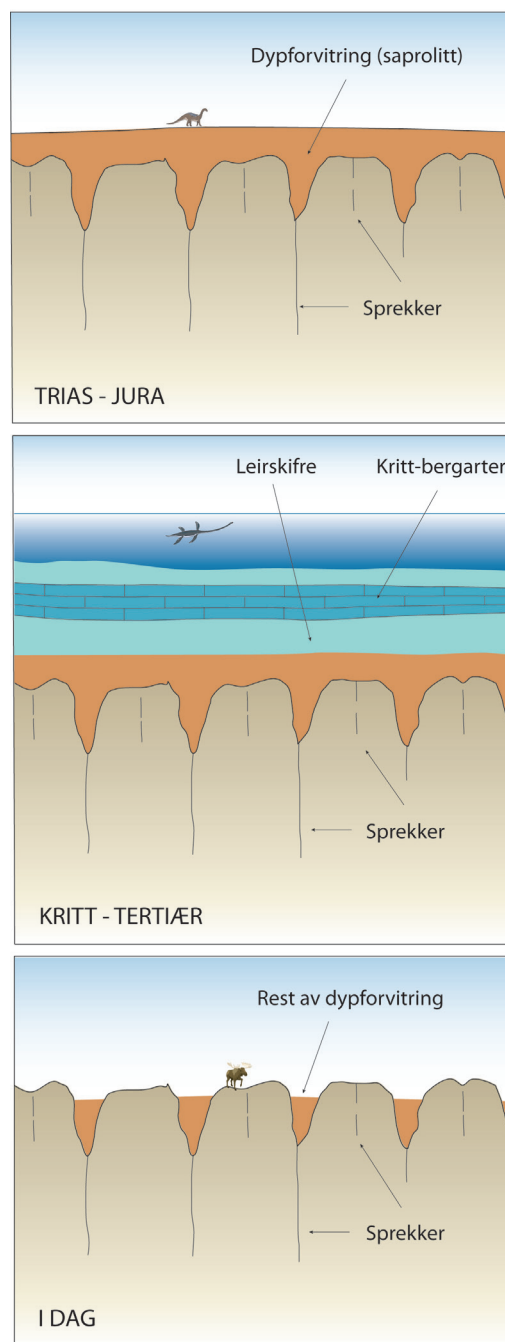




## Metode

Aktsomhetskart for tunnelplanlegging produseres med utgangspunkt i magnetiske data målt fra fly og helikopter og digital topografi. Etter å ha filtrert dataene sammenlignes områder som både har et lavere magnetfelt og depresjoner i terrenget. Der begge disse datasettene gir respons, angis sannsynlig og mindre sannsynlig dypforvitring, avhengig av hvor sterk responsen er. Metoden er blitt kalt AMAGER (AeroMagnetic and GEomorphological Relations, Olesen et al 2007).

Dypforvitring ble dannet i den tiden Norge lå i subtropisk klima på breddegrader tilsvarende Middelhavet nå i dag, i Trias og Jura (ca. 250 – 150 mill. år). Berggrunnen ble utsatt for surt overflatevann som gav en kjemisk forvitring i sprekker i fjellet der bl.a. feltspat ble omvandlet til leirmineraler og magnetitt til mindre magnetiske jernoksyder bl.a. jernhydroksyder (rust). I soner som på forhånd var oppsprukket, trengte denne forvitringen dypere, derav navnet dypforvitring. Forskning har vist at disse sonene kan strekke seg flere hundre meter ned i fjellet. Etter forvitringsprosessen ble det omvandlede materialet bevart under sedimentære bergarter som i stor grad ble erodert vekk ved senere istider. Resultatet er at vi i dag sitter igjen med dypforvitring i soner, og stedvis bevart forvitret materiale på overflaten (Olesen m.fl. 2012).



*Skjematisk fremstilling av hvordan dypforvitring forekommer (etter Lidmar-Bergström, 1995).*

Kjemisk omvandling av bergarter med magnetitt gjør bergarten mindre magnetisk. En slik omvandling - i tillegg til oppsprekking konsentrert i soner - svekket berggrunnen og gjorde den lettere å erodere under istidene, noe som resulterte i lavere terreng som daler.



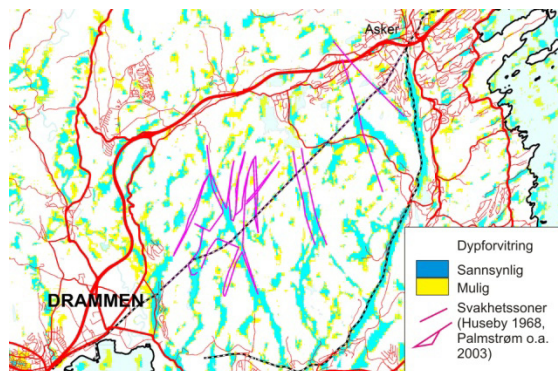
Eksempel på sprekkesone med forvittringsmateriale ved Rv 23 i Røyken, Asker. Foto av Odleiv Olesen.

Det er blitt hevdet at enkelte soner som er påvist med AMAGER-metoden er soner med hydrotermal omvandling (varme væsker fra dypet) og også eroderte soner som er gjenfylt med grusige masser. Begge disse prosessene gir lavere magnetfelt, og anvendelsesområdet for metoden kan derfor utvides.

### Betydning for tunneldrivere

For tunneldrivere kan disse dypforvitrede sonene opptre som brede leiromvandlede soner med dårlig stabilitet. Dypforvittringssonene kan også opptre som soner med økt permeabilitet og derved gi større problemer med vanninntrenging under tunneldriving. I samarbeid med Statens vegvesen Vegdirektoratet har NGU

gjort oppfølgende undersøkelser med resistivitetmålinger på noen dypforvitrede soner (Olesen & Rønning 2008, Rønning m.fl. 2007 og 2010). Generelt kan en si at det er meget godt samsvar mellom dypforvitrede soner påvist med AMAGER-metoden og respons på resistiviteten.



Lieråstunnelen mellom Asker og Drammen, påbegynt i 1962, men etter 5 års drift var bare halve tunnelen sprengt ut pga store problemer med en sone med mye leire som førte til ras i tunnelen og vannlekkasje.

### Svakheter

I enkelte områder kan det være andre grunner til sammenfallende lavt magnetfelt og lavt terreng uten at dette nødvendigvis gir dårlig fjell. Lavmagnetiske ganger og kalderaer i Vestfold og Buskerud kan være eksempler på dette.

Grunnlaget for analysene bygger på datasett med celledimensjon 25 x 25 meter (topografi) og 50 x 50 meter (magnetiske data), og kartet er fremstilt i målestokk 1:150.000. Dette betyr at metoden ikke kan påvise tynne soner som likevel kan gi drivingsproblemer.



For å kunne benytte AMAGER-metoden, er en avhengig av at bergarten i utgangspunktet har et visst innhold av magnetitt. Dette betyr at metoden kan feile i områder med bergarter som i utgangspunktet hadde et lavt innhold av dette mineralet.

Gangbergarter som har permanent magnetisering tilnærmet i motsatt retning av jordens magnetfelt (remanent magnetisering) kan gi lavere magnetfelt som kan feiltolkes som svakhetssoner.

Områder med tykke løsmasser vil viske ut det opprinnelige topografiske relieff og metoden vil feile. Dette er områder der det sjeldent er aktuelt å bygge tunneler.

I områder med spesielt sterkt topografisk relieff, kan det være vanskelig å få konstant målehøyde fra fly og helikopter. Dette kan resultere i lavere magnetfelt som i sin tur feilaktig indikerer dypforvittringsone.

På grunn av disse svakhetene, må "Aksomhetskartet" benyttes med fornuft. Kartet er ment som en påminnelse om at på angitte steder kan være soner som må kartlegges i mer detalj.






### Fakta om dataene

Tolkingene er delt inn i to klasser; **Sannsynlig dypforvitring** og **Mindre sannsynlig dypforvitring**. Disse tolkningene er basert på magnetiske data målt fra fly eller helikopter som er griddet med en cellestørrelse 50x50 meter og topografi/batymetri som er griddet sammen med en cellestørrelse på 25x25 meter for sentrale Østlandet. Alle data ble filtrert med et 1 km

gaussisk høypassfilter (1km), og de magnetiske data ble deretter behandlet med "automatisk gain correction" (AGC) som gjør at svakhetssoner i områder med lavt magnetfelt fremheves bedre. Disse korrigerte data ble så analysert, og områder med større terrengdepresjon enn 5 meter og svekking av magnetfelt på mer enn 100 nT ble karakterisert som **Sannsynlig dypforvitring**. Områder der terrengdepresjonen er mellom 2 og 5 meter og svekkingen av magnetfeltet ligger mellom 0 og 100 nT ble karakterisert som **Mindre sannsynlig dypforvitring**. Områder der løsmassene er meget tykke blir denne analysen usikker (manglende terrengrelieff) og tolkingene her er markert som usikre. Hvordan kartet er fremstilt er nærmere beskrevet i Baranwal m.fl., (2013).

Datasettet som er lagt ut for nedlasting på Internett er delt inn i 5 klasser; **Sannsynlig** og **Mindre sannsynlig dypforvitring** og **Usikre data**. Der datagrunnlaget er usikkert på grunn av blant annet tykke løsmasser er områder hvor det antydes dypforvitring blitt skravert og fått klassene; **Sannsynlig dypforvitring; usikre data**, **Mindre sannsynlig dypforvitring; usikre data**.

Eksempel på symbolbruk for klassene. Felt med skravur har ikke bakgrunnsfarge.

Aksomhetskart for tunnelplanlegging	
	Sannsynlig dypforvitring
	Mindre sannsynlig dypforvitring
	Sannsynlig dypforvitring; usikre data
	Mindre sannsynlig dypforvitring; usikre data
	Usikre data



## Referanser

Vikas Baranwal, Odleiv Olessen & Jan S. Rønning. 2013. Preparation of Action map for tunnel planning in the South-Eastern Norway: An indication of deep-weathered weak zones. NGU report 2013.003. Geological Survey of Norway, Trondheim.

Lidmar-Bergström, K. 1995. Relief and saprolites through time on the Baltic Shield. *Geomorphology*, 12, 45-61.

Olesen, O. 2006: Aktsomhetskart for tunnelplanlegging, sentrale Østlandet, geofysisk tolkning av tropisk dypforvitring. Målestokk 1:100.000. Norges geologiske undersøkelse, Trondheim.

Olesen, O., Dehls, J.F., Ebbing, J., Henriksen, H., Kihle, O. & Lundin, E. 2007: Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning of tunnels. *Norwegian Journal of Geology*, vol. 87, pp. 253-267. Trondheim 2007. ISSN 029-196X

Olesen, O. & Rønning, J.S. 2008: Dypforvitring: fortidens klima gir tunnelproblemer, i *Gråsteinen 12: Geologi for samfunnet i 150 år - arven etter Kjerulf*. Norges geologiske undersøkelse.

Olesen, Odleiv; Bering, Dag; Brønner, Marco; Dalsegg, Einar; Fabian, Karl; Fredin, Ola; Gellein, Jomar; Husteli, Berit; Magnus, Christian; Rønning, Jan Steinar; Solbakk, Terje; Tønnesen, Jan Fredrik; Øverland, Jon Arne. 2012. Tropical weathering in Norway, TWIN final report. NGU-rapport 2012.005

Rønning, J. S., Olesen, O., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Gellein, J., 2007: Dypforvitring i Oslo-regionen. Påvisning og oppfølgende undersøkelser. NGU-rapport 2007.034. Norges geologiske undersøkelse.

Rønning, J. S., Dalsegg, E., Heincke, B., Olesen, O., Tønnesen, J.F., 2010: Geofysiske målinger over tunneler ved Hanekleiv, Ravneheia og Vadfoss. NGU-rapport 2009.040. Norges geologiske undersøkelse.



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)