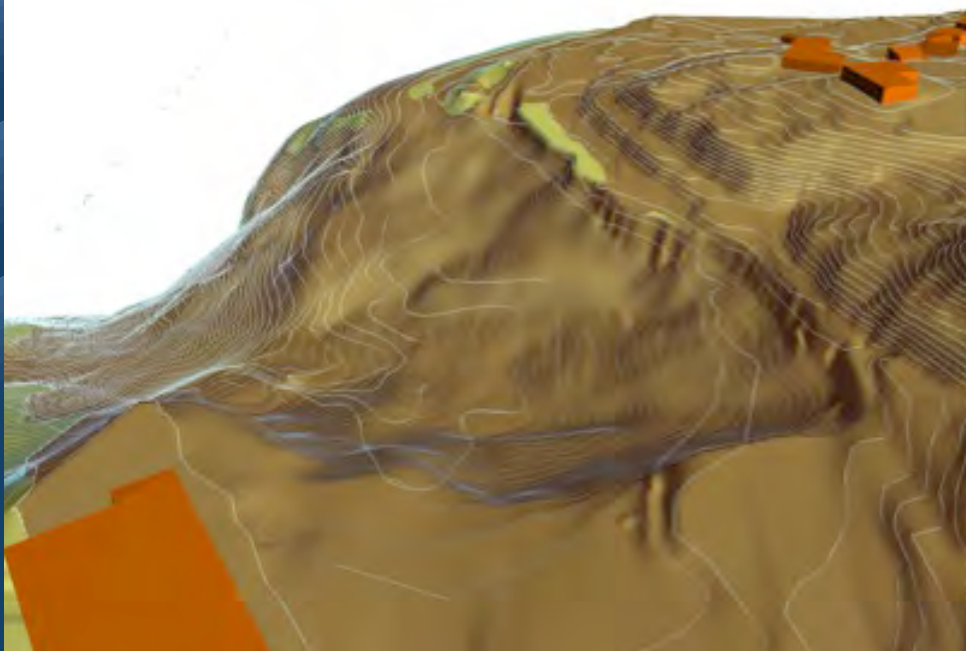




Skredet ved Nord-Statland

Utredning av teknisk årsakssammenheng

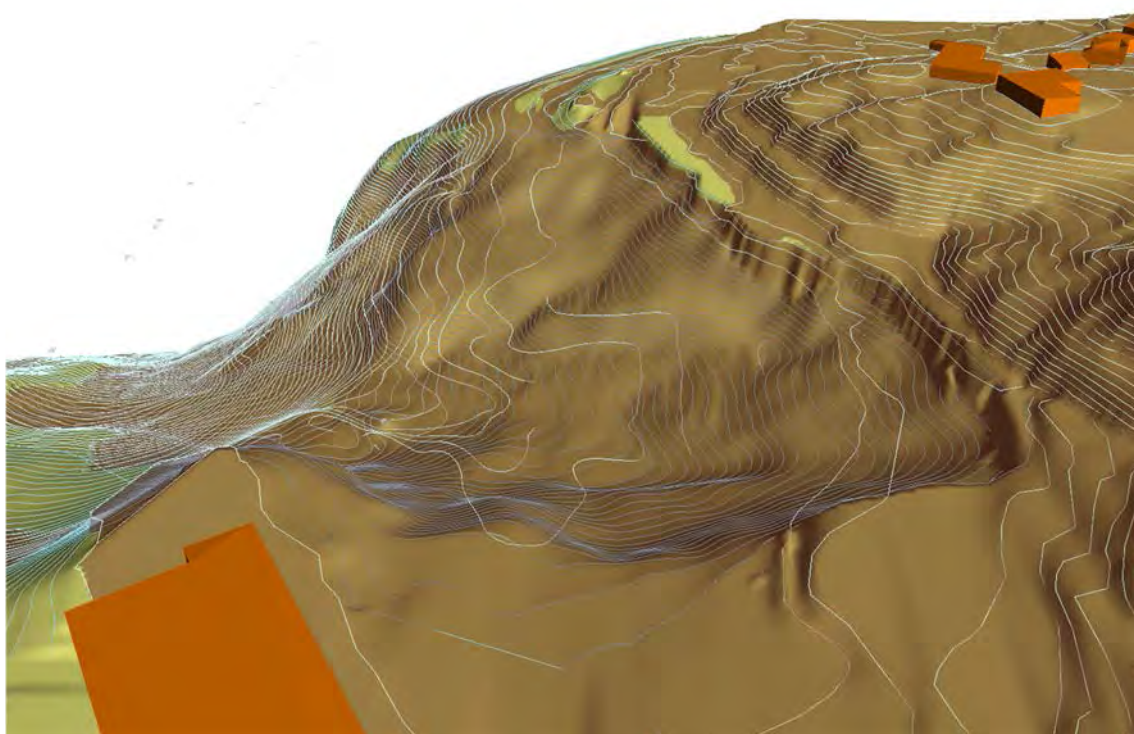
93
2014



R
A
P
P
O
R
T

Skredet ved Nord - Statland

Utredning av teknisk årsakssammenheng



Kartgrunnlag: Namdalseid kommune/Grafisk bearbeidelse: NVE v/Geir B. Hagen

Rapport nr. 93-2014

Skredet ved Nord - Statland

- Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat
- Redaktør:** Stein-Are Strand og Einar Lyche
- Forfatter:** Ragnar Moholdt (NGI), Steinar Nordal (NTNU), Vikas Thakur (SVV), Frode Oset (SVV), Margareta Viklund (JBV), Einar Lyche (NVE), Stein-Are Strand (NVE)
- ISBN-nr:** 978-82-410-1042-2
- Trykk:** NVEs hustrykkeri
- Opplag:** 25
- Forsidefoto:** Grafisk illustrasjon, NVE v/Geir B. Hagen
- Emneord:** Skred, strandsone, flodbølge, kvikkleire, komprimering, vibrasjoner.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2014

Innhold

Forord	4
Sammendrag	6
1 Bakgrunn	7
1.1 Skredområdet – historikk og utvikling.....	7
1.2 Skredet 29.1.2014	12
2 Aktiviteter med potensiell årsaksbetydning	14
2.1 Aktiviteter i tiden forut for skredet (ca. ett år).....	14
2.1.1 I) Byggeaktivitet i strandsonen	14
2.1.2 II) Vannlekkasje fra vannverket i Statland	16
2.1.3 III) Iskjøving i strandsonen vinteren 2013/2014	17
2.1.4 IV) Omlegging av vannforsyning til settefiskanlegget	18
3 Utredninger utført i regi av undersøkelsesgruppen	20
3.1 Beskrivelse av området – topografisk, geologisk/geoteknisk inkludert grunnundersøkelser, bunnkartlegging og seismikk.....	20
3.2 Flodbølgesimuleringer	26
3.3 Rystelser.....	32
3.4 Stabilitetsvurderinger/beregninger	37
4 Vurdering av teknisk årsakssammenheng	44
4.1 Mulige årsakssammenhenger	44
4.2 Drøfting/usikkerheter.....	48
5 Konklusjon	48
6 Vedlegg	49

Forord

Skredet som gikk 29.1.2014 ved Nord – Statland i Namdalseid kommune medførte store terrengskader i strandsonen i Statland, og store materielle skader oppsto som følge av skredet, både direkte og indirekte knyttet til skredhendelsen. Det har også oppstått økonomiske tap i etterkant av skredhendelsen, knyttet til bl.a. industriområdet i Sagvika og hos Namdal Settefiskanlegg. Det oppsto derimot ikke tap av menneskeliv, heller ingen alvorlige skader på mennesker.

I Stortingsmelding nr.15 om «Flom og Skred»,(Meld. St 15/2011-2012) er det lagt opp til at det etableres en ordning for systematiske undersøkelser etter flom- og skredhendelser av en viss størrelse.

Målet for den nå foreliggende undersøkelsen har vært å lære av denne spesielle skredhendelsen, både for NVE og det geotekniske fagmiljøet generelt, men også for alle andre involvert. Det presiseres at det kun er faktiske omstendigheter rundt skredhendelsen og teknisk årsak til at skredet ble utløst som er vurdert, og at eventuelle skyld – og/eller ansvarsforhold ikke er vurdert i rapporten.

For denne undersøkelsen ble de faglige vurderingene valgt gjennomført som et prosjekt i regi av etatssamarbeidet NIFS; et tverretattlig fagsamarbeid mellom NVE, Jernbaneverket og Statens Vegvesen. NIFS nedsatte en arbeidsgruppe bestående representanter fra NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket, samt fra samarbeidspartnerne NGI og NTNU.

Arbeidsgruppa har bestått av Ragnar Moholdt (NGI), Steinar Nordal (NTNU), Vikas Thakur (SVV), Margareta Viklund (JBV), Frode Oset (SVV) og Einar Lyche (NVE), samt ledet av Stein-Are Strand (NVE). Arbeidsgruppas oppgavebeskrivelse har vært følgende:

«Det ønskes på sikrest mulig grunnlag å avklare bruddmekanismen og sannsynlig teknisk årsakssammenheng ved det inntrufne skredet. Herunder ønskes sannsynliggjort hvilke tekniske forutsetninger/omstendigheter som førte til bruddet. Usikkerhet og/eller tvil av betydning skal belyses/kvantifiseres (om mulig).»


Som underlag for arbeidsgruppas vurderinger har NVE gjennomført forundersøkelser for å fremskaffe opplysninger om skredhendelsen, slik som grunnforholdene og aktiviteter i området forut for skredet, med potensiell årsaksbetydning. Relevante planer, rapporter og lignende er fremskaffet, og intervju med vitner og sentrale personer i kommune, lokalmiljø, entreprenør og konsulenter er gjennomført.

På grunnlag av arbeidsgruppas vurderinger av hvilke sammenhenger som har vært de mest sannsynlige for utløsning av skredet, har NGI gjennomført inngående analyser og beregninger for å underbygge arbeidsgruppas vurderinger. Dette har bl.a vært en detaljert beskrivelse av topografi og grunnforhold, vurderinger av skredforløp, vurdering av rystelser knyttet til anleggsarbeider og stabilitetsberegninger. NGIs arbeid er presentert i kap. 3, og mer detaljert i vedlegg A – D.

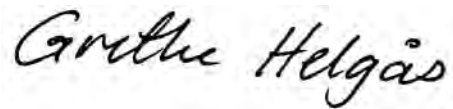
NIFS-samarbeidet i denne saken tydeliggjør viktigheten av bredt faglig samarbeid innenfor et fagområde (skredfare) i sterk utvikling. Faglig bred forankring vil være en betydelig suksessfaktor for denne type utredninger.

Oslo, 17. desember 2014

Anne Britt Leifseth
Avdelingsdirektør



Grethe Helgås
seksjonssjef



Sammendrag

Rapporten beskriver historikk og hendelsesbakgrunn omkring skredet på Nord-Statland i januar 2014. Videre følger en omfattende teknisk utredning av skredårsak.

- Skredet gikk ettermiddagen 29.1.2014, og medførte utglidning av sjø- og landareal med et volum på ca. 350 – 400 000 m³.
- Skredet medførte stor materiell skade, men ubetydelig fysisk skade på liv og helse.
- Det er i regi av en NVE-ledet undersøkelsesgruppe gjennomført vurderinger i etterkant av skredhendelsen for å klarlegge hvilke tekniske forutsetninger som har vært sentrale for at skredet ble utløst (årsakssammenheng). Resultat er presentert i denne rapporten.
- Rapporten og de underliggende vurderingene tar ikke stilling til ansvars – eller skyldspørsmål.
- NVE har gjennomført forundersøkelser for å fremskaffe alle relevante opplysninger som kunne knyttes til skredhendelsen, og som er benyttet som underlag for videre vurderinger av teknisk årsakssammenheng.
- Det ble av undersøkelsesgruppen identifisert flere mulige ytre hendelser av interesse, som mulig kunne settes i forbindelse med skredhendelsen.

Etter at hendelser knyttet til brudd og lekkasjer på VA-systemer i tiden før skredet, etter en grundig kartlegging, gjennomgåelse og vurdering kunne elimineres som sannsynlig eller medvirkende skredårsak, har de pågående bygge- og anleggsarbeider i skredområdet sammenfallende i tid med skredet, blitt fokusert og utredet nærmere.

Undersøkelsesgruppa har satt spesielt fokus på den utførte masseutskiftingen og utlegging av fyllmasser, samt komprimeringsarbeidet som ble utført på fyllinga i skredområdet. Inngående faglige vurderinger og analyser knyttet til dette ble utført av NGI på oppdrag av NVE og undersøkelsesgruppa, og inkluderte bl.a. vurdering av grunnforhold, skredutvikling, flodbølgemodellering, dynamiske analyser mtp komprimeringsarbeidet og stabilitetsanalyser. Dette arbeidet er oppsummert i kap. 3, og dokumentert i vedlegg A– D.

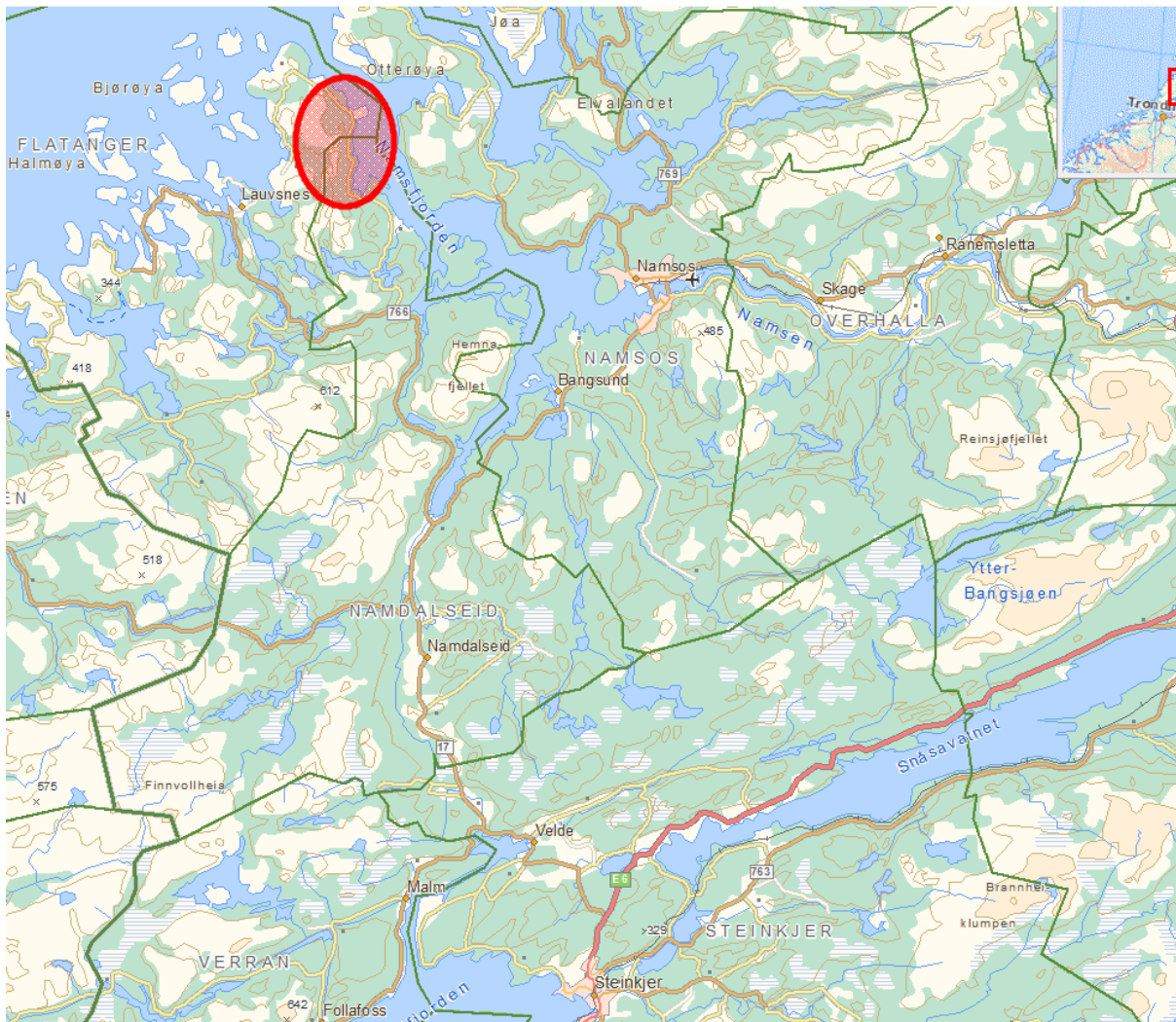
Undersøkelsesgruppa sine samlede vurderinger, basert på utførte analyser og beregninger av NGI, viser at det er overveiende sannsynlig at skredet ble utløst i området hvor anleggsvirksomheten pågikk. Skredet gikk i to steg, hvor det første skredet gikk noenlunde på tvers av bukta/vika og dette skredet satte opp en stor flodbølge. Videre er det sannsynliggjort at det første steget har skapt instabilitet i marbakken inn mot Sagvika, og at skredet da har bredt seg innover mot land innerst i Sagvika.

Videre viser analysene av virkningen av komprimeringsarbeidene av utlagt fylling i strandsonen med vibrovals kan ha vært betydelige for stabiliteten lokalt, der utfyllingen pågikk, og at virkningen trolig har hatt større betydning for stabiliteten enn den utførte masseutskiftingen og oppfyllingen har hatt isolert sett.

Stabilitetsberegninger viser at marbakken utenfor Sagvika har hatt så dårlig/anstrengt stabilitet at det skulle lite til for at et skred kunne bli uløst.

1 Bakgrunn

1.1 Skredområdet – historikk og utvikling



Figur 2.1: Oversiktskart – Nord-Statland i Namdal, Nord - Trøndelag – sentrum i markert område

Kort historikk for Nord-Statland fram til ca. år 2000:

Nord-Statland, også omtalt som Statland, er ei bygd i Namdalseid kommune i Nord-Trøndelag fylke. Stedet ligger på vestsida av Namsfjorden. Det er ca. 160 fastboende innbyggere, og stedet har kirke, skole og barnehage.

Bebyggelsen på Nord-Statland er hovedsakelig lokalisert omkring industristedet Statland, som mer lokalt beskrevet er bygd opp omkring strandstedet innerst i Sagvika og senere

også utover langs Langvika/Saltbuodden. Det er også en del gårdsbruk i tilstøtende omgivelser.

Nord-Statland har vegsamband via Fylkesveg 215 i Nord-Trøndelag nordover til Utvorda i Flatanger kommune og sørover til Fylkesveg 766 i Tøtdal.

Det kom tidlig industriell virksomhet til Sagvika, basert på utnyttelse av fallet i Statlandelva.

All utbygging på strandstedet Sagvika fram til ca. 1990 synes å ha vært knyttet til denne industrielle virksomheten.

Allerede i 1853 ble Statlandbruket oppstartet som sagbruk av O.G. Olsen. Etter konkurs i 1902 ble Van Severen & Co nye eiere, som videreførte sagbruksdriften.

I 1908-1913 ble tresliperiet A/S Statlandbruket etablert av Elias Ekker og Carl Hustad, og drevet parallelt med sagbruksdriften. Samtidig utbygde Statlandbruket A/S 2 kraftverk i Statland-vassdraget, og det siste fallet ned til tresliperiet ga kraft til 2 turbiner med



Figur 2.2: Statlandbruket. Foto/kilde: Norsk Sagbruksmuseum.

Under de dårlige '30-åra ble det driftsstans i 1934, men driften startet pånytt opp i 1937. Statlandbruket A/S ble etter økonomiske vanskeligheter nedlagt i 1972.

I 1974 ble Statlandverftet A/S etablert av Trønderverftet i de gamle sliperibyningene. Verftet rakk å bygge en rekke store fergeskrog, noen fiskebåter og mindre skipsbygg før konkurs og nedleggelse var et faktum i 1987.

Namdalseid kommune kjøpte samme år Statlandverftet A/S, som senere ble omdøpt til Statland Eiendomsselskap A/S (kommunalt foretak).

Siden kommunens overtakelse, har den eksisterende industrielle bygningsmassen dels vært utleid til lokale aktører, uten at dette har ført til ytterligere industriell utvikling.

Etter ca. år 2000 har kommunen satset aktivt, hovedsakelig på utvikling av de sjønære arealene omkring industrianleggene til turist/ferieformål.

Tomteutvikling:

Alle bygningsanlegg for den tidlige industrielle virksomheten i Sagvika var lokalisert inne på land. Innenfor strandlinja øst for sliperiet og sagbruket ble det etablert lagringsarealer for skåret og høvlet trelast, i til dels betydelig omfang. Her ble terrenget løftet/rettet opp ved påfylling vekselvis av hon, bark, flis og mineralske masser. Se også oversiktsbildet, figur 2.2.



Figur 2.3: Lagring av trematerialer i Ytre Langvika /Sagvika øst, hvor rorbuer nå er bygd. Ukjent kilde.



Figur 2.4: Illustrasjonsbilde – flis og bark under mineralisk fylling i Sagvika. I grått skimtes leire.
Foto: NVE v/Einar Lyche

Etter at sagbruket og høvleriet sentralt i Sagvika ble fjernet (1970`- tallet, før verftsvirksomheten), ble strandområdet her utvidet/hevet noe utover mot strandlinja, trolig ved mer eller mindre tilfeldig deponering av grave- og avfallsmasser over flere år. Dette synes ikke å ha vært noen målstyrt aktivitet. Muligens har noe masser kommet fra Nato-anlegget lengre øst.

Etter at Namdalseid kommune overtok tomteområdet med bygningsanlegg i Sagvika ca. 1987, ble deler av anlegget utleid til ulike aktører.

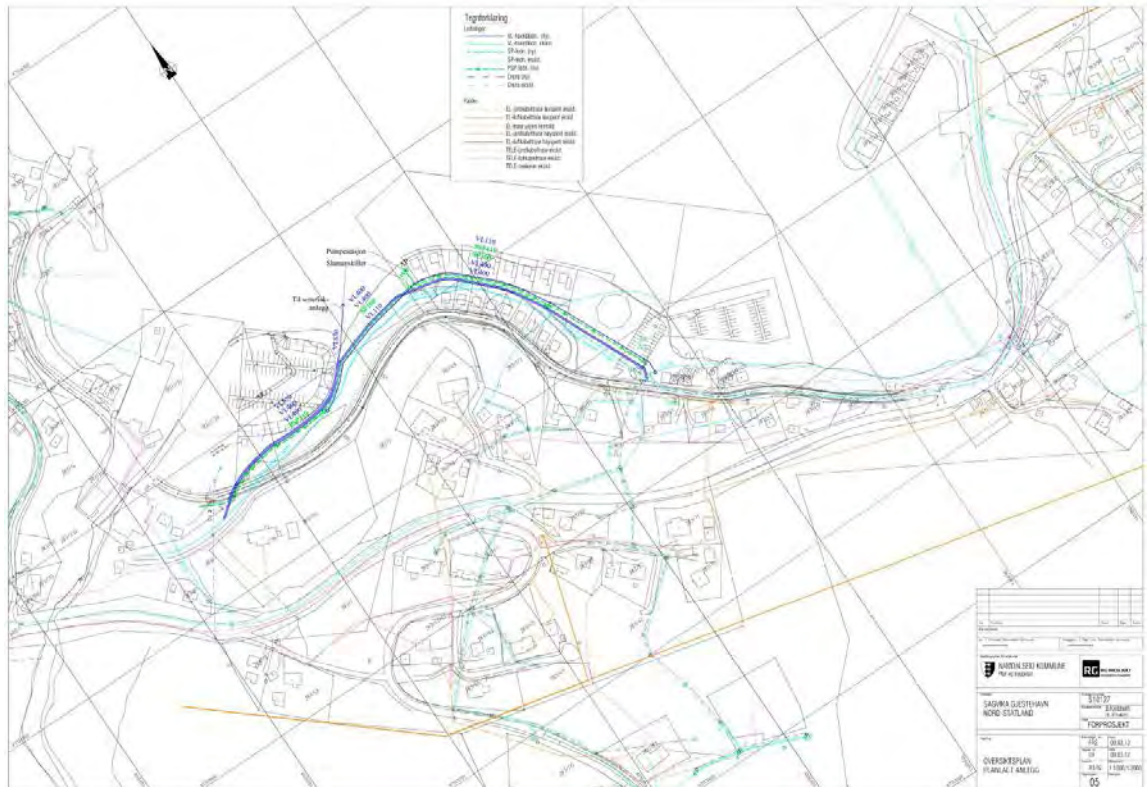
- Ett av de gamle sliperibyggene ble utleid til Maskinentreprenør Nils Kaldahl.
- Trønder-Element (bygg-element leide hallbygget på nordsiden av elveutløpet).

Etter hvert startet Statland Eiendomsselskap A/S en prosess med planutvikling for området. Det forelå i 2006 en plan for utbygging av fritidsboliger i søndre del av Sagvika/ytre del av Langvika, som ble revidert fram mot 2009. Arbeidet ble drevet av kommunen, med hjelp av RG-Prosjekt AS, Steinkjer. Det ble under dette arbeidet klarlagt at det forelå et stort miljøoppryddingsbehov i strandområdet etter den tidligere virksomheten.

Videre planutvikling:

Kommunen valgte deretter å gjennomføre et forprosjekt for utvikling av området, for å avklare både tekniske løsninger og økonomi ved utbyggingen. Det ble i denne forbindelsen utført ganske omfattende miljøgeologiske undersøkelser i strandområdet, og geotekniske grunnundersøkelser på land og i sjø for avklaring på utfyllingsmuligheter, særlig langs søndre del av Sagvika.

Planen omfatter bl.a. mudring for småbåthavn PS2. Deponi for mudringsmasse herfra er i planen tenkt lagt på land i sørenden av planområdet (Langvika).



Figur 2.5: Oversiktsplan - Forprosjekt Statland Gjestehavn

Forprosjektet «Sagvika gjestehavn» ble utarbeidet av RG-Prosjekt AS med Multiconsult som underleverandør, og forelå ferdig 26.03.2012. Deretter våknet pånytt interessen hos utbyggere.

1.2 Skredet 29.1.2014

Skredet gikk om ettermiddagen onsdag 29.01.14 ca. kl. 16:30. Tidspunktet er rapportert til kl.16:31 i Politiets oppdragslogg. Brudd på vannledningen til Namdal settefisk er loggført til kl. 16:43 i flg. automatisk varsling. Betydningen av denne tidsdifferansen er nærmere diskutert i kap. 4.

Den videre utvikling på skredstedet de nærmeste timer framgår av **Politiloggen** – se Vedlegg F.

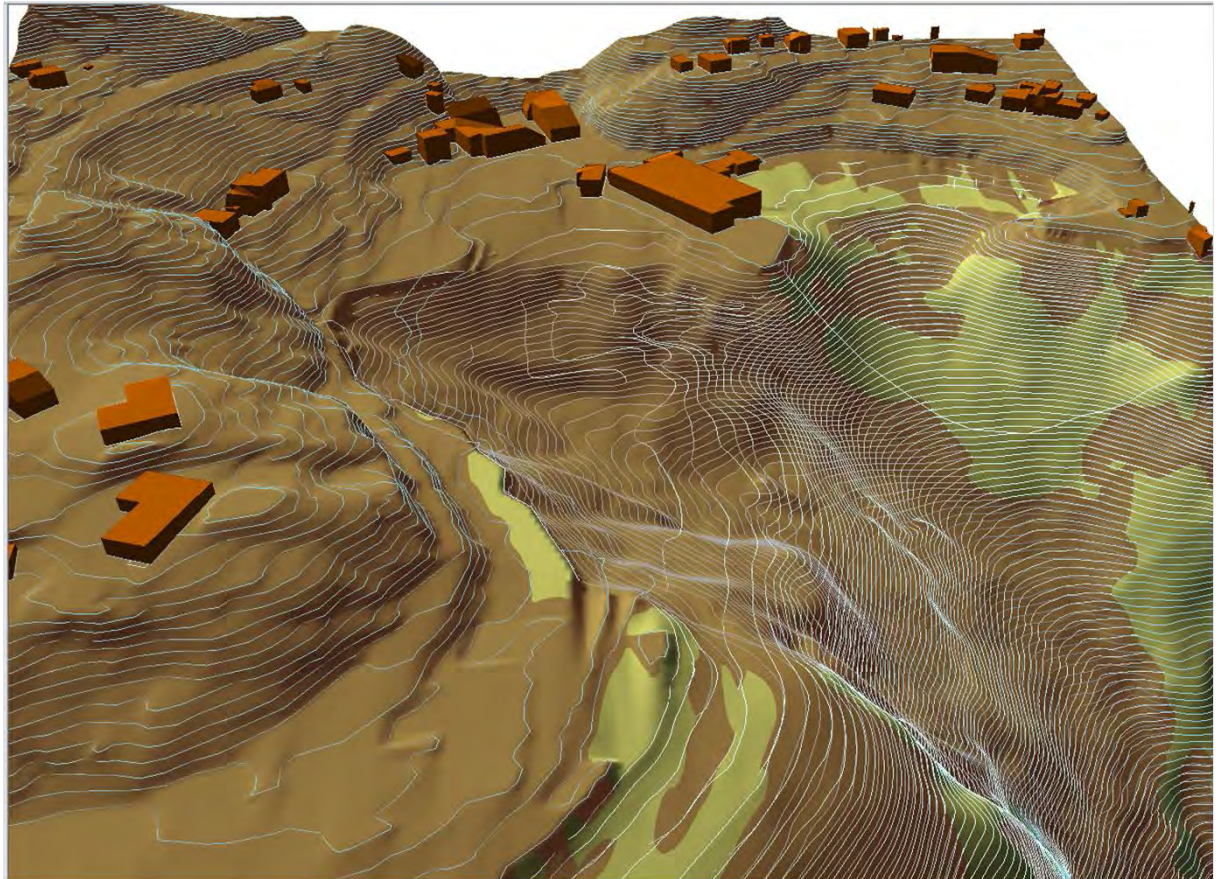
NVE Region Midt-Norge ble varslet ca. kl. 17:30, og bekreftet å sende distriktsingeniør Vebjørn Opdahl, som kom til stedet samme ettermiddag, og ble forsterket med NVE geotekniker Stein-Are Strand og NVE geolog Terje Bargel ca. ved midnatt. I mellomtiden bisto NVE Politiet med råd om evakuering i området innenfor skredet, basert på kontorvurdering av foreliggende grunnundersøkelsesrapporter.

Første handling var å sjekke ut meldinger om at ødeleggelsene på Statland var forårsaket av en tsunami, utløst av et fjellskred fra fjellet Tjuven ut i sjøen. Befaring til det antatte fjellskredområdet ved Tjuven ble gjennomført på formiddagen påfølgende dag, fra bistående kystvaktskip. Basert på denne befaringsen ble «fjellskredteorien» deretter raskt lagt død.

Det kunne raskt konstateres at det var gått et omfattende undersjøisk skred, som hadde satt opp voldsom bølgeoppskylling og ødeleggelse lokalt omkring Sagvika. For å få begrep om skredets størrelse, gikk Namdalseid kommune til engasjement av Sea-Scan AS til å utføre en undersjøisk kartlegging, tilsvarende det firmaet hadde utført noen få år tidligere som grunnlagsmateriale til den planlagte utbyggingen av Statland Gjestehavn.

Ferdige undervannskart forelå raskt, og er gjengitt samlet, vist i 3D-visualisering i figur 2.9. Terrengkoter fra kartlegging før og etter skredet vises tydelig. Differansen mellom terreng før og etter skred er beregnet til størrelsesorden 350.000 m³.

Ødeleggelsene på land var betydelige, med mange ødelagte (knuste, forskyvde/flytta) naust og sjøhus, havarerte småbåter og ødelagte flytebrygge- og kaikonstruksjoner, vesentlig forårsaket av store bølgeoppskyll (sekundæreffekt av det undersjøiske skredet).



Figur 2.8: Skredgrop Statland. 3D-visualisering av undersjøiske terrengkoter før og etter skred.
Grafikk: NVE v/Geir B. Hagen

NVE avsluttet sin akuttbistand to dager etter skredhendelsen, men bisto kommunen videre med faglige råd knyttet til hvilket arbeid som burde gjennomføres for å klarlegge sikkerheten og eventuelle sikringsbehov for områdene rundt skredgropa. Det ble tidlig klart at skredhendelsen kunne relateres til forekomst av kvikkleire i grunnen, som er et fenomen som kan medføre skredfare – og som er et spesialområde i NVEs arbeid med skredfareforebygging. Det ble deretter igangsatt grunnundersøkelser ved engasjement av Rambøll Norge AS, som var kjent på stedet fra tidligere – og ikke var involvert i de forutgående plan- og byggearbeidene før skredet. Undersøkelsene ga grunnlag for å avklare i hvilken grad gjenstående løsmasse areal på land var eksponert for videre skredfare, og hvor landområdet måtte avsperras.

2 Aktiviteter med potensiell årsaksbetydning

2.1 Aktiviteter i tiden forut for skredet (ca. ett år)

Det er etter aktiv søking identifisert 4 relevante aktiviteter/hendelser i /tilstøtende Sagvika, som er undersøkt nærmere med hensyn på mulig sammenheng med skredet 29.01.2014.

Disse er:

- I. Byggeaktivitet i strandsonen - utbyggingsarbeidene i Sagvika/Langvika for «Statland Brygge»
- II. Vannlekkasje fra vannverket i Statland i tiden like forut for skredet
- III. Iskjøving i strandsonen Vinteren 2013/2014.
- IV. Omlegging av vannforsyning til settefiskanlegget

Pkt. I er omtalt i etterfølgende kap. 2.1.1 og vurdert i detalj i utredningens kap. 3 og 4.

Pkt. II og III er dokumentert nærmere i oversiktskart, bilder og beskrivelse i vedlegg E til rapporten, og vurdert nærmere i kap. 2.1.2 og 2.1.3.

Pkt. IV er nærmere vurdert i utredningens kap. 3 og 4.

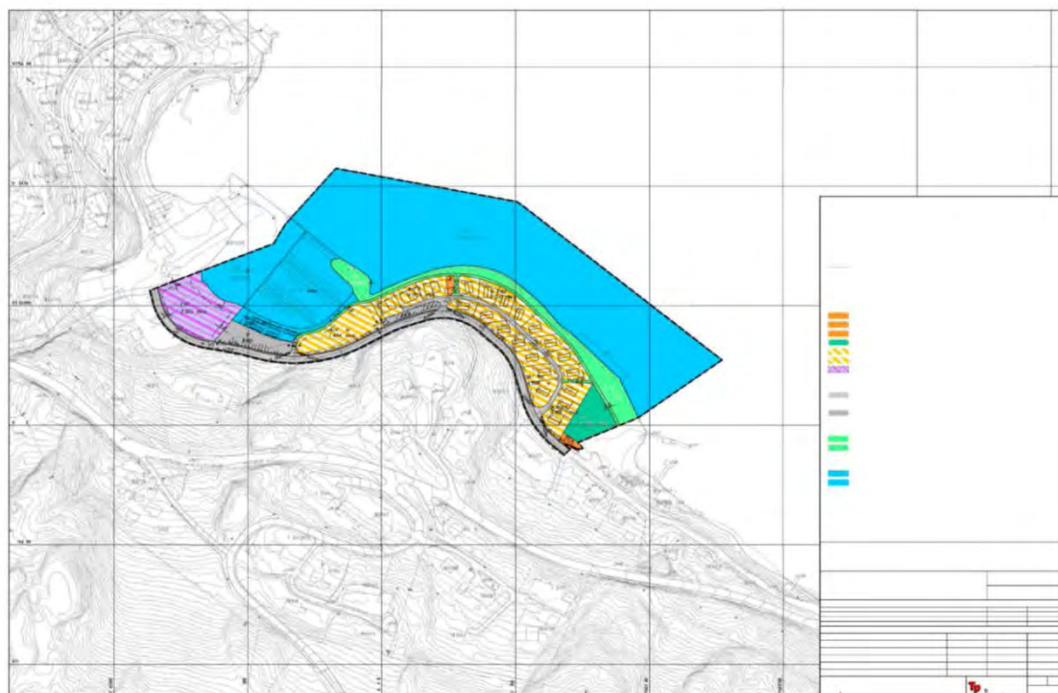
Som grunnlag for vurderingene under pkt. I – IV foran er det gjennomført intervjuer med nøkkelpersoner i tilknytning til de enkelte aktivitetene, for best mulig å klarlegge hendelse og virkning.

I tiden forut for skredet var det meget lite nedbør i området, se Nedbørsdata vedlegg G, og nedbør som utløsende årsak til kredhendelsen er således vurdert som ikke relevant.

2.1.1 I) Byggeaktivitet i strandsonen

Til klarlegging av byggesakens forhistorie og utvikling er følgende intervjuet:

- Namdalseid kommune v/ordfører Steinar Lyngstad og rådmann Kjell Einvik
- Trønder-Plan v/Jan Ola Ertsås m/fl.
- Glømmen Entreprenør v/Trond Hildrum, Kjell Håvard Glømmen
- Multiconsult v/Olav Årbogen m.fl.



Figur 2.6: Detaljreguleringsplan for Langvika 2 («Statland Brygge») fargesymbolforklaring mangler. Utarbeidet av TrønderPlan Dato 13.12.2013.

” Glømmen -gruppen” (GG) overtok 07.05.13 forprosjektet «Sagvika gjestehavn» og eiendommen, og Namdalseid kommune trakk seg ut. Som konsulenter ble Trønder-Plan AS (TP) og Multiconsult (MC) engasjert for videre utvikling og prosjektering.

Prosjektet skiftet navn til «Statland brygge».

I forprosjektet var det uttrykt en klar forutsetning om at:” Det må utføres geoteknisk detaljprosjektering for alle grave- og fyllingsarbeider”.

Kommunen krevde også at utbygger hadde løpende tilgang på geoteknisk veiledning, - særlig av hensyn til miljøforholdene.

Etter at GG overtok, er det utarbeidet 2 dokumenter (e-post) av MC vedr. videre arbeider.

- Notat dat. 08.05.13 vedr. miljøtekniske arbeider/masseutskifting.
- Tegning som viser:” Plassering av kritiske profiler for stabilitetsberegning».

Detaljprosjektet omfattet:

- Ny adkomstveg østfra Langvika inn i søndre del av Sagvika (med forbindelse via eks. veg videre gjennom Sagvika), utsprengt som utvidelse av tidligere fjellskjæring langs bakkant av området.
- Utfylling av landområde i ytre Langvika, og i strandsonen i søndre del av Sagvika inkl. masseutskifting etter tidligere industrifylling (flis etc.)
- Bygging av ca. 21 feriehus på de utfylte områdene, inkl. tilhørende ledningsanlegg

Opparbeidelse av adkomstvegen lå først i framdriften, og ble startet opp våren/sommeren 2013. Samtidig ble arbeidet med masseutskifting av urene masser i strandsonen satt i gang. Arbeidet ble gjennomført ved at utsprengte steinmasser fra vegskjæringa ble lagt direkte i utgravd trau etter masseutskiftingen innafor strandlinja/murkanten østover fra moloen.

Utskiftede masser, bestående ca. 50/50 av mineralske og organiske masser (og skrot), ble etter ca. 06.06.13 fortløpende opplastet og kjørt til deponi lengre sørøst på området (Langvika).

Masseutskiftingen og den påfølgende videre utfyllingen i strandsonen langs søndre Sagvika ble avsluttet og fullført 29.01.2014 – ca.- 1 ½ time før skredet gikk.

Byggesøknad for hele anlegget (inkl. bebyggelsen) ble godkjent av Namdalseid kommune 05.09.2013.

Det ble utarbeidet en plan for utvidelse/ending av planen datert frem til 13.02.2014. Denne er ikke behandlet av Namdalseid kommune, som en naturlig konsekvens av at skredhendelsen oppsto.

Vurdering av de beskrevne fysiske aktivitetene i årsaksteknisk sammenheng er gitt i kap.4.

2.1.2 II) Vannlekkasje fra vannverket i Statland

Til klarlegging av denne saken er det gjennomført a) intervjuer og b) befarng:

a) Namdalseid kommune v/ rådmann Kjell Einvik og b) Jan Roger Kaldahl.

Bakgrunnen for denne interessen er at plutselige endringer (økning) i grunnvannstilførsel (strøm) i et område kan få betydning for spenninger i grunnen, og slik kan få en betydning i stabilitetsmessig sammenheng der forholdene ligger til rette for dette. Store vannlekkasjer som infiltreres i grunnen kan gi slik endring i grunnvannstilførsel. Derfor har det vært viktig å klarlegge lekkasjeepisoder i tiden forut for skredet.

Generelt:

Statland forsynes med drikkevann fra et grunnvannsanlegg. Pumpebrønnen har normal maksimalkapasitet på ca. 75 m³/døgn. Ledningsanlegget er gammelt, med mange lekkasjepunkter. Mest små lekkasjer, som er vanskelig å søke, men også enkelte store – som søkes etter en sinnrik prosedyre – med avstenging med stoppekraner, måling av vannstrømsendringer over tid fra pumpe, samt observasjoner i kummesystemer for overvann.

Det er mange (eldre) feriehus (vel 30) på Statland som er ubebodd i vinterhalvåret. Frostskafer/lekkasjer forekommer her ofte. Vannverket har derfor i forbindelse med reparasjoner «tvangsmontert» mange utvendige stoppekraner på stikkledninger, slik at nye lekkasjer kan "isoleres" ved avstenging uten medvirkning fra huseier.

Lekkasjer:

Se oversiktskart, bildemontasje og tekstforklaring til bilder i Vedlegg E.

Lekkasje Sjøtrøa (bilde A1-A4)

Før jul 2013 var det betydelige lekkasjer, 25 -35 m³/døgn på vannverksnettet. Én lekkasje ble funnet i Sjøtrøa, ca. ved Sjøtrøvegen nr. 22 - 24. Her ble ny vannledning lagt på et strekk med flere stikkledninger, og stoppekraner montert. Etter reparasjonen, som var ferdig litt før jul 2013, var lekkasjen redusert til ca. 25 m³/døgn. Se

Lekkasje Statlandvegen 18 (bilde B1-B15)

Lekkasjesøket fortsatte etter jula, og 25.01.14 ble nytt lekkasjepunkt observert i Statlandvegen 18, (Gnr.183 Bnr.78). Lekkasjen hadde oppstått i overgang fra grøft til kjeller. Vannledningen ble oppgravd utvendig, og avstengt. Lekkasje ca. 25 m³/døgn opphørte. Denne hadde pågått i minst 3 – 4 uker. Lekkasjevannet strømmet synlig ut på terreng utover bakken (Bilde B2-B3) like nedenfor huset (ble observert her), og ble tatt inn på OV-kum (se Bilde B4-B5). Lekkasjevannet har derfra strømmet i lukket OV-ledning og ble observert i OV-kum (Bilde B8), og reduksjonen i vannstrømmen her etter avstenging av VL til huset syntes godt forenlig med den store «rest»-lekkasjen. Fra OV-kum (Bilde B8) hadde lekkasjevannet fulgt OV-ledningen videre ned i Sagvika, med utløp ut i sjøen

Vurdering av lekkasjer fra vannforsyningen.

Etter befaring og beskrivelse er NVE sin vurdering av lekkasjene som følger:

Lekkasjene er forholdsvis små (10 – 25 m³/døgn), og lekkasjepunktene ligger i stor avstand (150 – 200 m) fra utløsningsområdet for skredet.

Lekkasjen ved Sjøtrøvegen ble stoppet/reparert over 1 mnd. før skredet.

Lekkasjevannet (ca. 15-20 l/min.) v/Statlandvegen nr. 18, som hadde strømmet ukontrollert ut like fram mot skredtidspunktet (reparert 25.01.14), var målt og observert ledet lukket gjennom etablert OV-ledningssystemet til utløp i sjø.

Ut fra de kartlagte omstendigheter anses det utelukket at de aktuelle lekkasjene kan ha gitt målbar effekt i forhold til skredutløsningspåvirkning.

2.1.3 III) Iskjøving i strandsonen vinteren 2013/2014

Til klarlegging av denne saken er det gjennomført intervjuer og befaring med:

- Namdalseid kommune v/ Jan Roger Kaldahl og vaktmester Arnfinn Teigmo
- Lokalkjent Svein Hågensen

Som i forhold til vannlekkasjene beskrevet foran, anses iskjøving også som indikasjon på vann på «avveie», med tilsvarende mulig effekt som ved vannledningslekkasjer.

Se oversiktskart, bildemontasje og tekstforklaring til bilder, Vedlegg 5

Vinteren 2013/14 har pr. 29.01.14 vært tørr på Statland, med lite overflateavrenning. Likevel oppsto det kraftig isvekst på et parti av Sjøtrøveien nedenfor nr. 32 (Gnr.183 Bnr.105) – «Direktørboligen». Denne isveksten finnes dokumentert på bilder (se bilde C5). I følge Jan Roger Kaldahl (Namdalseid kommune) var dette IKKE et årvisst problem (i dette omfanget), men spesielt i vinter.

Forklaringen antas å være at overløpsledningen fra septiktanken (se bilder C1-C4) til Sjøtrøvegen nr. 32 ned til sjø var blitt tett, enten frosset eller skadet. Dermed gikk overløpsvannet ut på annen måte, mest sannsynlig i overgangen mellom kum og lokk – og rant på terreng ned til veggen, hvor det etter hvert dannet seg en stor iskake. Vanntilførsel via veggrøft kan også ha bidratt til isveksten.

Pr. 09.04.14 er partiet av veggen hvor isveksten var å ha forsvunnet innerst i skredgroppen.

Vurdering:

Iskaken er åpenbart dannet ved frysing av overflatevann nede på grusvegbanen. Veggen har i liten grad greid å drenere vannet før det har frosset, og slik har videre tilført vann medført isvekst. Iskaken var tilstede på skredtidspunktet. Vektmessig gir ikke iskaken målbare bidrag til skredutløsning, og vanntilførselen (infiltrasjon) til grunnen må også anses som ordinær. Iskaken i seg selv utgjør det vesentligste av vanntilførselen, og lå igjen etter skredet.

2.1.4 IV) Omlegging av vannforsyning til settefiskanlegget

Vannforsyningen til settefiskanlegget måtte pga. den forestående utbygging for Statland Brygge flyttes. Ledningsanlegget består av 2 stk. Ø400 mm PE (plastledning). Disse ledningene lå i utgangspunktet nedgravd i strandsonen (på land) innenfor moloen østover mot settefiskanlegget. Her lå ledningene i konflikt med bebyggelsesplanen, og de måtte flyttes utover i sjøen.

Ny vannledningstrase ble lagt i den gamle «kanalen» (åpning mellom molo og land, for tidligere kanalisert utløp av Statlandelva), nedgravd ca. 0 -1,5 m i strandsonen på vestsiden av moloen – nedsenket på sjøbunn med lodd på østsiden, se Fig. 2.7.



Figur 2.7: Ca. ny trasé for vannledning til Namdal settefisk (pil). (Foto: Namdalseid kommune ca. 2012).

Arbeidet med omlegging av vannledningen ble utført i tiden april/mai 2013 av maskinentreprenør Nils Kaldahl. Det er ikke opplyst om annet enn at dette arbeidet gikk greit.

Vurdering:

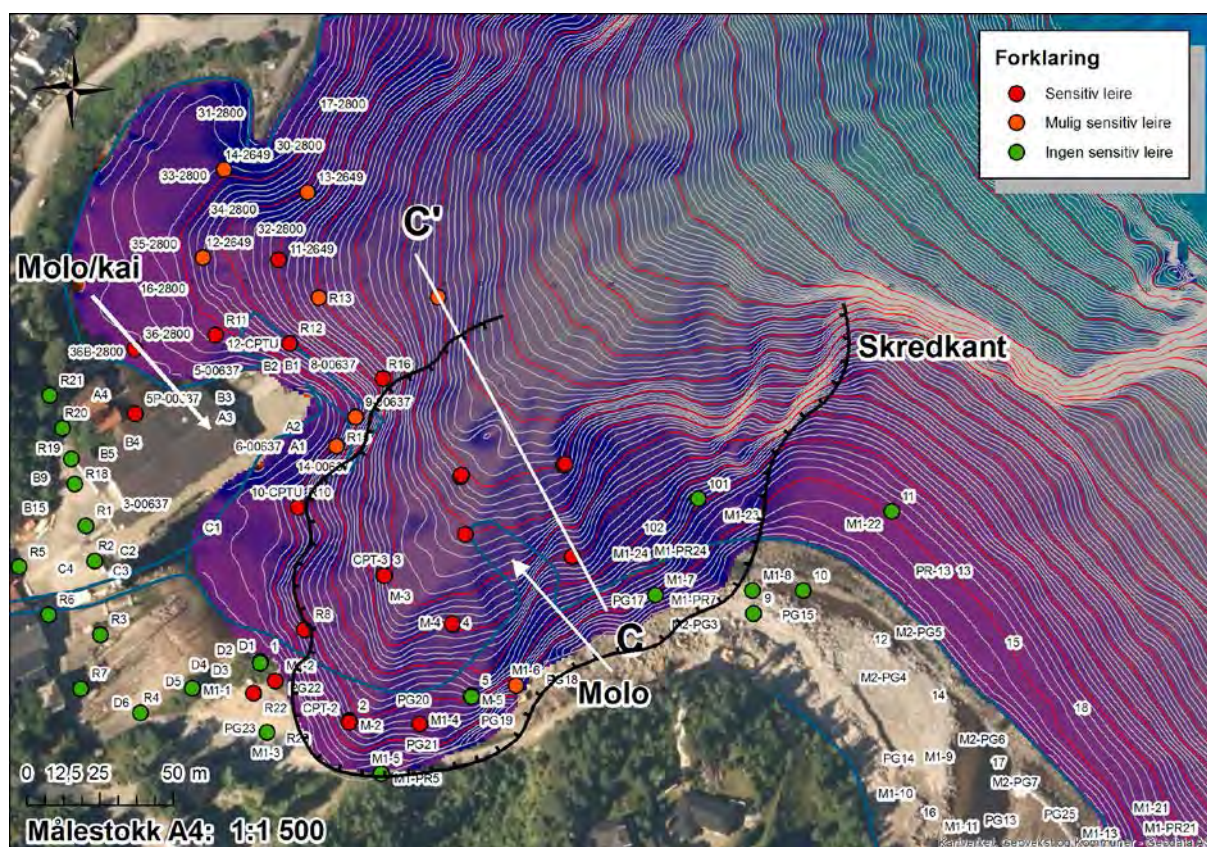
Vi kjenner ikke detaljert til hvordan arbeidet ble utført. Imidlertid har de inngrep omleggingen medførte vært små (liten grave-/tilbakefyllingsdybde), noe som neppe har forverret stabilitetssituasjonen i dette området vesentlig. Evt. udrenert påvirkning må ventes å ha stabilisert seg fra omleggingstidspunktet til skredet gikk ca. 8 – 9 måneder senere.

Vurdering av de foran beskrevne hendelser, samt aktiviteter i tilknytning til anleggsarbeidene ved Statland Brygge, er tatt inn i utredningens kap. 3 og 4.

3 Utredninger utført i regi av undersøkelsesgruppen

3.1 Beskrivelse av området – topografisk, geologisk/geoteknisk inkludert grunnundersøkelser, bunnkartlegging og seismikk

En detaljert beskrivelse av grunnforhold og topografi er gitt i NGIs notat 20140347-01-TN (Vedlegg A). I det etterfølgende er det gitt en oppsummering av vesentlige resultater fra arbeidet.



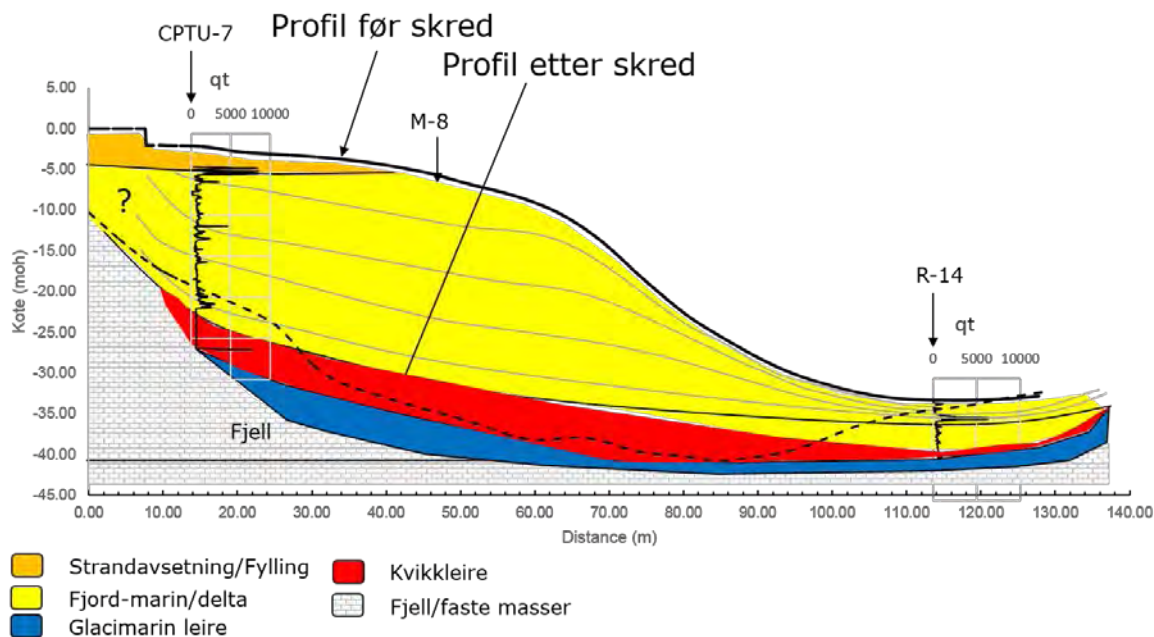
Figur 3.1 Oversikt – grunnundersøkelser. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

I forbindelse med tidligere planer for utbygging i området er det utført grunnboringer i strandområdet og i sjøen. Figur 3.1 gir en oversikt over utførte grunnundersøkelser. En del av grunnboringene nærmest skredgropa er utført for å undersøke skredet i etterkant av hendelsen. De fleste av boringene er utført i strandområdet, men det er også utført

flere boringer ute i sjøen. Samlet sett gir undersøkelsene et godt grunnlag for vurdering av grunnforholdene.

Sjøbunnstopografien er kartlagt med multistråle-ekkolodd både før og etter skredet hhv. i 2012 og 2014. I tillegg er det i etterkant av skredet utført refleksjonsseismiske undersøkelser for å kartlegge utbredelsen av skredavsetningen, tykkelsen av løsmasseavsetningene og bergdybde.

Et typisk løsmasseprofil gjennom Sagvika er vist i *Figur 3.2*.



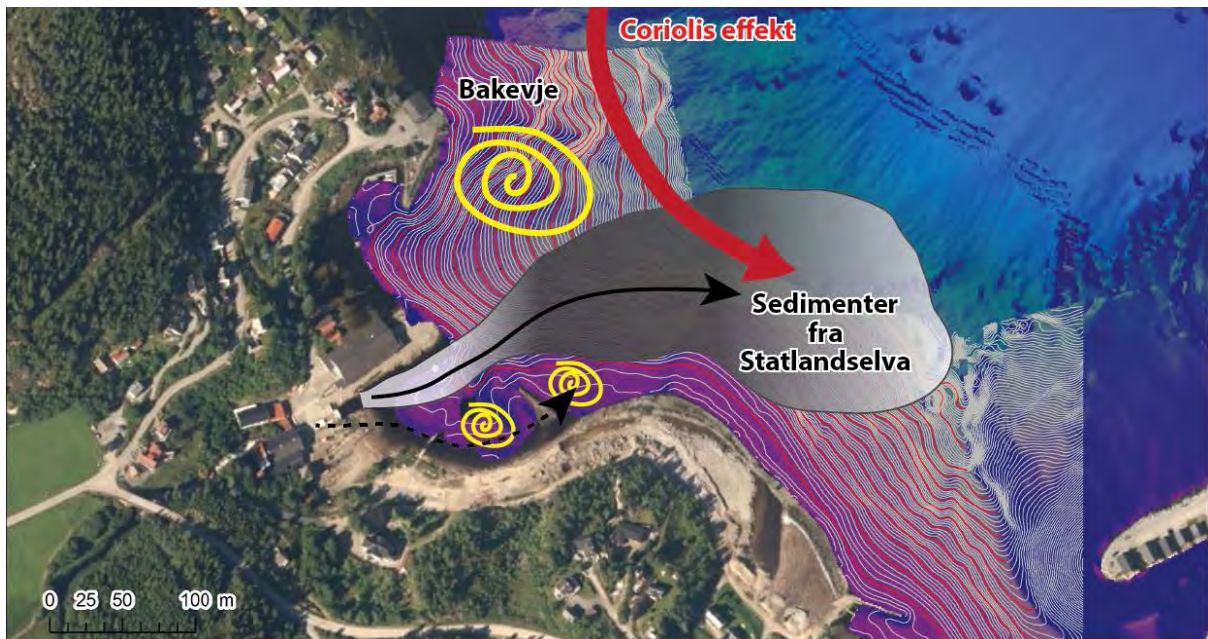
Figur 3.2: Typisk løsmasseprofil gjennom Sagvika (Profil C). Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

Over fjell/morene er lagdelingen delt i tre hovedlagpakker som følger:

1. Strandavsetning og fyllmasser – (grus, sand og trevirke)
2. Fjord-marin deltaavsetning – (Sand, silt, leire)
3. Kvikkleire
4. Glacimarin leire – (Leire med noe sand og grus)

Inne på land ligger berget grunt og det er berg i dagen på flere steder. Berget faller bratt utover i sjøen hvor det er avsatt mektige lag av løsmasser. Løsmassene er for det meste avsatt som deltaavsetninger foran utløpet av Statlandelva, jf. *Figur 3.3*.

Deltaavsetningene består av sand og silt, men i dybden er det også påtruffet lag av leire. Det er også påvist flis fra sagbrukstiden.

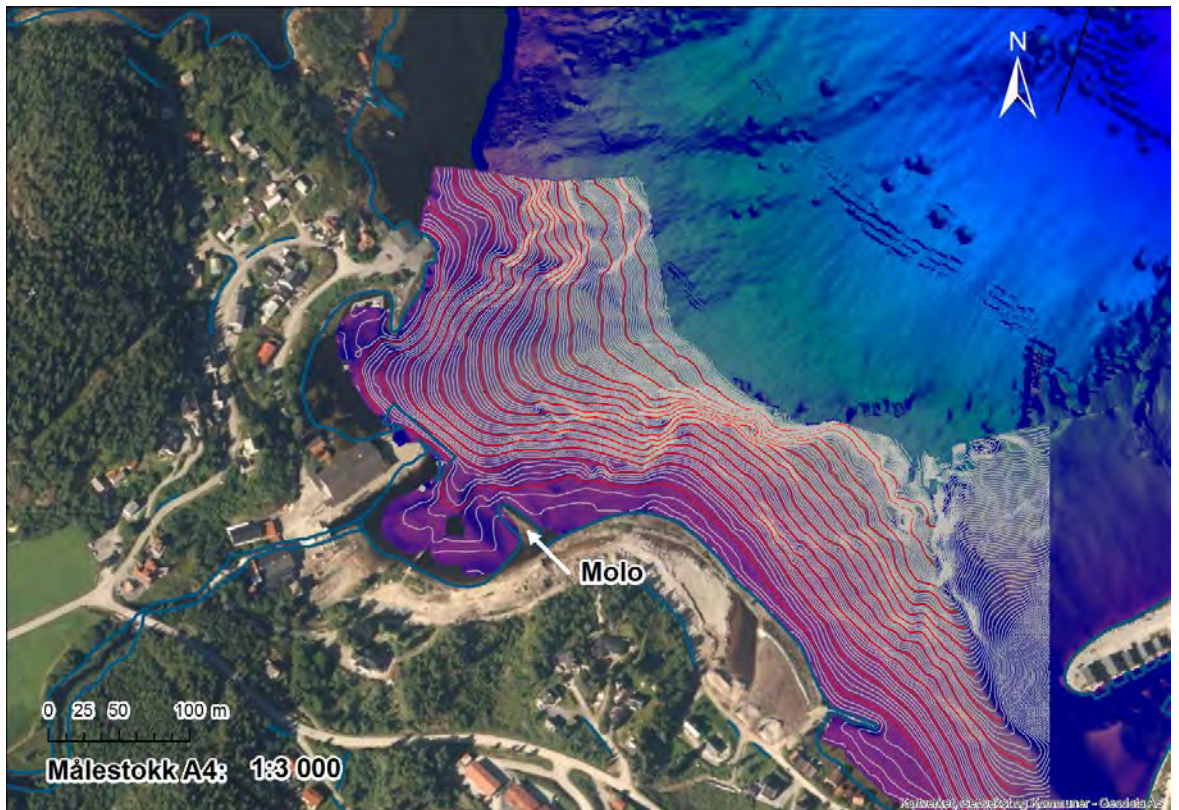


Figur 3.3 Prinsipp for dannelse av deltaavsetning. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

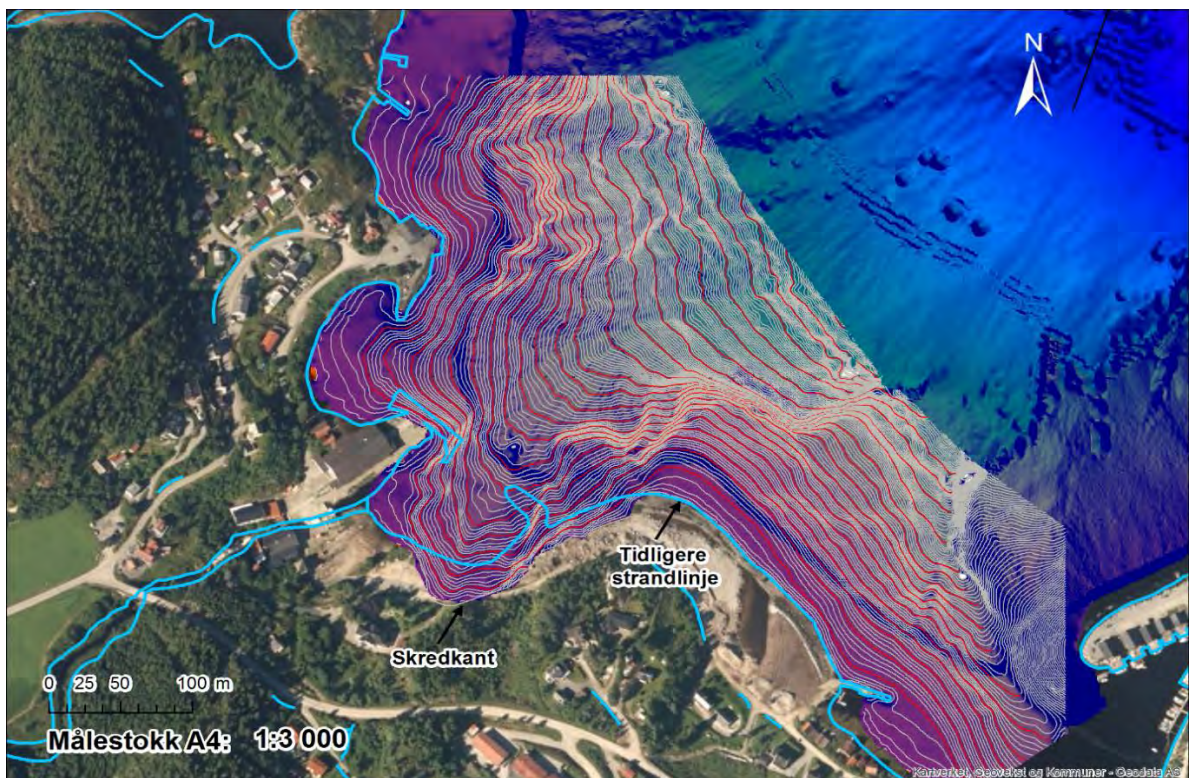
Deltaavsetningene er avsatt over eldre marine og glacialmarine avsetninger. De marine avsetningene består til dels av kvikkleire / sensitiv leire. Borpunkter med sensitive og lite sensitive løsmasser er markert med fargekoder i *Figur 3.1*. Boringene indikerer kvikk / sensitiv leire på stor dybde ute i sjøen (under den mektige deltaavsetningen) og i strandsonen innerst i Sagvika. Det er ikke påvist sensitive leirmasser i ytre del av bukta der anleggsarbeidene pågikk forut for skredhendelsen.

I strandsonen har det pågått noe utfylling i forbindelse med sagbruksdriften i Sagvika. Strandlinja har blitt brukt til lagring av sagtømmer og det er i den forbindelse fylt opp typisk 2-4 meter for etablering av en sjeté langs land. Det er også fylt ut for etablering av to moloer innerst i Sagvika. Den ene moloen ble tatt av skredet, mens skredet stoppet opp ved kanten av den andre moloen (hvor Trønderelement holder til i dag). Fyllmassene består for en stor del av trevirke og flis, men også sand, grus og stein.

Batymetriske data viser at skredet har tatt med seg 350 – 400 tusen kubikkmeter løsmasser. Dette fremkommer ved å regne differansen mellom sjøbunnen før og etter skredet. *Figur 3.4* og *Figur 3.5* viser hvordan sjøbunnstopografien har endret seg. På det meste har den utraste løsmasseavsetningen hatt en mektighet på 25-30 meter, jf. stiplede linje i *Figur 3.2*.

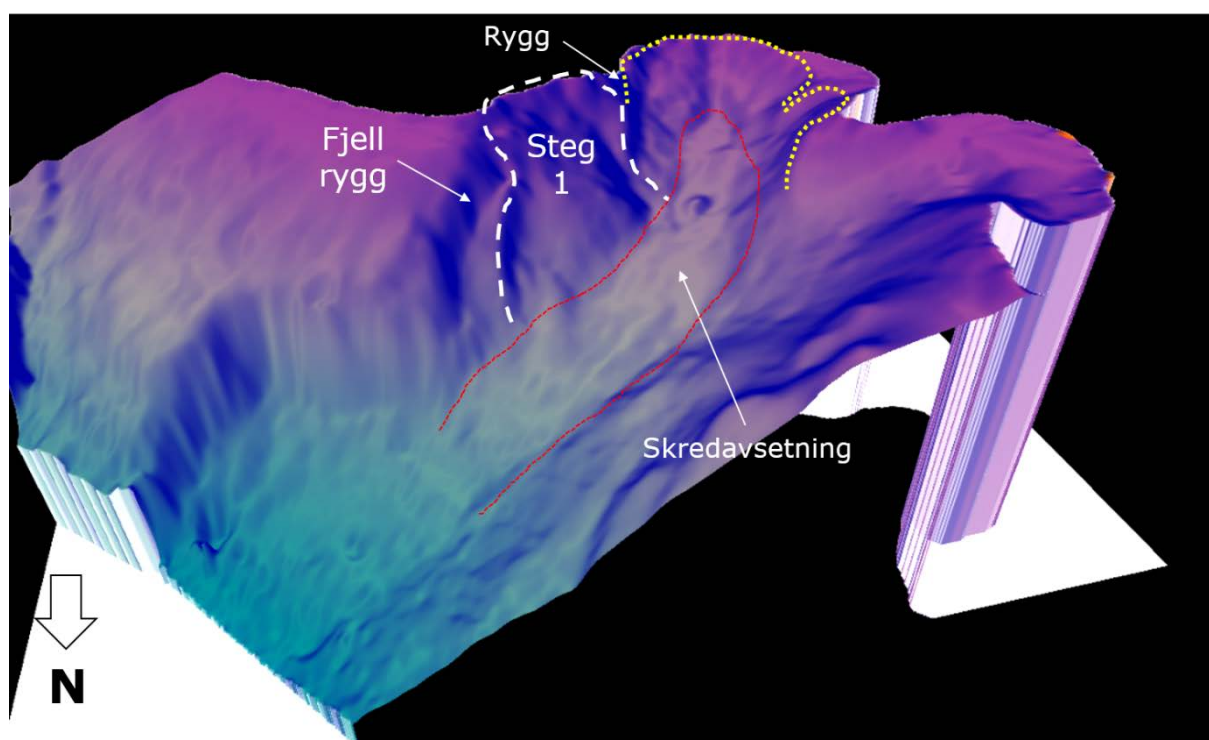


Figur 3.4 Sjøbunn før skredet. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.



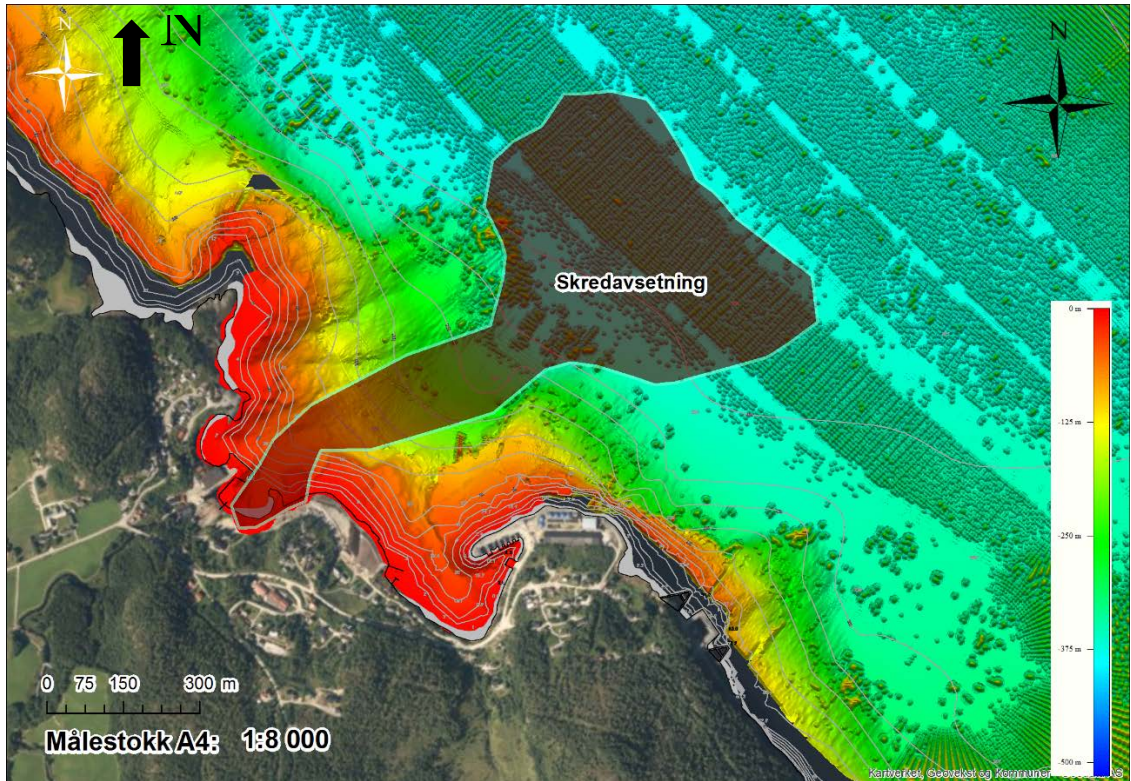
Figur 3.5 Sjøbunn etter skredet. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

Innsamlede batymetridata fra 2014 viser en sedimentrygg rett utenfor den utraste moloen i Sagvika, jf. *Figur 3.6*. Denne ryggen deler skredområdet i to (dvs. øst og vest fra moloen). Skredområdet vest for moloen er typisk pæreformet med litt smalere skredport mot den dypeste delen av skredet. Skredmassene er godt synlig på sjøbunnen nedenfor skredområdet. Deler av skredmassene dekker over foten av skredområdet øst for moloen. Dette tilsier at skredet øst for moloen sannsynligvis oppsto først (Steg 1) og at skredet vest for moloen kom i neste fase av skredet (Steg 2). Steg 1 ligger i området hvor det forut for skredet ble fylt opp, masseutskiftet og komprimert med vibrovals. I dette området har skråningen retning mot området hvor det ble registrert størst oppskylling fra flodbølgen som ble generert av skredet.

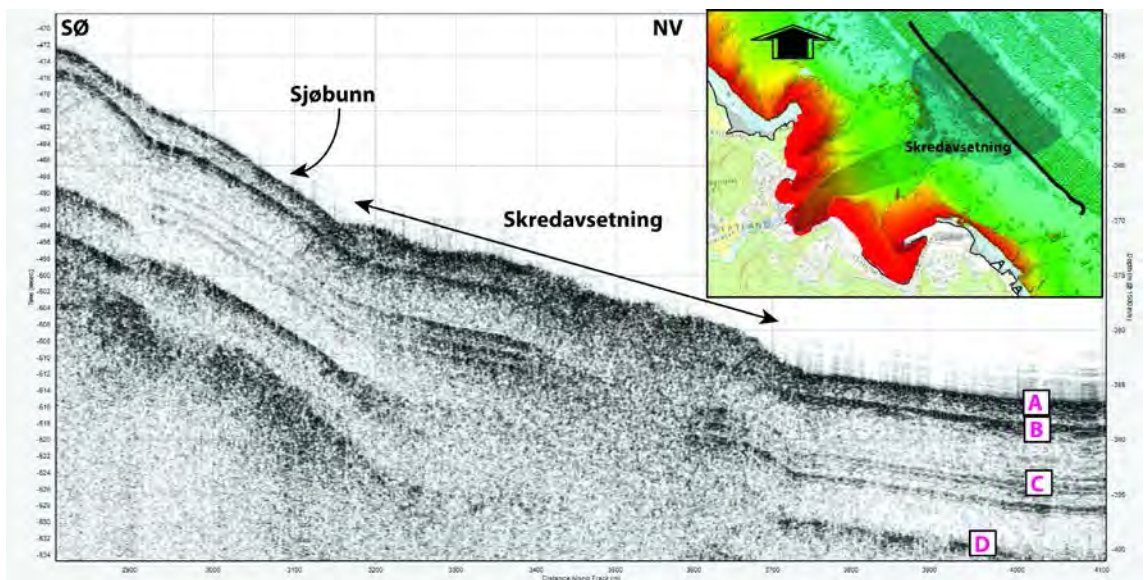


Figur 3.6: 3D terrengbilde etter skred. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

Refleksjonsseismiske data indikerer at skredavsetningen strekker seg opptil 1300 meter ut fra land, jf. *Figur 3.7*. Videre indikerer de seismiske dataene at skredmassene er avsatt innenfor et område på ca. 240,000 m², mellom ca. kt. -350 og kt. -370. Skredavsetningen varierer i tykkelse fra 1 til 3 m, jf. *Figur 3.8*. Seismiske profiler langs i alt 16 linjer er lagt til grunn for denne tolkningen.



Figur 3.7 Utbredelse av skredavsetning fra seismiske data. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

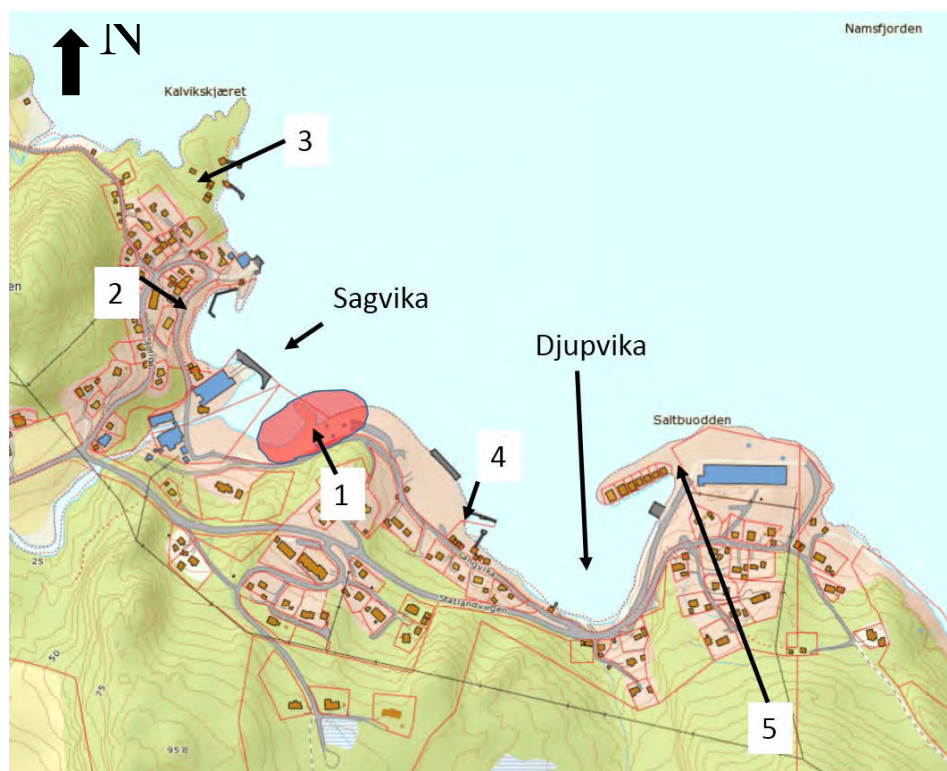


Figur 3.8 Tolket utbredelse av skredmasser, eksempel Profil 9. Ref. NGI notat 20140347-01-TN, Vedlegg A.

3.2 Flodbølgesimuleringer

En detaljert beskrivelse av flodbølgesimuleringer er gitt i NGIs notat 20140347-02-TN (Vedlegg B). I det etterfølgende er det gitt en oppsummering av vesentlige resultater fra arbeidet.

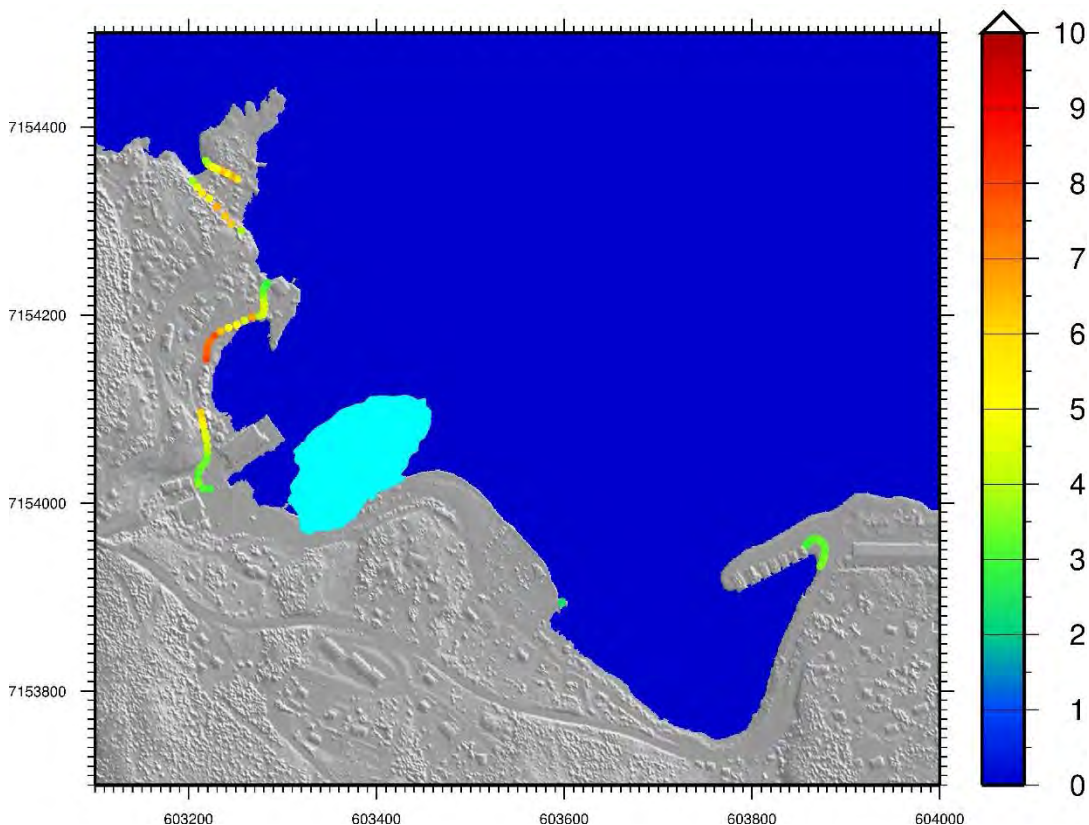
NGI var på befaring fredag 2014-01-31 ved Nord-Statland mellom kl. 0900 og 1400. Hensikten med befaringen var i første rekke å kartlegge oppskyllingen av flodbølgen, men også å få beskrevet hva øyenvitner opplevde av bølgene etter skredet på Nord-Statland.



Figur 3.9: Kart over Nord-Statland ved Namsfjorden, Namdalseid kommune. 1: skredområde, 2: størst oppskylling 8-9 m, 3: flere naust totalt ødelagt ved Kvalvikskjæret, 4: vann strømmet ut fra Djupvika som en elv etter første bølgetopp, liten pil markerer hvor vannet så vidt slo over molo, 5 (Saltbuodden): flere brygger ødelagt og båter kastet rundt. Settefiskanlegget ligger øst for bryggene/rorbuene ved Saltbuodden. Snekkeriet ligger midt i Sagvika (blå bygning på kartet lengst ned mot sjøen). Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

Under befaringen ble oppskyllingslinjene (hvor langt innover land vannet trengte) registrert. Høyest nådde vannet ved punkt 2 i Figur 3.9. Her gikk vannet opptil 10 m høyere enn vannstanden på det aktuelle tidspunktet. I Figur 3.10 vises de registrerte oppskyllingslinjene og hvor høyt denne ligger over NN1954 (referanse høyde i landkart).

Ifølge øyenvitneobservasjoner kom det først en flodbølge med høyde på 4-5 meter inn i Djupvika. Deretter ble vannet trukket ut av bukta slik at den nesten ble tørrlagt (båter kom i kontakt med bunnen). Det anslås at vannstanden kan ha vært ca. 4,5 meter lavere enn havnivået på det meste. Det gikk ca. ett minutt fra vannet begynte å trekke seg tilbake før vannstanden var på normalt nivå igjen.



Figur 3.10: Fargede punkt viser oppskyllingslinjer og høyden på disse. Verdiene viser høyde i meter over NN1954. Vannivået i fjorden da bølgen slo inn var 1.6 m lågere enn NN1954. Reell oppskyllingshøyde er derfor 1.6 m høyere enn vist i figuren. Oppskyllingshøyder som ikke nådde høyere enn normalt høyvann lot seg ikke registrere (høydene her kan ha vært opp mot 3 m). Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

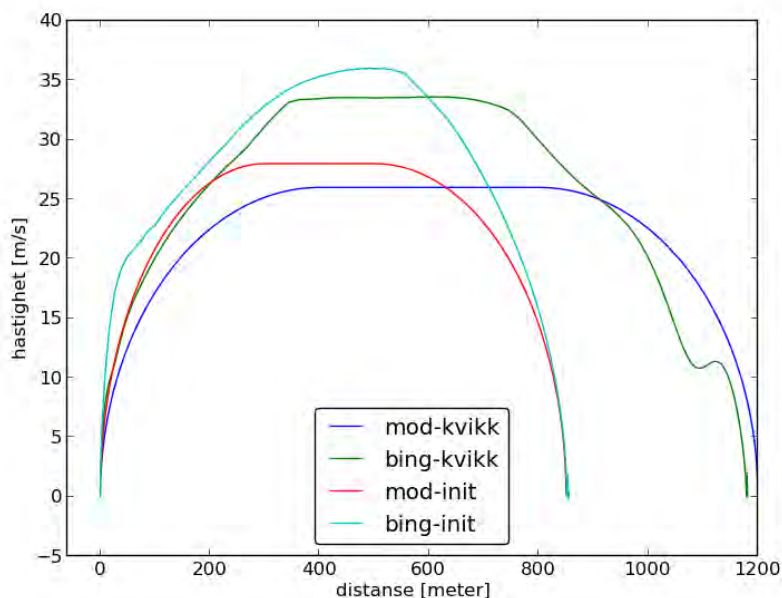
Som grunnlag for flodbølgesimuleringer er det først utført en utløpsmodellering av skredmassene (dvs. fra initial brudd til avsetning av skredmassene på fjord bunnen). Simuleringen av skredet er utført med en kvasi-2D numerisk modell «BING» (Imran m.fl., 2001) som ble utviklet for debris flows basert på Herschel–Bulkley (HB) reologi.

Som inngangsdata til BING inngår den opprinnelige lengden og den maksimale tykkelsen av skredmassene. Disse parameterne er bestemt ut fra topografiske data (sjøbunnskartlegging før og etter skredet). Skredmassenes tetthet ble satt til 1800 kg/m^3 i alle simuleringene. Videre er τ_y og μ_{HB} , hhv. flytespenningen (eller omrørt skjærstyrke) og

HB-viskositeten, viktige inngangsparametere. Verdiene for τ_y og μ_{HB} ble justert for å gjenspeile de observerte utløpsdistanse (tolket fra seismikk).

Det ble utført utløpssimuleringer både under forutsetning om at hele skredet løsnet samtidig og under forutsetning om et to-delt skredforløp; dvs. området utenfor moloen i Sagvika løsnet før området innenfor moloen. Resultatene viser at simulert utløpsdistanse og avsetningstykkelse stemmer best overens med observerte skredmorfologi ved forutsetning om et to-delt skredforløp.

Utløpssimuleringen gir videre hastighetsprofiler som er benyttet videre til flodbølgesimuleringer med bølgemodellen GloBouss (Løvholt m.fl., 2010 og Pedersen og Løvholt, 2008). Hastighetene fra Bing er redusert med 20 % i flodbølgesimuleringene pga. at BING bla. ikke tar hensyn til viskøst drag, jf. *Figur 3.11*.

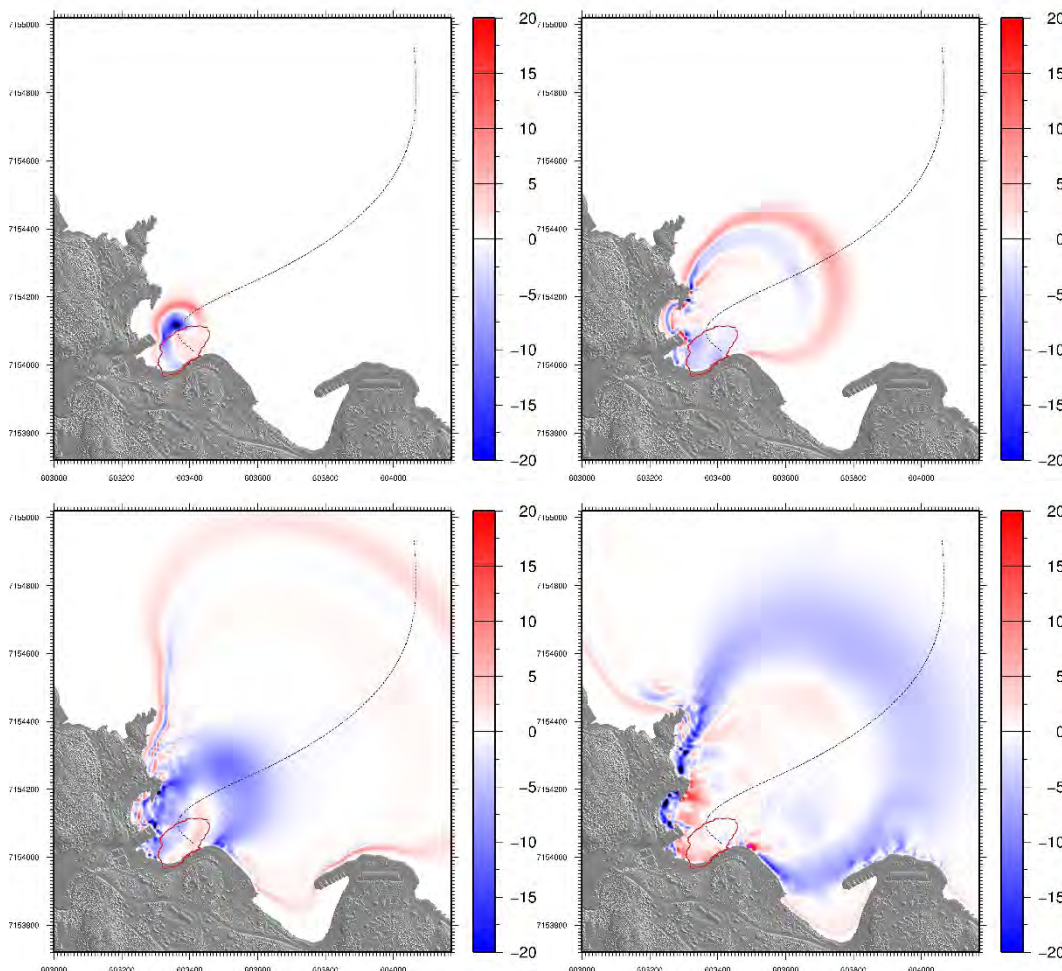


Figur 3.11: Hastighetsforløpet for det initiale skredet (linje merket 'mod-init') og kvikkleireskredet ('mod-kvikk') som er brukt i flodbølgeberegningene sammenlignet med hastighetene fra BING (se utløpsmodelleringen over). Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

Flodbølgesimuleringene er på samme måte som utløpssimuleringene utført under forutsetning om ulike skredforløp. Viktige parametere i tillegg til hastighetsprofilet er skredmassenes utbredelse og tykkelse i akselerasjonsfasen.

Resultatet av flodbølgesimuleringene tilsier at registrert oppskylling best tilpasses under forutsetning om et to-delt skred. Dersom hele skredet går ut samtidig og forenklet beveger seg langs en rett linje mot nordøst, vil resulterende oppskyllingshøyde i Sagvika bli for liten. Bedre samsvar oppnås ved å la Steg 1 av skredet (i ytre del av Sagvika) først

bevege seg mot nord før det svinger av mot nordøst. Øyenvitneobservasjonene om tilbaketrekking av vann i Djupvika kan simuleres ved å anta at «kvikkleireskredet», dvs. «Steg nr. 2», gikk ut samlet og at bakre del av skredet gradvis ble strukket ut gjennom skredforløpet. I *Figur 3.12* er bølgeutbredelsen vist for ulike tidspunkter (10, 20, 30 og 40 sekunder).



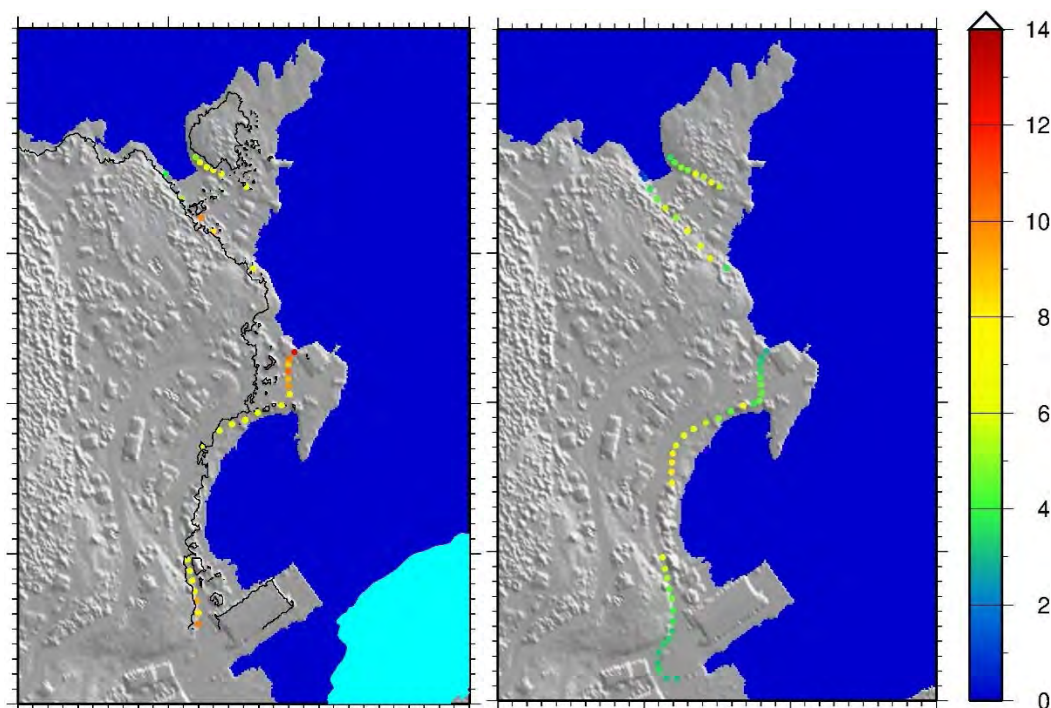
Figur 3.12: Bølgeutbredelsen etter 10 s (fra øverst til venstre), 20 s, 30 s, og 40 s. Legg merke til den lange bølgedalen som er på vei inn mot Djupvika i figuren nederst til høyre (40 s). Skredbanen for Steg 1 av skredet er stiplet i svart og skredomrisset er lagt inn med rød linje. Fargeskala i meter over / under havnivået (ca. kt. -1,6). Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

Selve bølgeoppbyggingsfasen er beregnet med en separat modell «MOST» (Titov og Gonzalez 1997). MOST leser data fra bølgemodellen GloBouss som ligger til grunn for flodbølgesimuleringene beskrevet over. MOST beregner bølger i grunne områder nært strandlinjen og hvordan vannmassene beveger seg videre innover tørt land.

Modellert og registrert oppskylling i Sagvika og nordover er vist i *Figur 3.13*.

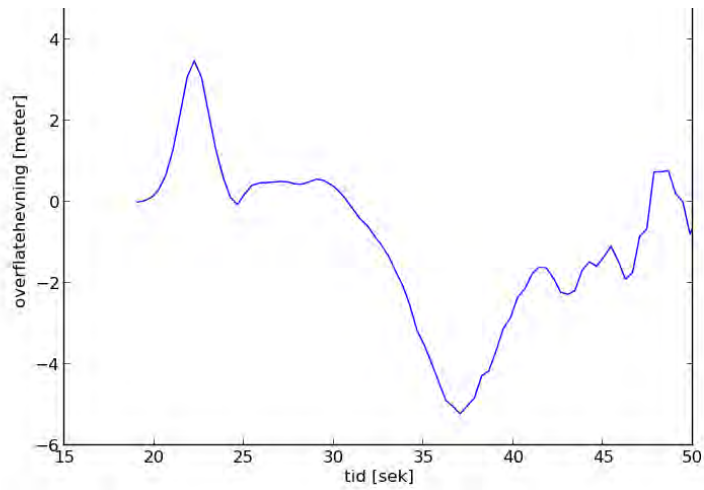
Modelleringen gir bra samsvar for den maksimale oppskyllingen i Sagvika (punkt 2 i *Figur 3.9*), ved butikken derimot (mellom punkt 2 og punkt 3 i *Figur 3.9*) gir modelleringen for

høye verdier. Selv om den grunnleggende skredbevegelse er ivaretatt, kan det se ut som detaljerte bevegelser, spesielt nær Sagvika, ikke er fanget opp av modelleringen. Oppskyllingen stemmer bra for området videre nord for butikken, se sammenligning av oppskyllingslinjer i Figur 3.13 (fargede punkter er registrert oppskyllingslinje og heltrukket svart linje er modellert oppskyllingslinje). Det er også bra samsvar østover i Djupvika/ved Saltbuodden hvor oppskyllingen i modellene ligger 0.5-1 m over det som var registrert, det vil si et avvik på mindre enn ca. 20 %.



Figur 3.13: Modellert oppskylling for Sagvika og nor dover (venstre figur). Oppskyllingslinje i modelleringen er trukket med en svart linje, mens maksimalt vannivå langs samme punkter som oppskyllingslinjen registrert rett etter hendelsen (høyre figur) vises i de fargede punktene/linjer. Fargen i begge delfigurene viser høyde i meter over NN1954. Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

En tidshistorie av overflate-hevningen i Djupvika er vist i Figur 3.14. Den dypeste delen av bølgedalen passerer her den ytre delen av brygga ved Saltbuodden. Modelleringen viser at den observerte uttrekkingen av vannet i Djupvika kan forklares ved hjelp av et sammenhengende kvikkleireskred. Skredet kan likevel ha vært retrogressivt, men i så fall med kort tidsforsinkelse mellom hver avskalling slik at skredet etter omrøring henger sammen. Det er godt samsvar mellom det som er modellert og det som ble observert under hendelsen når det gjelder bølgedalen inn mot Djupvika.



Figur 3.14: Tidsserie av overflatehevning i Djupvika (like utenfor bryggene ved Saltbuodden). Ref. NGI notat 20140347-02-TN, Vedlegg B.

3.3 Rystelser

En detaljert beskrivelse av utførte rystelsesmodelleringer er gitt i NGIs notat 20140347-03-TN (Vedlegg C). I det etterfølgende er det gitt en oppsummering av vesentlige resultater fra arbeidet.

Rystelser er først og fremst analysert mht. komprimering med vibrovals. Det er også gitt en rystelsesvurdering mht. sprengning. Rystelser pga. komprimering med vibrovals er grundigere analysert fordi komprimeringsarbeidet ble utført like forut for skredhendelsen, mens sprengningsarbeidene ble avsluttet ca. et halvt år før skredet ble utløst.

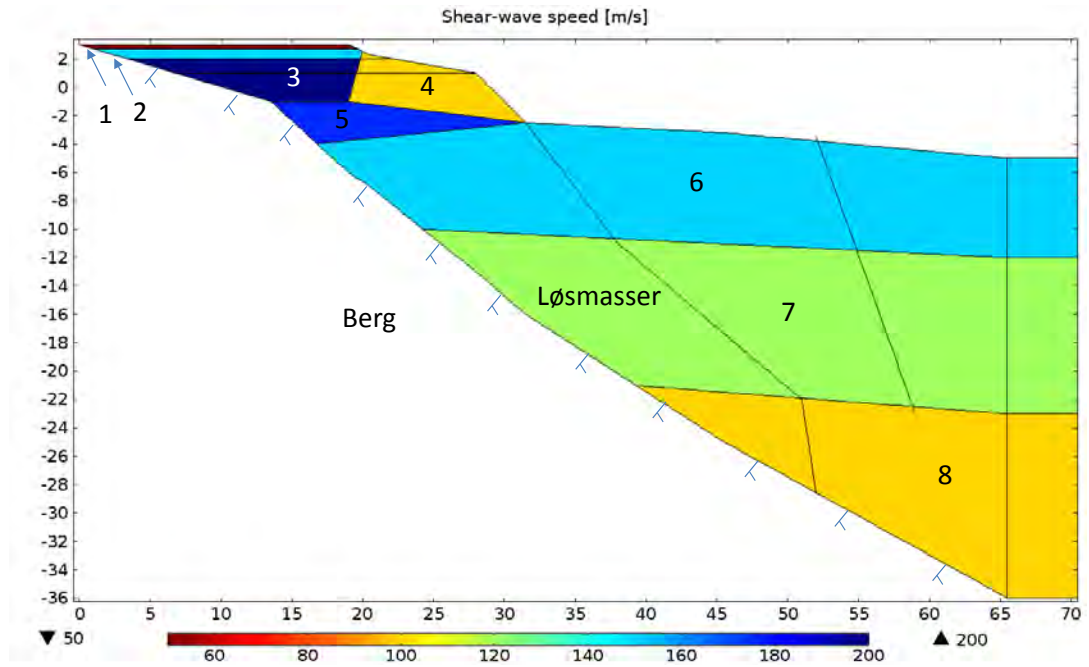
For å vurdere virkningen av rystelser fra vibrovalsen på skråningstabiliteten, er det først vurdert om de sykliske spenningene og tøyningene som rystelsene påfører massene kan lede til poretrykksoppbygging, syklisk nedbryting og brudd i løsmassene i øvre del av skredområdet. Data for den aktuelle vibrovalsen som ble brukt fremgår av Tabell 3.1. Det er fortsatt ikke full klarhet i vibrasjonsfrekvens. Entreprenør oppgir 20 Hz. I følge datablad fra Volvo er laveste mulige frekvens 23.3 Hz. Det er benyttet 20 Hz i beregningene. Det antas at beregninger med at en litt annen frekvens ikke ville gitt vesentlig forskjellige resultater.

Tabell 3.1 Data for vibrovalsen som ble benyttet

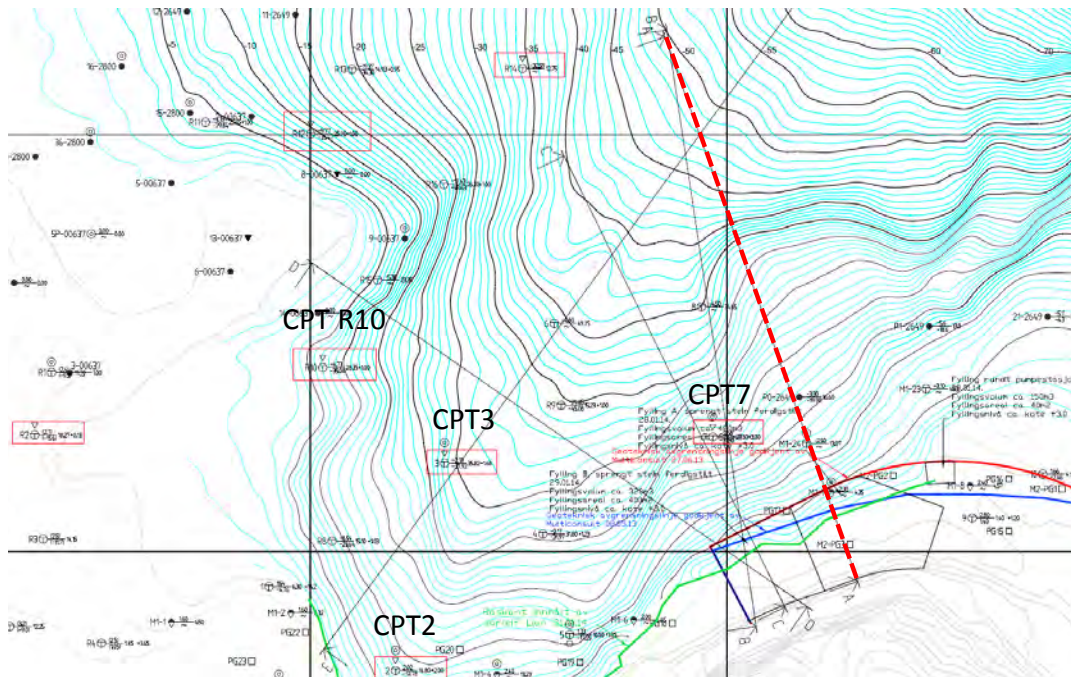
Type	Volvo SD115 D6	Anmerking
Statisk masse	11845 kg 6215 kg 5630 kg	Totalt for maskinen - Andel på valsen - Andel på gummihjulene
Vibrasjonsfrekvenser	23.3/23.8/25.8/28.3/33.8 Hz 20 Hz	Forhåndsinnstilte – Opsjon. Fra datablad Oppgitt brukt på Statland fra entreprenøren. Brukt i våre beregninger.
Antall vibrasjoner per m Kjørehastighet	40 slag/m 0 – 13.3 km/t og 0 - 5.1km/t 1.8 km/t	Oppgitt fra entreprenøren. Fra datablad Tilbakeregnet fra 40 slag/m v/ 20 Hz → 0.5 m/s = 1.8 km/t
Dynamisk last	258 kN	Uavhengig av frekvens – Eksentrisitet kompensert
Nominell vibrasjonsamplitude Dynamisk masse av trommel	1.92 mm 3600 kg	Antatt som amplitude når trommel vibrerer fritt Tilbakeregnet fra nominell amplitude, dynamisk last og frekvens
Bredde av trommel Diameter av trommel	2134 mm 1500 mm	

Det er etablert en beregningsmodell ved hjelp av Finite-Element programvaren Comsol Multiphysics. Her er den dynamiske lasten fra vibrovalsen modellert som en stripelast

som hviler på et løsmasseprofil. Løsmasseprofilet er basert på data fra tilgjengelige geotekniske rapporter, jf. *Figur 3.15*, 3.16 og *Tabell 3.2 Dynamiske jordparametere benyttet i rystelsesberegningene*.



Figur 3.15 Beregningsnitt (Profil A) med avstand i meter på horisontal akse og kote på vertikal akse. Farger viser skjærbølgehastighet i meter per sekund i løsmassene. Se tekst for beskrivelse. Ref. NGI notat 20140347-03-TN, Vedlegg C.

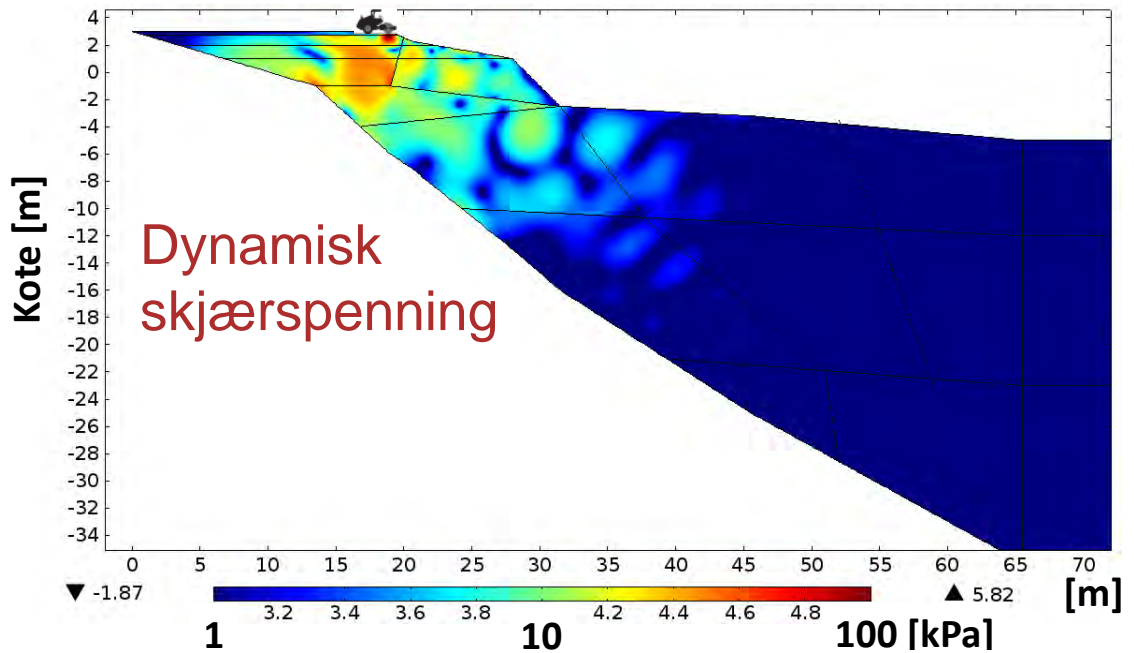


Figur 3.16 Beliggenhet av Profil A. Ref. NGI notat 20140347-03-TN, Vedlegg C.
 Tabell 3.2 Dynamiske jordparametere benyttet i rystelsesberegningene

Sone nummer ifølge Figur 3.15	Kote på toppen av lag [m]	Navn på sone	Masse-tetthet [kg/m ³]	Skjærbølge-hastighet [m/s]	Poisson's tall [1]	Trykkbølge-hastighet [m/s]	Material hysteresedemping [%]
1	3	Plastified Fill	1900	50	0.44	150	5.0
2	2.7	Fill	1900	150	0.33	300	4.0
3	2	Replaced soil 200 m/s	1950	200	0.40	500	4.0
4	2.5	Old fill	1530	100	0.33	200	2.0
5	-1	Below Fill	1870	175	0.49	1500	2.5
6	-4	Silt and sand 150 m/s	1870	150	0.495	1500	2.5
7	-10	Clay 120 m/s	2000	120	0.497	1500	2.5
8	-21	Clay 100 m/s	2000	100	0.498	1500	2.5

Med beregningsmodellen beregnes størrelsen av dynamiske (sykliske) spenninger og tøyninger i løsmassene. Disse spenningene og tøyningene er avhengige av geometri, lagdeling og jordparametere i profilet, av amplitude og frekvens, samt dynamisk last fra vibrovalsen. Også hvor valsen befinner seg på fyllingen er av betydning for påkjenningene. Dynamisk last er antatt å avta med dybden fra vibrovalsen med lastspredningsforholdet 2:1. Ved et samspill mellom lagtykkelser, dybde til berg, materialparametere for løsmassene vibrasjonsfrekvensen kan det oppstå resonanssvingninger i jordprofilet. Påkjenningen blir betydelig større for frekvenser hvor resonans oppstår. Figur 3.17 viser

sykliske skjærspenninger. Beregningene tilsier at de opptredende sykliske skjærspenningene kan komme opp i 10 kPa ned til kote -10 ved resonans.



Figur 3.17 Sykliske skjærspenninger i kPa i logaritmisk fargeskala. Spenningene er størst rett under det fremre hjulet på vibrovalsen. Stående bølger (resonans) i løsmassene gjør at store skjærspenninger på 10 kPa er observert ned til kote -10m. Ref. NGI notat 20140347-03-TN, Vedlegg C.

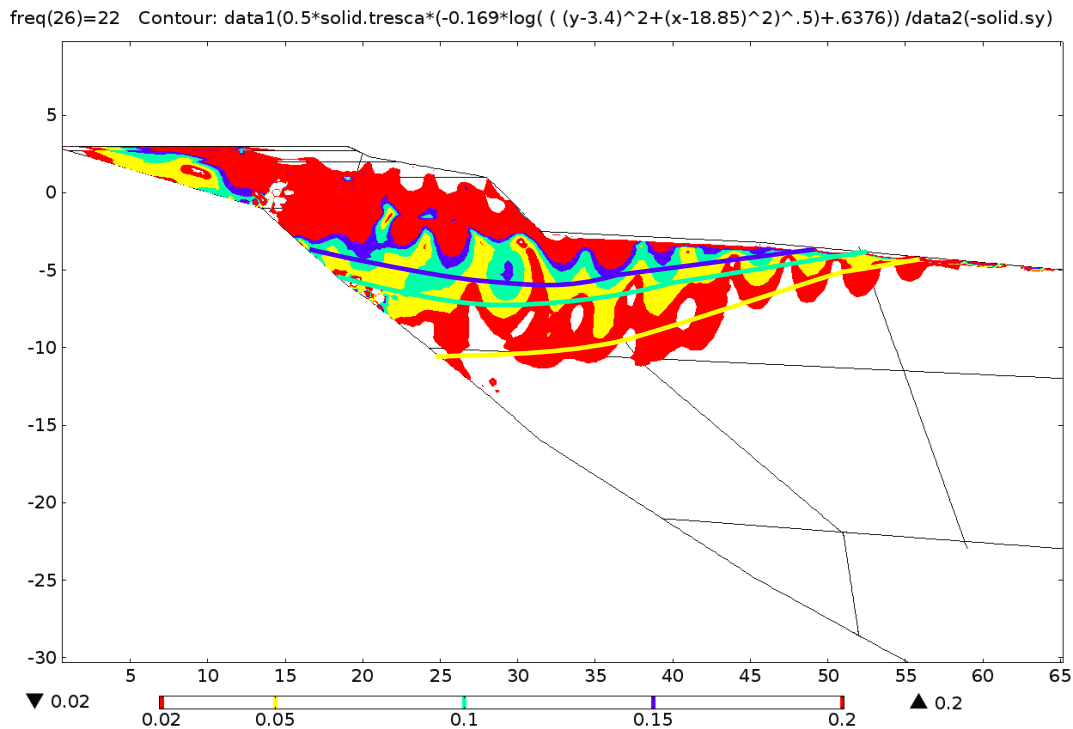
Påkjenningsene som rystelsene påfører løsmassene er vurdert gjennom å sammenligne sykliske skjærspenninger med løsmassenes sykliske styrke. Den sykliske styrken til løsmassene er etablert ut fra NGIs erfaringer med lignende jordtyper og basert på informasjon som er tilgjengelig i litteraturen.

Syklisk styrke (T_{cy}) anslås å ligge innenfor følgende intervall:

$$T_{cy} = (0,05 - 0,15) \times p_0'$$

Der p_0' angir «in-situ» vertikal effektivspenning.

Resultatene av beregningene er presentert i form av soner i løsmasseprofilen som kan forventes å gå til brudd på grunn av de sykliske påkjenningsene fra vibrovalsen. Figur 3.18 angir ytre grense for utbredelse av sonen som går til brudd under forutsetning om at syklisk styrke tilsvarer 0,05, 0,1 og 0,15 ganger vertikal effektivspenning. Området som ligger over og til venstre for hhv. gul, grønn og violett linje representerer sonen som går til brudd.



Figur 3.18 Variasjon av sykliske skjærspenninger normalisert på vertikale effektivspenninger i skråningen utsatt for rystelser fra vibrovalsen. Farger gir størrelsen på skjærspenningene. Gul, grønn og violett linjer viser nedre grense for område som er antatt å gå til brudd for normalisert skjærspenninger på 0,05, 0,1 og 0,15. Ref. NGI notat 20140347-03-TN, Vedlegg C.

Ut fra beregningene anses det som sannsynlig at vibrovalsen kan ha forårsaket poretrykksoppbygging og brudd i løsmassene ned til kote -5 eller dypere, siden brudd oppstår i sone ned til kote -5 som vist i Figur 3.18 for den høyeste bruddstyrken med normalisert skjærstyrke på 0,15.

Sprengningsarbeidene pågikk i perioden fra 8/7-2013 til 20/8-2013. Det skal ha blitt utført i alt 17 sprengninger, hvorav det er mottatt salverapporter fra 8 sprengninger. Målte rystelser viser verdier mellom 8.9 mm/s og 25.4 mm/s. Sprengningene ble avsluttet over et halvt år før skredet gikk og de vibrasjonene som sprengningene medførte i de potensielt ustabile massene som senere raste ut, har neppe overskredet grenseverdien i NS8141-3. På denne bakgrunnen kan det utelukkes at vibrasjoner fra sprengningene kan ha bidratt til å utløse skredet 29/1-2014.

Løsmassegeologien er nærmere beskrevet i kap. 3.1. Løsmassene består av 4 fremtredende lagpakker med ulike geotekniske egenskaper:

1. Fyllmasser (flis/sagflis, sand og grus)
2. Deltaavsetning - Sand, silt og leire
3. Kvikkleire / sensitiv leire
4. Glacimarin leire med grus – markert høyere motstand

Generelt er det en god del data fra lag nr. 1 og 2, mens det er lite data fra leira i lag 3. og 4. Dette har sammenheng med at leirmassene for det meste ligger på stor dybde ute i sjøen og at de fleste boringene er utført på land. Det ligger derfor en del usikkerhet i tolkede laggrensener.

Valgte jordartsparametere fremgår av tabell 3.4. I deltaavsetningene er det en god del prøvedata som ligger til grunn. I leira er det tatt prøver på land. I sjøen er det utført CPTU-sonderinger som er tolket mht. udrenert skjærstyrke.

Tabell 3.3 Oversikt over parametere, beste estimat ut fra målinger og erfaringsverdier

Jordart	Romvekt, ρ [kN/m ³]		Skjærfasthet [kPa / °]	
	Total	Effektiv	Udrenert, s_u [kPa]	Drenert, $\phi - c'$
Masseutskifting og ny oppfylling	19	9	-	42°-0
Gammel fyllmasse	15.3	5.3	-	32° - 0
Grus	18.7	8.7	-	35° - 0
Silt, sand, leire	17.0 -18.7	5.0 - 6.7 (7.0-8.7)	-	33° - 4
Kvikkleire	20.1	8.1	a) s_u^A fra CPTU 7 b) $s_u^A = 0,3 \times p_0'$ ADP=1,0-0,65-0,33	-
Glasiomarin leire	20.1	8.1	-	30° - 0

*Forutsetter poreovertrykk ($u_0=12$ kPa/m x dybde)

() – tall i parentes – gjelder ved antagelse om hydrostatisk poretrykk

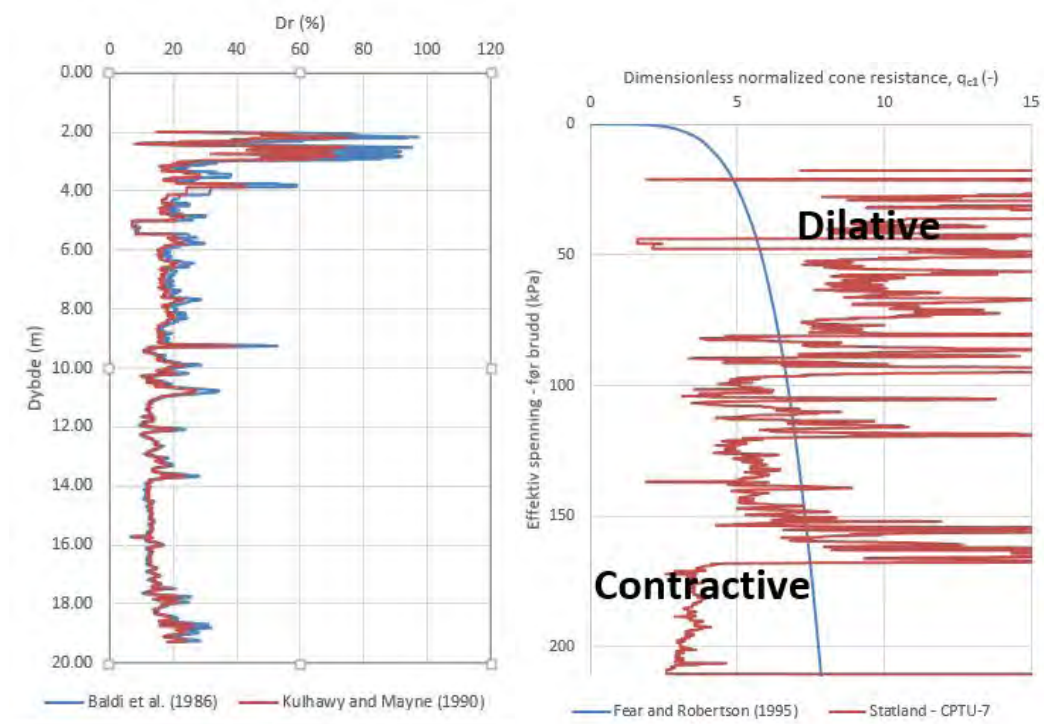
Udrenert skjærstyrke i kvikkleirelaget er av vesentlig betydning for stabilitetsberegningene. Ettersom skjærstyrken må bestemmes ut fra et fåtall CPTU-sonderinger og treksialforsøk, er det sett på et mulig variasjonsområde for denne parameteren. Det er utført stabilitetsberegninger både med udrenert skjærstyrke direkte tolket fra CPTU og med forventet udrenert skjærstyrke ut fra effektivt overlagingstrykk ($0,3 \times p_0'$). Målte romvekter og poretrykk tilsier et effektivt overlagingstrykk i kvikkleirelaget som etter normale forholdstall skulle gitt en høyere udrenert skjærstyrke enn det som tolkes fra CPTU. Det siste kan ha sammenheng med valgt romvekt i deltaavsetningene over kvikkleirelaget, og det er derfor også utført beregninger for en

lavere romvekt enn målt (17 kN/m^3). Poretrykksnivået kan også ha betydning. I tillegg til beregninger hvor det er forutsatt poreovertrykk (som målt i pkt. 5), er det utført stabilitetsberegninger med hydrostatisk poretrykk.

I stabilitetsberegningene er det regnet med en vannstand i sjøen på kt. -1,6 som samsvarer med havnivået på tidspunktet skredet ble utløst.

Syklisk skjærstyrke og potensialet for «liquifaction» i deltaavsetningene er tolket som grunnlag for vurdering av mulig påvirkning fra komprimeringsarbeid og sprengning.

Figur 3.20 viser tolkning av CPTU-7 iht. korrelasjoner gitt i litteraturen. Tolkningene indikerer at materialet er løst lagret og utsatt for «liquifaction».

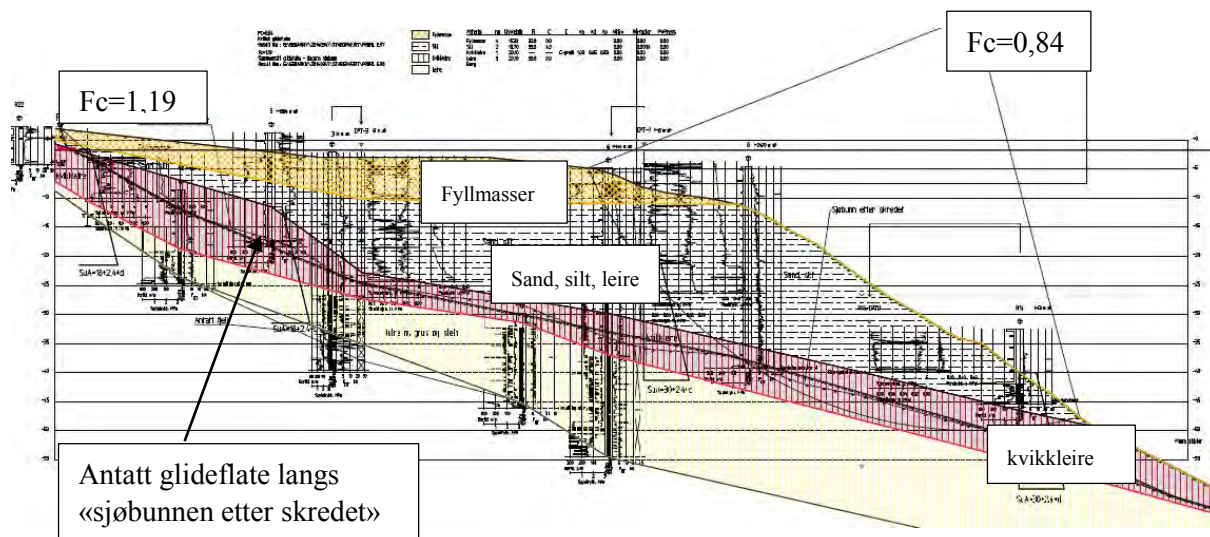


Figur 3.20 Tolkning av CPTU-7. Ref. NGI notat 20140347-04-TN, Vedlegg D.

Syklisk residualskjærstyrke (T_{cy}) anslås å ligge innenfor følgende intervall, jf. kap. 3.3:

$$T_{cy} = (0,05 - 0,15) \times p_0'$$

Der p_0' angir «in-situ» vertikal effektivspenning.



Figur 3.22 Stabilitetsberegning - Profil E - før anleggsarbeid. Ref. NGI notat 20140347-04-TN, Vedlegg D.

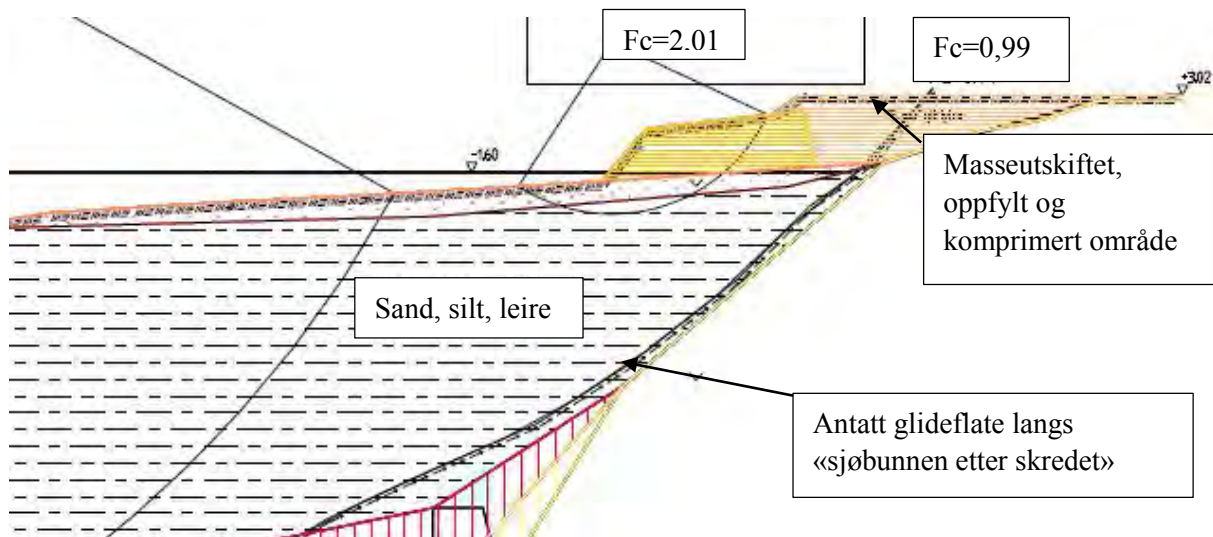
Tilsvarende er det i Profil E beregnet sikkerhet lik 0,84 for kritisk glideflate, jf. Figur 3.22, for situasjonen uten påvirkning fra anleggsarbeid. En sammensatt glideflate som følger sjøbunnen etter skredet får sikkerhet lik 1,19. I denne beregningen er det benyttet udrenert styrke som tolket fra CPTU. Beregningene med udrenert skjærstyrke ut fra effektivt overlageringstrykk ($0,3 \times p'_0$) gir ca. 10-15 % høyere sikkerhet (for $\gamma = 17,0 - 18,7$ kN/m³ i deltaavsetningene). Dersom effektivt overlageringstrykk beregnes med hydrostatisk poretrykk, blir beregnet sikkerhet for kritisk glideflate lik 1,17 (for $\gamma = 18,7$ kN/m³ i deltaavsetningene). Tilsvarende som for Profil C anser vi det som mer sannsynlig at sikkerhetsnivået i marbakken har ligget nær 1,0 i situasjonen før anleggsarbeidene tok til.

Det er interessant å se at beregnet sikkerhet for en antatt glideflate langs sjøbunnen etter skredet er vesentlig høyere i Profil E (1,19) enn i Profil C (1,0). Dette kan tyde på at skredet har hatt en viss retrogresjon i Profil E.

I Profil E er det også utført en beregning for situasjonen før utfylling ifm. sagbruksdrift i Sagvika. Denne beregningen er utført uten vekt av fyllmasser, og udrenert skjærstyrke er redusert noe for å ta hensyn til at effektivt overlageringstrykk historisk sett har vært lavere enn rett før skredet. Sikkerheten for kritisk glideflate i marbakken blir ikke vesentlig forskjellig (lite fyllmasse så langt ut i sjøen), men sikkerheten for den sammensatte glideflaten langs sjøbunnen etter skredet blir vesentlig høyere, ca. 1,5 (1,19 like før skredet). Dette kan tyde på at utfylling ifm. sagbruksdriften har forverret stabilitetsforholdene betydelig i de indre delene av Sagvika.

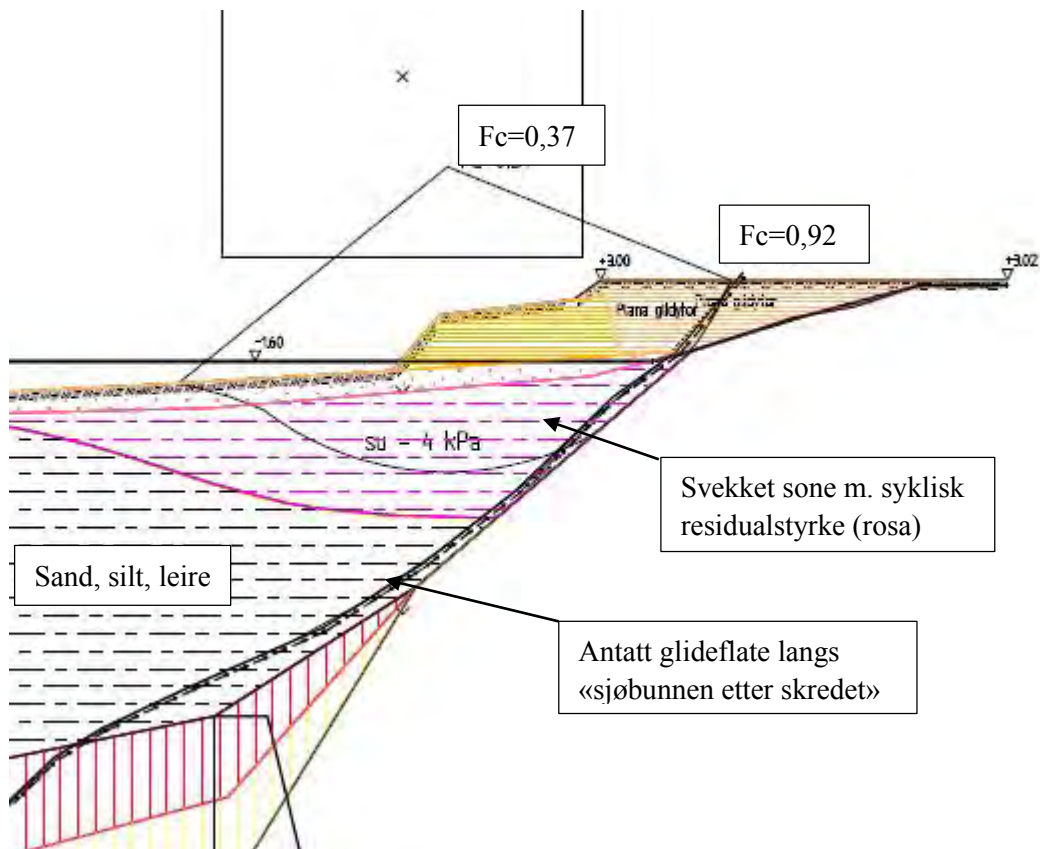
Det er også utført stabilitetsberegninger for situasjonen etter masseutskifting og oppfylling i strandsonen, jf. Figur 3.23. Beregnet lokal sikkerhet i Profil C er 2,01 under forutsetning om drenert materialoppførsel i laget av sand, silt og leire (deltaavsetningene). Dersom det forutsettes at «liquifaction» kan oppstå i dette laget pga. statisk pålasting ved oppfylling,

blir beregnet lokalstabilitet lik 1,4 (T_{cy}/p_0' – forhold fra Stark and Olson, 2004). Kritisk glideflate i marbakken ($F_c = 0,9$) blir ikke påvirket, mens den sammensatte glideflaten langs sjøbunnen etter skredet får sikkerhet lik 0,99 (1 % reduksjon).



Figur 3.23 Lokalstabilitet av masseutskiftet og oppfylt område. Ref. NGI notat 20140347-04-TN, Vedlegg D.

Videre er det utført beregninger hvor det er lagt inn en svekket sone i undergrunnen pga. rystelser fra komprimering, jf. kap. 3.3. Stabilitetsberegningene gir under disse forutsetningene lokalt brudd under det oppfylte området. Beregnet sikkerhet i Profil C er 0,37 og 0,88 for syklisk residuals-kjærstyrke hhv. lik 0,05 og 0,15 ganger vertikal effektivspenning, jf. Figur 3.24. Den sammensatte glideflaten som følger sjøbunnen etter skredet får hhv. sikkerhet lik 0,97 og 0,92 under disse forutsetningene (hhv. 3% og 8% reduksjon av sikkerheten før skredet).



Figur 3.24 Lokalstabilitet for masseutskiftet og oppfylt område. Svekket sone i undergrunnen pga. komprimering (residualstyrke $T_{cy}=0,05xp_0'$). Ref. NGI notat 20140347-04-TN, Vedlegg D.

Konklusjonen fra stabilitetsberegningene er at marbakken mest sannsynlig har vært i en tilstand nær labil likevekt forut for skredhendelsen. Utført masseutskifting og oppfylling har beregningsmessig forverret stabilitetsforholdene i svært liten grad. Rystelser fra komprimering kan ha hatt en noe større effekt og er en sannsynlig årsak til initialskredet.

Stabilitetsberegningene gir ingen god pekepinn på om det oppfylte området først skled ut på marbakken og utløste et større skred her, eller om marbakken og fyllingsområdet gikk ut i ett.

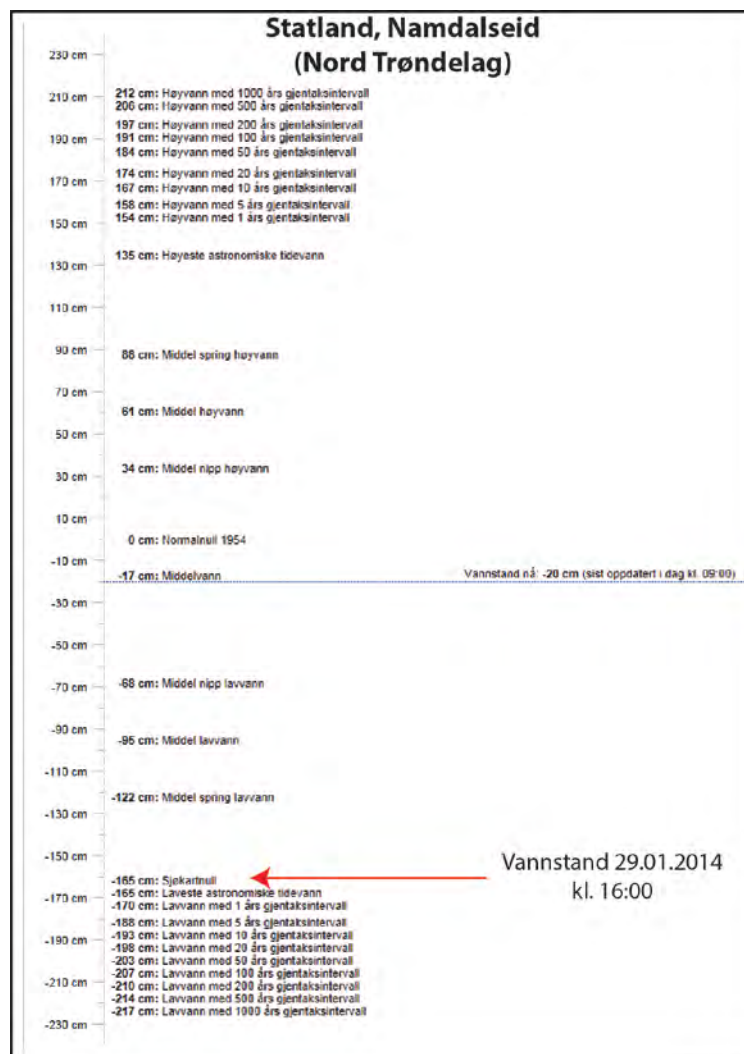
Videre tilsier beregningene at området innenfor moloen, dvs. indre del av Sagvika, hadde noe bedre stabilitet enn marbakken. I og med at dette området også må ha hatt en viss innspenning mot sidene, anses det som sannsynlig at skredet kan ha utviklet seg retrogressivt i dette området.

4 Vurdering av teknisk årsakssammenheng

4.1 Mulige årsakssammenhenger

Generelt sett er det mange faktorer som kan svekke skråningstabiliteten i strandsonen. Av naturlige årsaker er det kjent at nedbør, erosjon, rask sedimentasjon, jordskjelv, tidevanns forskjeller og bølger kan redusere stabiliteten og føre til skred. Når det gjelder nedbør og snøsmelting, er det kjent at vinteren 2013 / 2014 var svært tørr i det aktuelle området, og skredet kan ikke ses i sammenheng med høye poretrykk i bakken pga. nedbør.

Nedsenkning av vannstanden kan under udrenerte forhold forverre stabiliteten i strandsonen. Det var lavvann i det aktuelle området på tidspunktet skredet ble utløst (dvs. mellom kl. 16:00 og 16:30). Havnivået var da på det laveste, kt. -1,6, og dette samsvarer med laveste astronomiske tidevann ved Statland (jf. Fig. 4.1). Etter vår mening er dette i seg selv ikke nok til å ha utløst skredet siden lavere tidevann har blitt registrert tidligere i det aktuelle området uten at skred har oppstått (jf. fig 4.1). Det må likevel understrekes at skredet gikk på et tidspunkt da det var ugunstige poretrykksforhold i grunnen som følge av lavt tidevann.



Figur 4.1 Vannstands nivået ved Statland i Namdalseid kommune ift referansenivå Normalnull 1954 (data fra www.sehavniva.no). Tidspunktet for skredhendelse 29.01.2014 samsvarer med det laveste astronomiske tidevann i området.

På tidspunktet skredet ble utløst, mellom kl. 16:00 og 16:30, var det lavvann. Havnivået var da på det laveste, kt. -1,6.

Jordskjelv anses ikke som noen aktuell utløsningsårsak ettersom det ikke er registrert jordskjelv i Norge på den aktuelle datoen (ref. «Finn jordskjelv» på NORSAR.NO).

Opplysninger vi har fått fra det lokale vannverket tilsier at det forut for skredet hadde oppstått en vannlekkasje på ca. 25 m³ pr. døgn ved et ubebodd hus i Statlandvegen. Lekkasjen hadde trolig pågått i minst 3-4 ukers tid før det ble oppdaget den 25. januar. Det ble observert en tilsvarende reduksjon av vannmengden i en overvannskum nedenfor huset. Det siste tilsier at vannet dreneres ut i sjøen ett eller annet sted i Sagvika. Vannmengden på 25 m³ pr. døgn tilsvarer ca. 2-3 desiliter i sekundet. Dette anses som så lite at det etter alt å dømme ikke kan ha noe med utløsning av skredet å gjøre.

Nedenfor Sjøtrøveien ble det vinteren 2014 registrert issvuller som antas å komme av at overløpsledningen til en septiktank hadde gått tett og at vannet hadde strømmet ut på bakken. Dette anses også for å være en mindre lekkasje som ikke ses i sammenheng med skredet.

Ifølge et øyenvitne hadde det blitt observert en stripe i vannet ut mot settefiskanlegget. Dette kan tenkes å ha vært vannforsyningsledningen til settefiskanlegget i Djupvika (2 stk. 63 cm rør). Eksakt tidspunkt for observasjonen kjenner vi ikke til. Øyenvitnet dro straks bort til settefiskanlegget for å sjekke om det kunne dreie seg om kjemikalieutslipp derfra, og observerte flodbølgen som kom inn Djupvika. Beskrivelsen av tidsforløpet kan tyde på en viss forsinkelse fra tidspunktet vannledningen fløt opp til skredet ble utløst. Slik sett kan brudd i vannledningen være en potensiell årsak til utløsning av skredet. Denne hendelsesrekkefølgen stemmer imidlertid dårlig overens med registrerte tidspunkter for når driftsansvarlig på settefiskanlegget og politiet fikk vite om skredet. Vanntilførselen til settefiskanlegget ble registrert brutt først klokka 16:43, mens politiet mottok beskjed om skredet klokka 16:32 (loggført). Det er opplyst fra driftsleder på anlegget at tidspunkt (16:43) ble registrert automatisk. Ifølge driftsansvarlig er det imidlertid en viss forsinkelse fra et brudd i vannforsyningen oppstår til alarm/varsling gis. Det er ukjent hvor stor denne forsinkelsen kan være. Slik sett er det ikke sikkert at de registrerte tidspunktene sier noe om hendelsesrekkefølgen. Vannledningen hadde en maksimal kapasitet på 60 m³ i minuttet og besto av sveisede plastelementer på 5 meter som var vektet for å synke (750 kg pr. element). Traseen var lagt om ca. ett år tidligere og ledningen var lagt i grøft sentralt gjennom strandområdet i indre del av Sagvika. Ledningen gikk videre gjennom moloen (som senere raste ut) i en grøft inne ved land. Fra moloen og videre utover lå ledningen på sjøbunnen. Ledningstraseen gikk videre rundt neset ytterst i Sagvika og inn mot settefiskanlegget i Djupvika (eksakt plassering er ikke kjent). Bilder fra skredgropa viser at ledningen har røket av ved bakkanten av skredgropa innerst i Sagvika. Kapasiteten på vannledningene tilsier at vannet vil ha stor erosjonskraft ved et eventuelt brudd. Vi anser det imidlertid som lite sannsynlig at vannledningen røk uten at den rett forut hadde vært påvirket av store krefter. Et brudd i vannledningen pga. deformasjoner i omkringliggende jord ville trolig ha skjedd i området ved moloen der vannledningen kommer ut på sjøbunnen. Her lå vannledningen grunt, og en så stor lekkasje ville med stor sannsynlighet ha blitt oppdaget. Vi mener at det er overveiende sannsynlig at ledningen har røket pga. bevegelser i grunnen forårsaket av skredet. Hvilke andre årsaker som eventuelt kan medføre brudd i vannledningen ligger utenfor vårt fagområde å vurdere. Slik sett kan ikke brudd i vannledningen helt avskrives som et mulig årsaksforhold.

Forut for skredet hadde det siden juni 2013 pågått anleggsarbeider ifm. etablering av fritidsbebyggelse og småbåthavn i Sagvika.

Sprengningsarbeider pågikk i perioden fra 8/7-2013 til 20/8-2013. Det skal ha blitt utført i alt 17 sprengninger, hvorav det er mottatt salverapporter fra åtte. Målte rystelser viser verdier mellom 8.9 mm/s og 25.4 mm/s. Sprengningene ble avsluttet over et halvt år før skredet gikk og de vibrasjonene som sprengningene medførte i de potensielt ustabile

massene som senere raste ut, har neppe overskredet grenseverdien i NS8141-3. På denne bakgrunnen kan det utelukkes at vibrasjoner fra sprengningene kan ha bidratt til å utløse skredet 29/1-2014.

Masseutskifting av forurensede sedimenter hadde pågått siden i juni 2013. I dagene fra 27. – 29. januar 2014 ble det fylt opp ca. 0,7-1,0 meter i ytre del av Sagvika (ett lag). Etter grovplanering ble det komprimert. Komprimeringsarbeidet ble avsluttet ca. 1-1,5 time før skredet gikk. Sammenfallet i tid tilsier at disse anleggsarbeidene med stor sannsynlighet kan ha sammenheng med skredet. I regi av granskningsgruppa er det utført flere undersøkelser for å verifisere / avkrefte dette:

1. Kartlegging av sjøbunnen etter skredet viser at området rett utenfor der anleggsarbeidene pågikk har rast ut. Videre ser det ut til at skredmasser fra innerst i Sagvika har dekket over foten av skråningen nedenfor der anleggsarbeidene pågikk. Dette kan tyde på at skredet har gått i to steg. I første steg løsnet området utenfor moloen i Sagvika (der anleggsarbeidene pågikk). Området innenfor moloen raste så ut som følge av at «Steg 1» hadde tatt med seg «foten» av marbakken lengst inn i bukta. Sjøbunnstopografien etter skredet tilsier altså at skredet i Sagvika med stor sannsynlighet har vært utløst i området hvor det rett forut pågikk anleggsarbeid.
2. Flodbølgesimuleringer tilsier at skredet må ha hatt bevegelse på tvers av bukta for å oppnå den maksimale oppskyllingshøyden på 10 meter som ble registrert nordvest i Sagvika. Dersom hele skredet hadde beveget seg rett ut gjennom bukta, ville det ikke ha blitt så stor oppskyllingshøyde. Flodbølgeanalyser tilsier også at skredet i Sagvika med stor sannsynlighet har vært utløst i området hvor det rett forut pågikk anleggsarbeid.
3. Rystelsesanalyser tilsier at undergrunnen ned til kt. -5 til -10, kan ha blitt svekket pga. komprimering. Sykliske skjærspenninger fra vibrovalsen har pga. resonans overskredet den sykliske styrken til materialet. Rystelsesanalyser tilsier også at skredet i Sagvika med stor sannsynlighet har vært utløst i området hvor det rett forut pågikk anleggsarbeid.
4. Stabilitetsberegninger tilsier at marbakken mest sannsynlig har vært i en tilstand nær labil likevekt forut for skredhendelsen. Dette vil med andre ord si at det skulle svært lite til for å utløse skred. Beregningene tilsier at komprimeringsarbeidet trolig har vært mer forverrende for stabiliteten enn den begrensede utfyllingen og masseutskiftingen som har funnet sted. Stabilitetsanalyser tilsier også at skredet i Sagvika med stor sannsynlighet har vært utløst i området hvor det rett forut pågikk anleggsarbeid.

Til tross for en del usikre antagelser og forutsetninger, er det så mange forhold som peker i samme retning at undersøkelsesgruppa mener at skredet må ha blitt utløst av anleggsarbeidene som pågikk rett forut for skredet. Det anses som overveiende sannsynlig at marbakken i utgangspunktet hadde så dårlig stabilitet at det skulle lite til for å utløse

skredet. Utfylling og sedimentasjon ifm. sagbruksvirksomheten, som pågikk i perioden 1853-1972, har forverret stabilitetsforholdene i indre del av Sagvika betydelig.

4.2 Drøfting/usikkerheter

Det ligger en god del usikkerhet i antagelser og modellering både når det gjelder tolkning av seismiske undersøkelser, vurdering av skredutløp, flodbølgesimuleringer, rystelsesanalyser og stabilitetsberegninger. Generelt er det lagt til grunn de forutsetninger som anses mest sannsynlig. Derfor kan vi si at de enkelte analysene tilsier at anleggsarbeidet med stor sannsynlighet kan ha utløst skredet, men ikke at de enkelte analysene beviser at det er tilfelle. En eksakt bestemmelse av usikkerheten i de enkelte analysene er ikke mulig.

I flere av analysene er det utført sensitivitetsanalyse av sentrale parametere. I forbindelse med stabilitetsberegninger er det f.eks. sett på et mulig variasjonsområde for udrenert skjærstyrke og poretrykk. Ved vurdering av rystelser er det sett på et variasjonsområdet for syklisk residualstyrke. Ideelt sett skulle det også ha vært sett på effekt av ulike antagelser vedørende lagdeling og dybde til berg, men det har vært utenfor rammene til prosjektet. Dybden til berg i området hvor anleggsarbeidene pågikk påvirker rystelsesanalysene til en viss grad. Dersom bergnivået har ligget vesentlig lavere enn modellert, kan det bety at beregnet bruddsone pga. rystelser skulle ha vært noe mindre. Også helningen av bergoverflata har en viss betydning for rystelsesanalysene. I denne sammenhengen må det også nevnes at det ikke er tatt spesielle hensyn til effekten av eventuelle tynne, bløte lag. Slike lag vil erfaringsvis forsterke rystelsene.

5 Konklusjon

Utførte undersøkelser og analyser i regi av undersøkelsesgruppa tilsier at skredet har startet i ytre del av Sagvika og utviklet seg innover i bukta. Mest sannsynlig har området utenfor der anleggsarbeidene pågikk rast ut først (Steg 1). Trolig har dette området rast ut mer eller mindre i ett, som et monolittisk legeme. Det indre området i Sagvika ble så destabilisert og raste ut (Steg 2). I Steg 2 antas det at skredet kan ha hatt en viss retrogresjon, men utløpsdistansen og observert senkning av vannstanden i Djupvika tilsier at utviklingen må ha gått fort, dvs. at det egentlig er mer snakk om en «uttrekking» av skredet i bakkant. Steg 1 har hatt retning mot nordvest, mens Steg 2 har gått mot nordøst, dvs. rett ut fjorden. Omfanget av skredet er beregnet til 350 – 400 tusen kubikkmeter og tykkelsen av det utraste løsmassedekket var 25-30 meter på det meste.

Til tross for en del usikre antagelser og forutsetninger, er det så mange forhold som peker i samme retning at undersøkelsesgruppa mener at skredet må ha blitt utløst av anleggsarbeidene som pågikk rett forut for skredet. Det anses som overveiende sannsynlig at marbakken i utgangspunktet hadde så dårlig stabilitet at det skulle lite til for å utløse skredet. Stabilitetsberegninger tilsier at utfylling og sedimentasjon ifm. tidligere sagbruksvirksomhet har forverret stabilitetsforholdene betydelig i indre del av Sagvika.

De utførte analysene tilsier at rystelsene fra komprimering med vibrovals trolig har hatt en større negativ effekt på stabilitetsforholdene enn det den utførte masseutskiftingen og oppfyllingen har hatt. Beliggenheten og helningen av bergoverflata har etter alt å dømme vært ugunstig med tanke på rystelser.

6 Vedlegg

- | | |
|-----------|---|
| Vedlegg A | Norges geotekniske institutt (NGI). Notat 20140347-01-TN «NIFS NN-6.7.1. Utredning av skredteknisk årsak til skredet ved Nord – Statland 29.01.2014. Grunnforhold og skredmorfologi.» Datert 4.12.2014 |
| Vedlegg B | Norges geotekniske institutt (NGI). Notat 20140347-02-TN «NIFS NN-6.7.1. Utredning av skredteknisk årsak til skredet ved Nord – Statland 29.01.2014. Utløp og flodbølge.» Datert 4.12.2014 |
| Vedlegg C | Norges geotekniske institutt (NGI). Notat 20140347-03-TN «NIFS NN-6.7.1. Utredning av skredteknisk årsak til skredet ved Nord – Statland 29.01.2014. Vurdering av innvirke av rystelser fra vibrokomprimering og sprengning på skråningsstabilitet.» Datert 4.12.2014 |
| Vedlegg D | Norges geotekniske institutt (NGI). Notat 20140347-04-TN «NIFS NN-6.7.1. Utredning av skredteknisk årsak til skredet ved Nord – Statland 29.01.2014. Stabilitetsberegninger inkl. parametertolkning.» Datert 4.12.2014 |
| Vedlegg E | Oversiktskart, bildemontasje og tekstforklaring til bilder vedr. kap. 2.1.2 II) og 2.1.3 III) |
| Vedlegg F | Hendelsesrapport og Politilogg |
| Vedlegg G | Nedbørsdata Otterøy januar 2014 |

VEDLEGG A

Til: NIFS NN-6.7.1
v/: Stein Are Strand
Kopi til:
Dato: 4. desember 2014
Rev. nr./ Rev. dato: 0
Dokumentnr.: 20140347-01-TN
Prosjekt: Utredning av teknisk årsak til skredet ved Nord – Statland
29.01.2014
Utarbeidet av: Jean-Sebastien L'Heureux
Prosjektleder: Ragnar Moholdt
Kontrollert av: Ragnar Moholdt

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Grunnforhold og skredmorfologi

Innhold

1	Innledning	3
2	Datagrunnlag	3
2.1	Geotekniske undersøkelser	3
2.2	Geofysiske undersøkelser	4
3	Terreng og grunnforhold	5
3.1	Områdebeskrivelse	5
3.2	Grunnforhold	6
4	Skredmorfologi	14
4.1	Skredområdet i Sagvika	14
4.2	Skredavsetning i Namsfjorden	16
5	Oppsummering og tolkning av skredforløp	18
6	Referanser	20



Tegningsliste

001 – Oversiktskart – Plassering av profilene for lagdeling – 1:1500 (A4)

002 – Oversiktskart – Seismiske linjer – 1:7000 (A3)

003 – Kart over sensitiv leire

004 – Situasjon før skred – 1:3000 (A4)

005 – Situasjon etter skred – 1:3000 (A4)

006 – Differanse kart (2010 koter) – 1:1500 (A4)

007 – Differanse kart (2014 koter) – 1:1500 (A4)

008 – Skredavsetning – 1:8000 (A3)

100 – Oversiktskart med borepunkt – 1:1000 (A3)

Vedlegg

Vedlegg A Jordartsklassifisering fra CPTU – diagrammer

Vedlegg B Jordartsklassifisering fra CPTU – dybde profiler

Vedlegg C Tolkning av lagringsfasthet (Dr %)

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Skredet som gikk 29.01.2014 ved Nord - Statland i Namdalseid kommune har forårsaket store materielle og andre skader, men ingen alvorlige skader på mennesker eller tap av menneskeliv har oppstått. I Meld.St 15 (2011-2012) er det lagt opp til at det etableres en ordning for systematiske undersøkelser etter flom- og skredendelser av en viss størrelse.

NGI deltar i en granskningsgruppe sammen med representanter fra NTNU, NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Oppdraget utføres i regi av etatsprogrammet NIFS, "Naturfare – Infrastruktur – Flom – Skred", delprosjekt 6.

NVE ønsker på sikrest mulig grunnlag å avklare bruddmekanismen og sannsynlig skredteknisk årsakssammenheng ved det inntrufne skredet. Herunder ønskes sannsynliggjort hvilke tekniske forutsetninger/omstendigheter som førte til bruddet. Usikkerhet og/eller tvil av betydning må belyses/kvantifiseres (om mulig).

Det er avtalt at NGI skal utarbeide notater med beregninger og vurderinger av følgende tema som delleveranser til arbeidsgruppa:

- Refleksjonsseismiske undersøkelser og morfologisk analyse
- Utløpsanalyser og modellering av flodbølge
- Rystelser fra vibrovals
- Stabilitetsanalyse og effekt av sprøbrudd, inkl. parametertolkning

Dette notatet omhandler tolkning av grunnboring og refleksjonsseismiske data samt tolkning av skredmorfologi på grunnlag av detaljerte batymetriske målinger utført før og etter skredet. Analysene er utført som grunnlag for å vurdere grunnforholdene i Sagvika og for å forstå skredmekanismen fra initialbrudd og fram til avsetning av skredmassene lengre ute i fjorden. Videre gir tolkning et viktig grunnlag for beregning av stabilitet og for utløp- og flodbølgemodellering.

2 Datagrunnlag

2.1 Geotekniske undersøkelser

Kummeneje, NGI, Multiconsult AS, har tidligere utført grunnundersøkelser i området. Undersøkelsene er presentert og beskrevet i følgende notater og rapporter:

Kummeneje: Rapport nr. 0.637 (1967) - Statlandbruket. Grunnundersøkelse for nytt masselager.

Rapport nr. 0.2649 (1978) - Namsen drivstofflager, Nord-Statland.

Rapport nr. 0.2792 (1978) - Grunnundersøkelse for småbåthavn, Nord-Statland.

Rapport nr. 0.2800 (1978) - Grunnundersøkelse i "Almenningen".

Digitale data mottatt fra NVE av boringer utført etter skredet (R1 – R7, R18-R23).

NGI: Rapport nr. 78068-1 (1979) - Stabilitetsvurdering Djupvika.

Multiconsult: Notat nr. 411976-1 (2006) - Reguleringsplan Nord-Statland. Vurdering av geotekniske forhold.

Rapport nr. 412561-1 (2007) - Utbyggingsområde, Nord-Statland, Namdalseid. Grunnundersøkelse. Geoteknisk vurdering.

Rapport nr. 412561-2 (2008) - Utbyggingsområde, Nord-Statland, Namdalseid. Miljøgeologisk undersøkelse. Fyllmasser.

Rapport nr. 414432-RIG-RAP – 001 rev. 00. (2012) - Sagvika gjestehavn, Nord Statland, Grunnundersøkelser. Datarapport

Digitale data mottatt fra NVE av boringer utført etter skredet (R8 - R16). Foreløpige plott av laboratorieundersøkelser i pkt. R8 og R12.

NTNU: Rapport 2014-04 Statland. Grunnundersøkelser. Datarapport.

Det er også utført nye grunnundersøkelser av Rambøll AS og NTNU etter skredet i 2014. Beliggenheten av aktuelle sonderinger og prøveserier benyttet i denne rapport er vist på Tegning 100.

2.2 *Geofysiske undersøkelser*

Sjøbunnen i Sagvika ble kartlagt i 2010 og i 2014 ned til kote -100 m av Seascan mha en 250 kHz GeoSwath multistråleekkolodd.

Refleksjonsseismiske data ble innsamlet av Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) i Sagvika og i N amsfjorden 4. mai 2014. Formålet med innsamlingen av refleksjonsseismiske data er å kartlegge utbredelsen av skredavsetningen, tykkelsen av løsmasseavsetningene og fjelldybde. Totalt ble 17 seismiske linjer samlet ved hjelp av en parametrisk "sub-bottom profiler" (Topas PS). Instrumentet gir vertikal oppløsning innenfor 1-10cm. En oversikt over innsamlede seismiskerefleksjonslinjer er presentert på Tegning 002.

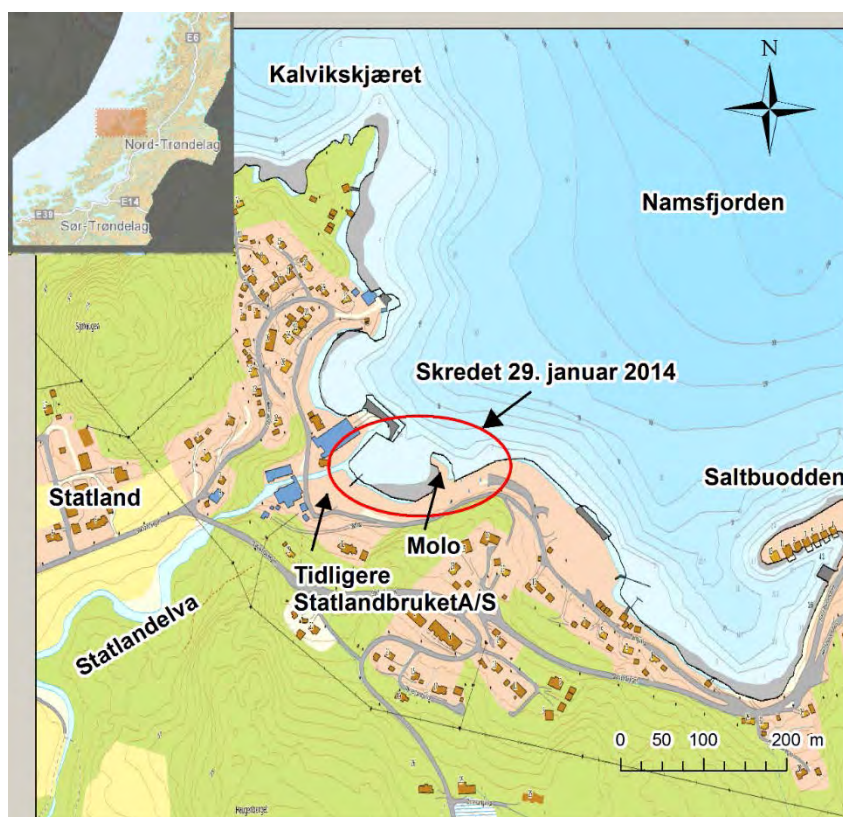
Under toktet 4. mai 2014 samlet også NGU batymetriske data ned til kote ca. 200 m med multistråleekkolodd (Wassp system).

3 Terreng og grunnforhold

3.1 Områdebeskrivelse

Skredet 29. januar 2014 gikk i Sagvika på Nord-Statland i Namdalseid kommune, Nord-Trøndelag (Figur 1). Bukta hvor skredet oppsto ligger på sørvestsida av Namsfjorden. Det har tidligere vært industriell virksomhet i Sagvika, basert på utnyttelse av fallet i Statlandelva. Allerede i 1853 ble Statlandbruket oppstartet som sagbruk. I 1908-1913 ble tresliperiet A/S Statlandbruket etablert og drevet parallelt med sagbruksdriften. Samtidig utbygde Statlandbruket A/S 2 kr aftverk i Statlandvassdraget. Statlandbruket A/S ble etter økonomiske vanskeligheter nedlagt i 1972.

Alle bygningsanleggene for den industrielle virksomheten var lagt godt inne på land. Innenfor strandlinjen øst for sliperiet og sagbruket ble det etablert lagrinsarealer for skåret og høvlet trelast, i til dels betydelig omfang. Her var terrenget opprettet ved påfylling vekselvis av hon, bark, flis og mineralske masser. Etter at sagbruket og høvleriet ble fjernet, ble strandområdet utvidet noe utover strandlinjen, ved deponering av grave- og avfallsmasser. Moloen som ligger midt i skredområdet ble også etablert ved oppfylling hvor det ble til dels benyttet sagbruksavfall (bakhon).

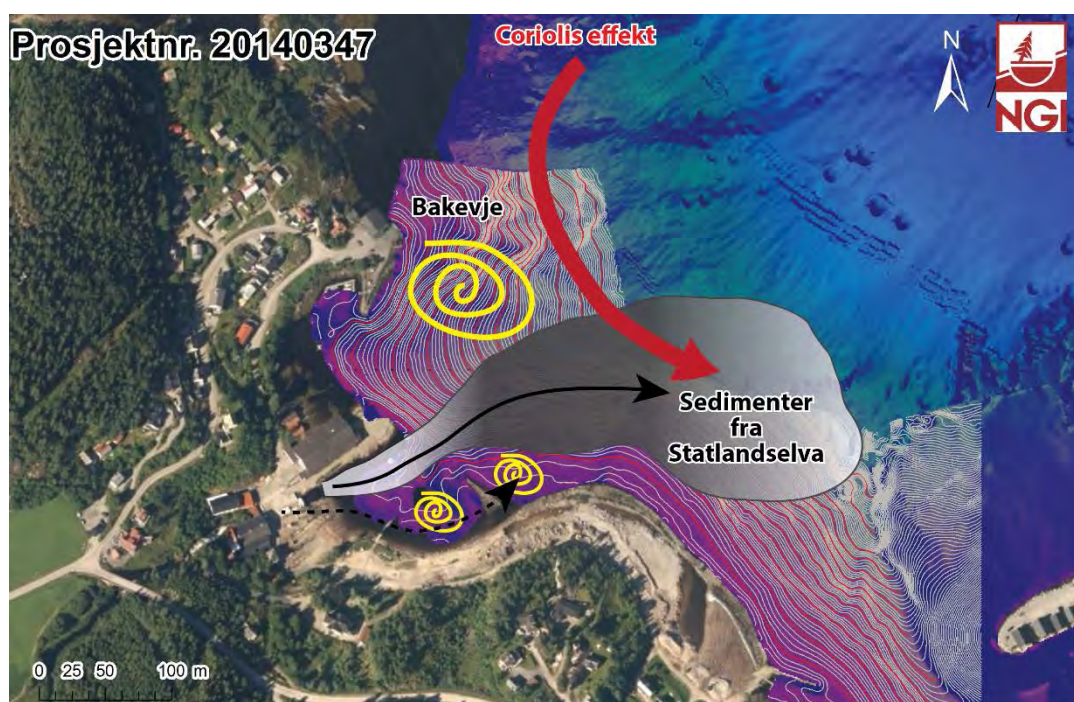


Figur 1: Beliggenhet av Statlandskredet som oppsto 29. Januar 2014.

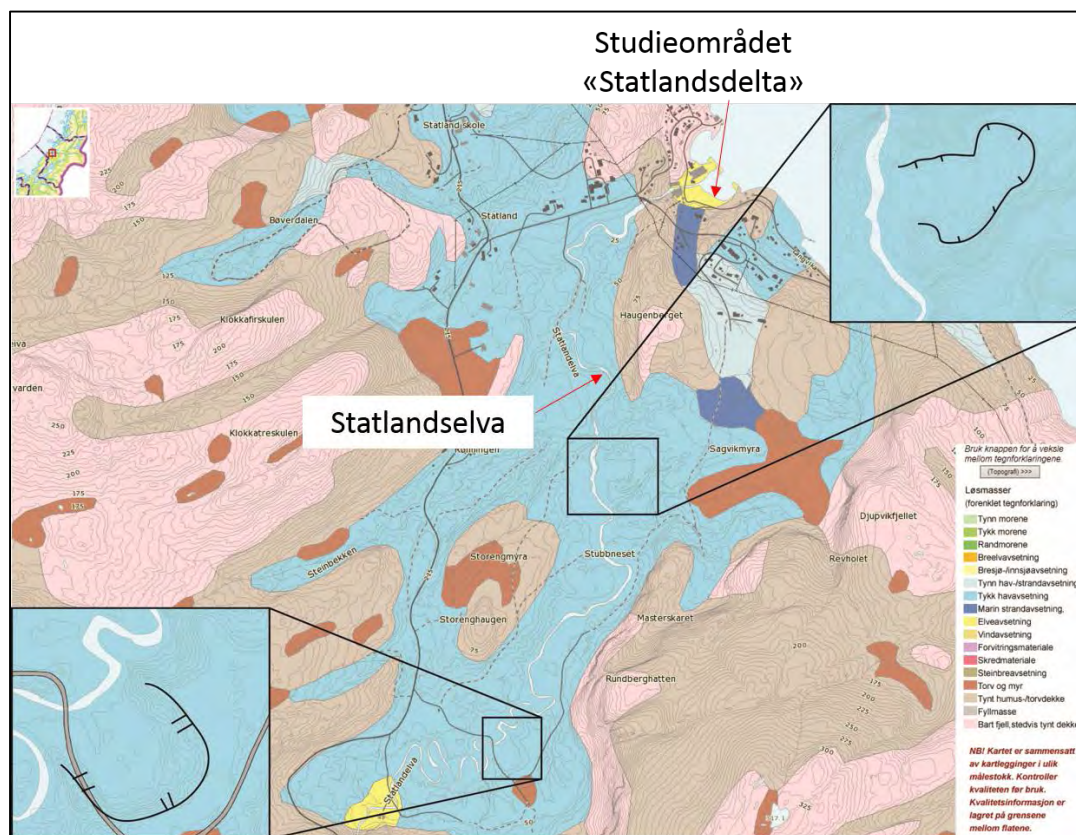
3.2 Grunnforhold

3.2.1 Jordartsidentifikasjon og lagdeling

Sedimentene i skredområdet ved Statland kommer for det meste fra Statlandselva som i løpet av de siste tusen år har dannet et delta i Sagvika ved Namsfjorden. På grunn av konfigurasjonen på elva og på grunn av strømmingene i fjorden, blir mesteparten av sedimentene avsatt på sørsiden i Sagvika (dvs. i området hvor skredet gikk i januar 2014; Figur 2), men dette har nok variert over tid pga. flere faktorer, som for eksempel menneskelig aktivitet og utbygning.



Figur 2: Eksempel på sedimentasjonsplume utenfor Statlandelva. Den stiplede linjen viser vanntilførsel fra Statlandelva til settefiskanlegg i Sagvika.



Figur 3: Kvartærgeologisk kart over Nord-Statland. (etter data fra www.ngu.no)

Ut fra kvartærgeologisk kart vist i Figur 3 ligger deltaavsetningen (gul) delvis på fjell (rosa), marin strandavsetning (mørkeblå) og tykke hav- og fjordavsetninger (lyseblå). Marin grense i området er ca. 130-135 m over dagens havnivå (www.ngu.no). Sørover er den gamle havbunnen stort sett bevart, men denne er gjennomskåret av Statlandselva og bekkeraviner. Det finnes også mange spor etter tidligere kvikkleireskred langs Statlandselva (Figur 3). Flere av disse skredene har sannsynligvis forekommet av naturlige årsaker i førhistorisk tid. Erfaring viser at massene etter slike kvikkleireskred blir avsatt i fjorden, utenfor elvemunningen, og at resulterende lagdeling kan føre til svake lag i stratigrafien ref. /2/, /3/ og /4/.

Det er utført en rekke boringer i og i nærheten av skredgropa. Beliggenheten av borpunktene er vist på Tegning 100-101. Total- / dreietrykksonderinger er utført i alle borpunktene. Disse boringene gir stort sett grunnlag for tolkning av fyllmassetykkelse, samt dybde til fast grunn / fjell. Overganger mellom masser dominert av silt og leire fremgår av prøveserier og kan tolkes fra CPTU-sonderinger. Disse undersøkelsene er derfor av stor betydning, jf. Tabell 1.

Tabell 1: Oversikt – sentrale borpunkter

Metode	Borpunktnummer
Prøveserie	2, 3, 5, 7, M1-3, M1-4, M1-5, M1-7, M1-24, R8, R12, 5-O637, 9-O637
CPTU	7, 3, 2, R2, R10, R12 og R14

Jordartsidentifikasjon er gjort med basis i resultatene fra prøveserie og fra tolkning av CPTU data i borepunkt 2, 3, 7, R2, R10, R12 og R14. Vedlegg A og B presenterer jordartsidentifikasjon utført med CPTU data ved hjelp Qt – Bq, Qt – Fr, qt – Bq og qt – Rf diagrammer og en fargekodet dybdeskala. Lagdelingen i Sagvika er tolket med utgangspunkt i nye boringer og gamle boringer vi har hatt tilgjengelig, samt resultater fra refleksjonsseismiske data.

For å illustrere lagdeling og geologi i sammenheng over hele området, er noen profiler beskrevet herunder (dvs. profilene C-C, H-H, I-I og J-J) og tegnet med farger i fortrukket målestokk. Det henvises til plantegning nr. 100 og 001 for en oversikt over plassering av profiler og grunnundersøkelser. Tolkning av lagdeling er også presentert i NGI rapport 20140347-04 hvor noen av profilene er tegnet i større målestokk.

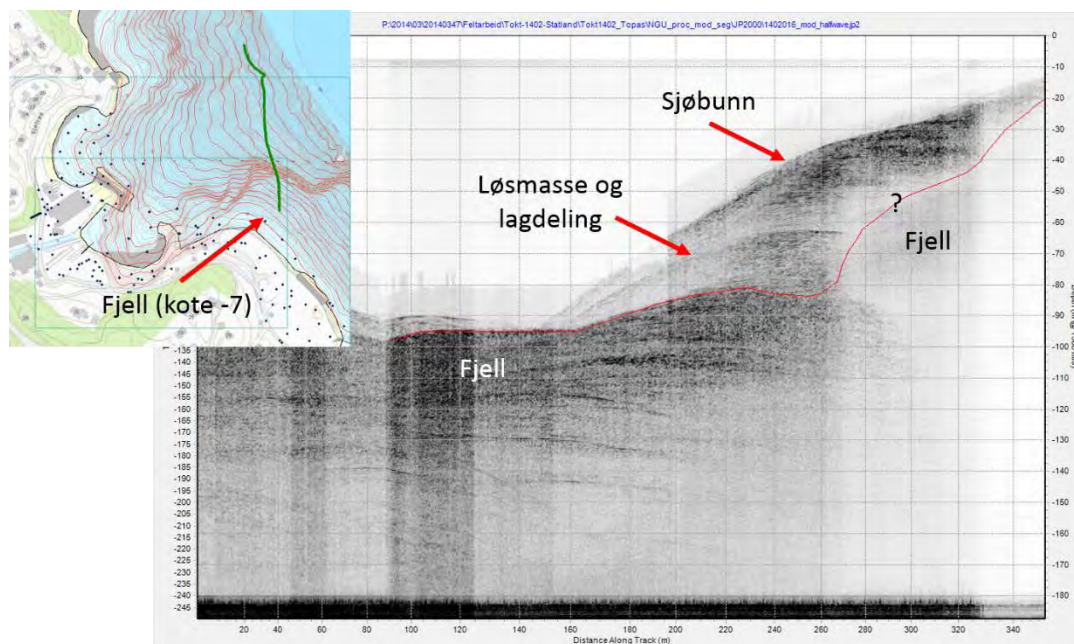
Seismiske data i Sagvika viser en bratt fjelltopografi inne mot land og opptil 40 m med løsmasseavsetning i skråningen øst for skredområdet (Figur 4). Dette stemmer overens med fjell i dagen observert flere steder på land ytterst i Sagvika, samt resultatene fra grunnundersøkelsene som viser at det generelt er grunt til fjell på land i dette området.

Over fjell/morene er lagdelingen delt i tre hovedlagpakker som følger:

1. Fyllmasser og marin strandavsetning – (trevirke, grus, sand)
2. Delta avsetning – (Sand, silt, leire)
3. Kvikkleire
4. Marin- og glacimarinavsetning – (Leire med noe sand og grus)

Generelt er det en god del data fra lag nr. 1 og 2, mens det er lite data fra leira i lag 3. og 4. Dette har sammenheng med at leira ute i sjøen ligger dypt.

Glacimarin og marin leire ligger drapert over fjell- og moreneoverflaten nederste i profilene. Den varierer i tykkelse og inneholder en del grus noe som fører til markert høyere motstand på sonderingene. Profilene I-I og J-J viser at den marine- og glacimarine avsetningen er tykkest innerst i bukta (Figur 7 og Figur 9). Resultatene fra grunnundersøkelser viser at den marine- og glacimarine avsetningen er dekket av en opptil 25 m tykk deltaavsetning. Overgangen mellom marin leire og deltaavsetningene består av kvikkleire (se kap. 3.2.3).

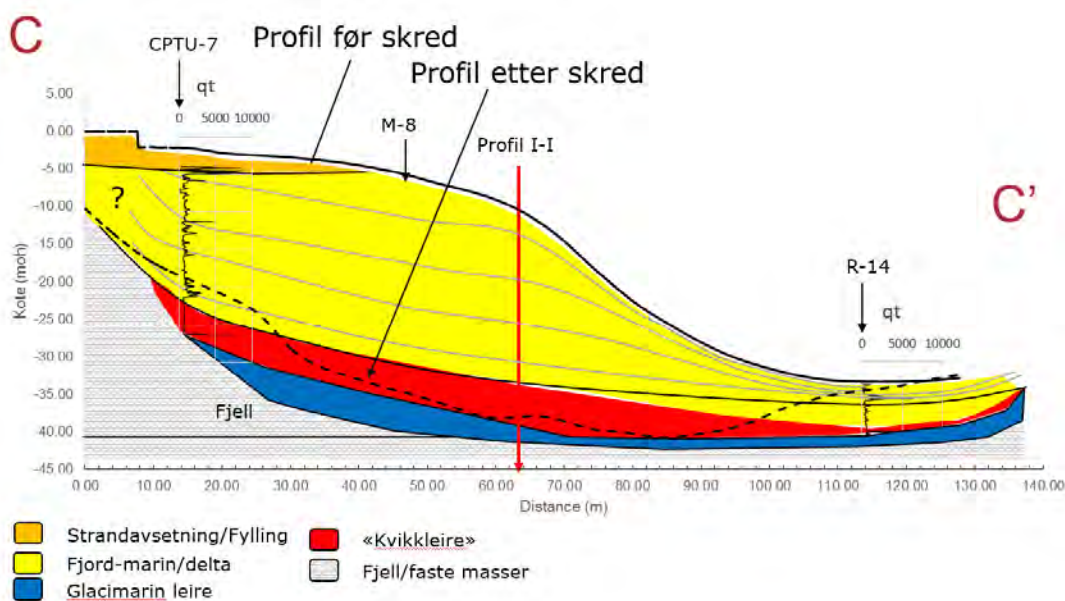


Figur 4: Seismisk profil nr. 16 med tolkning av fjelloverflate. Man ser også tydelig lagdeling i løsmassene.

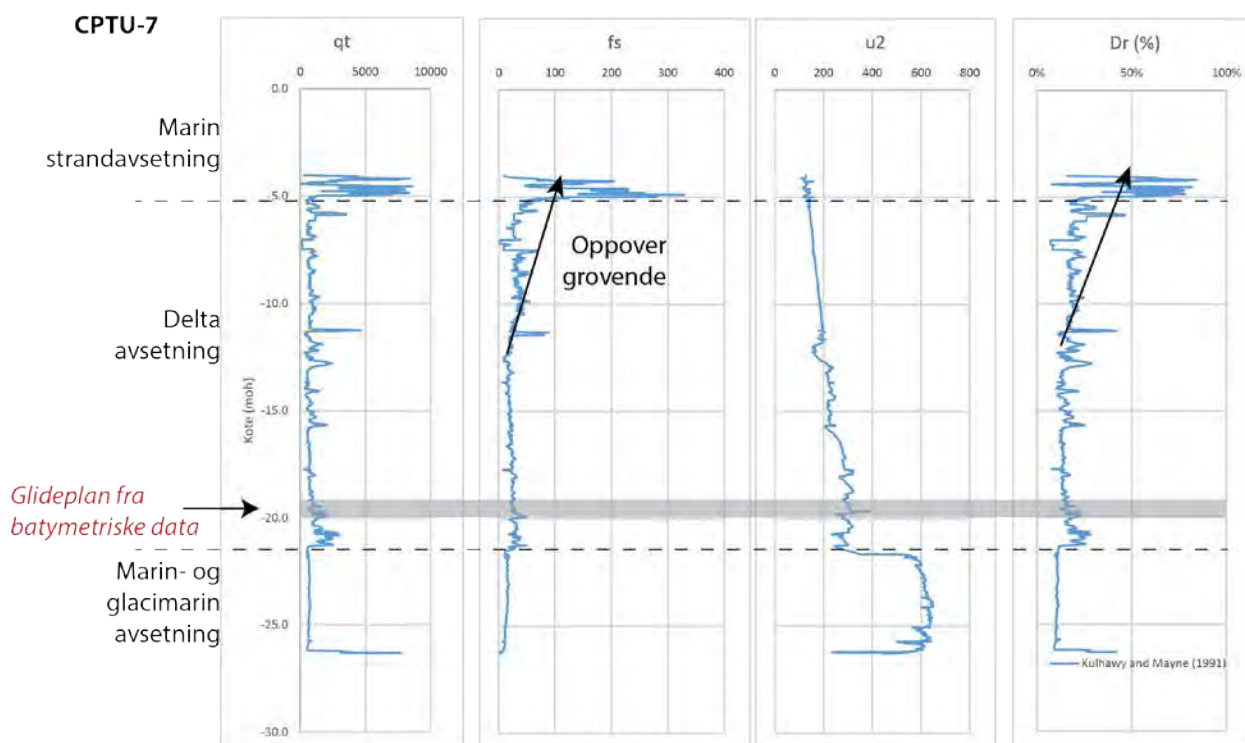
Deltaavsetningen består av lagdelt sand, silt og leire. Som regel viser prøveseriene og resultatene fra CPTU at deltaavsetningene består av grove materialer nær sjøbunnen (Figur 6). Flere prøveserier viser også betydelig mengder med sagflis og trespon blandet i deltaavsetningen. Den dypeste observasjon av sagflis forekommer ved ca. 14 m under sjøbunnen i borepunkt 9 (ref. /6/). Med viten om at sagbruksdriften startet i ca. 1853 (se kapittel 3.1) er det mulig å anta en sedimentasjonsrate på ca. ca. 12 cm/år i Sagvika. Dette er et grovt anslag som inkluderer oppfylling fra menneskelig aktivitet.

På grunn av avstanden mellom de forskjellige borepunktene og variasjonen i lagdeling, er det ikke mulig å korrelere lagene mellom hver borepunkt. Likevel, viser seismikken i Figur 4 at lagene følger sjøbunnstopografien og at avstanden mellom disse lagene blir større oppover i skråningen. Dette forklares med at deltaavsetningen bygger seg utover i bukta, og dette er tatt hensyn til i tegning av profilene presentert i profilene C-C, I-I, J-J og K-K.

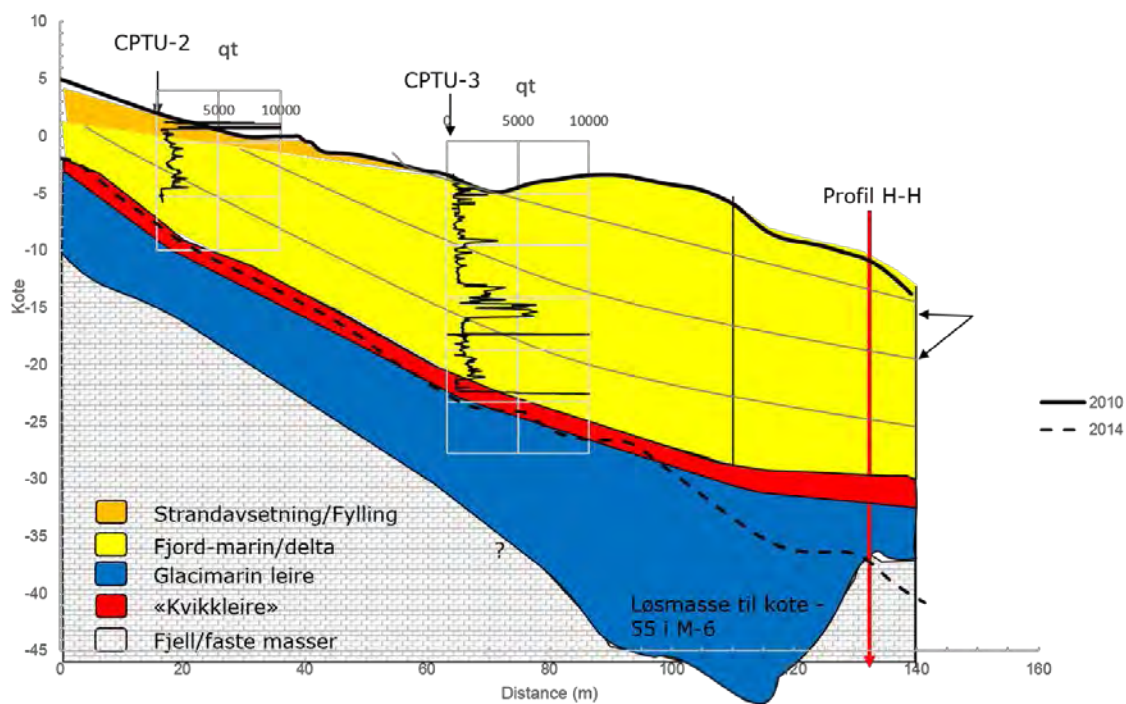
Øverst i stratigrafien finner man et grovere og fastere lag av sand og grus som er avsatt ved marbakken ned til ca. kote -5.



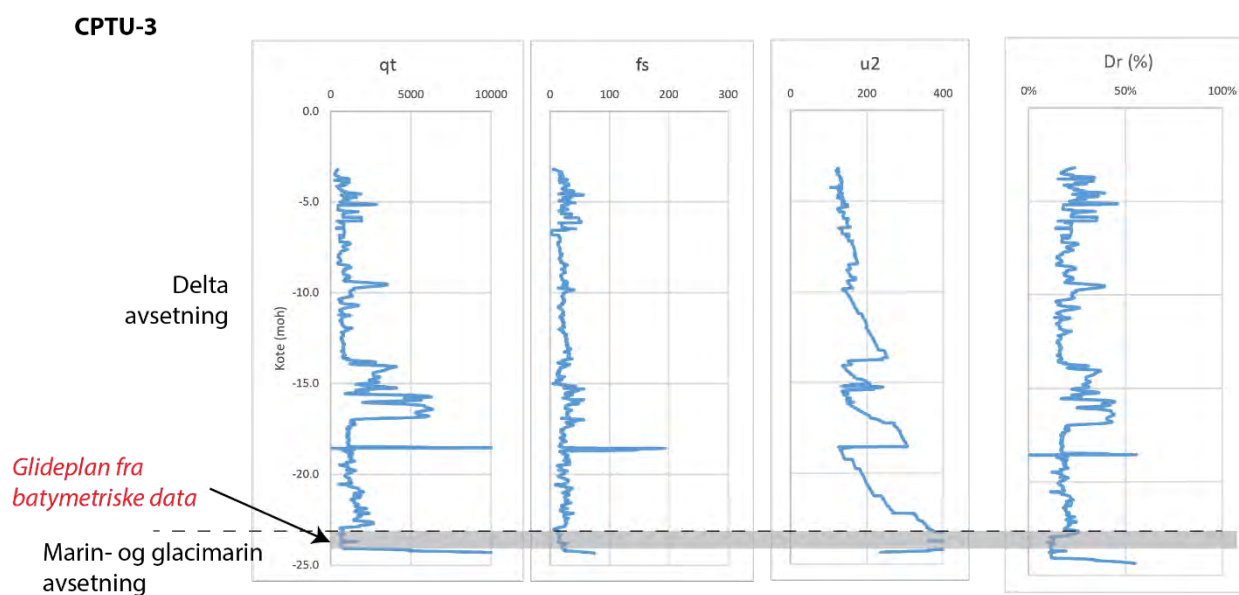
Figur 5: Tolking av lagdeling i profil C-C.



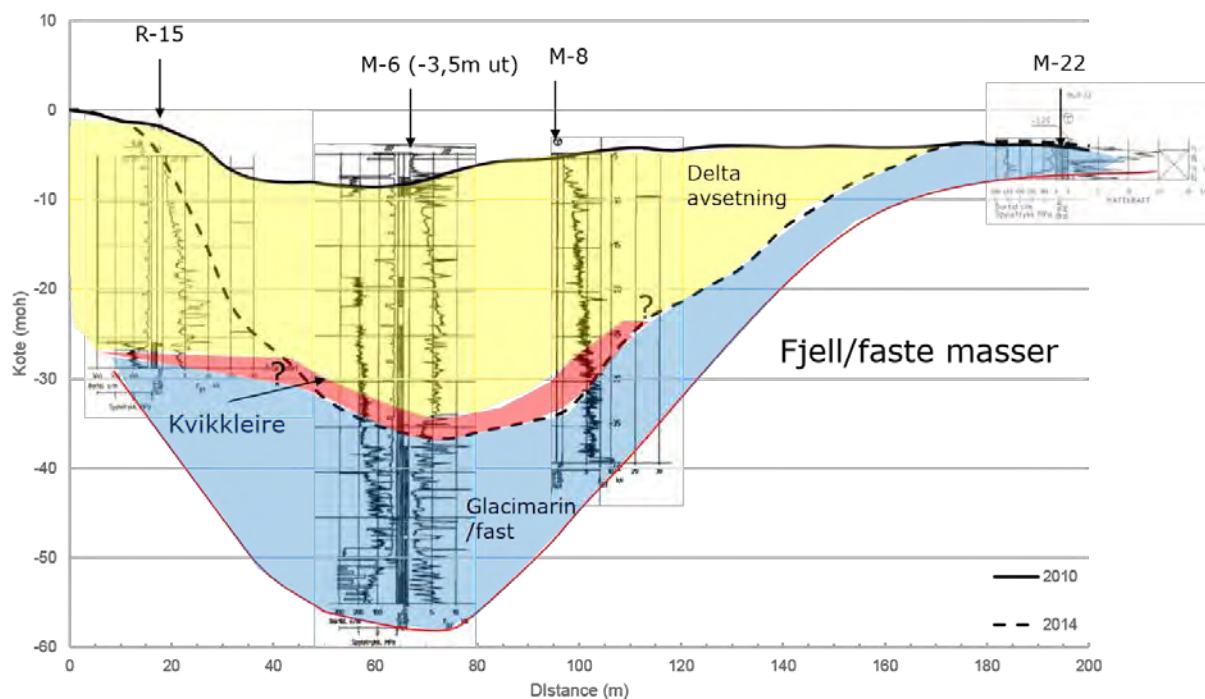
Figur 6: Tolking av lagdeling på CPTU-7.



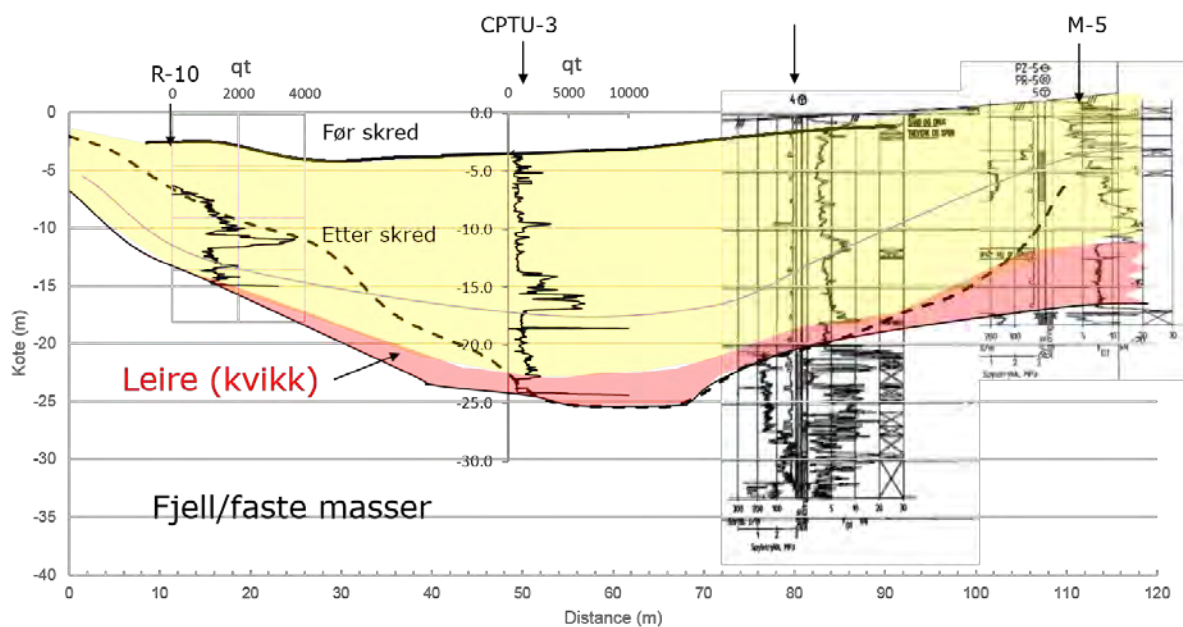
Figur 7: Tolkning av lagdeling i profil I-I



Figur 8: Tolkning av lagdeling i CPTU-3.



Figur 9: *Tolkning av lagdeling i profil J-J*



Figur 10: *Tolkning av lagdeling i profil K-K.*

3.2.2 Relativ lagringsfasthet (D_r)

Relativ lagringstetthet (D_r) er tolket ut fra CPTU data i punkt 2, 7, R10 og R12 og resultatene er presentert i Vedlegg C. Resultatene fra CPTU-sonderinger viser relativt lavt lagringstetthet i de siltige og sandige deltaavsetningene i Sagvika. I CPTU-7, for eksempel, varierer den relative lagringstettheten mellom 10 og 30 % i deltaavsetningen (Figur 6 og Vedlegg C). I forhold til beskrivelsen i Tabell 2 tilsvarer dette en veldig løs til løs lagringsfasthet. Dette skyldes sannsynligvis den høye sedimentasjonsraten i Sagvika som har ført til en lav lagringsfasthet i avsetningene pga lite tid til konsolidering. Tolkning av CPTU-sonderingene viser til sammen et løst lagret materiale av sand, silt og leire i deltaavsetningen som er utsatt for "liquifaction" / flyteskred.

Tabell 2: Beskrivelse av relativ lagringstetthet etter ref. /7/.

Beskrivelse av lagring fasthet	D_r (%)
Veldig løs lagring	0-15
Løs lagring	15-35
Middels fast lagring	35-65
Fast lagring	65-85
Veldig fast lagring	85-100

3.2.3 Kvikkleire og leire med sprøbrudd egenskaper

Sprøbruddmateriale er i ref. /5/ definert med følgende egenskaper:

Sensitivitet (S_t) > 15

Omrørt skjærfasthet (S_{uomr}) < 2 kPa (kvikkleire når S_{uomr} < 0,5 kPa)

Følgende kriterier er lagt til grunn for tolkningen av sprøbruddmateriale ved Statland:

- **Prøveserier** - dersom en prøveserie viser kvikk/sensitiv leire er dette tillagt størst vekt i forhold til andre undersøkelsesmetoder under tolkningsarbeidet.
- **Totalsondering** - ved "overheng" eller "utflating" av målt spissmotstand tolkes det kvikk/sensitiv leire ned til dypet hvor det igjen er oppnådd samme spissmotstand som før "overhengen" og "utflatingen".

- **CPTU** – dersom CPTU resultatene i på diagrammene i Vedlegg A og B faller i kategori 1 – sensitiv finkornig materiale.

En beskrivelse av lagdeling er gitt i kapittel 3.2.1. Profilene presentert i Figur 5-8 viser at sprøbruddmateriale (og kvikkleire) forekommer kontinuerlig over mesteparten av området. Dette laget er som regel < 5 m tykk og forekommer rett under deltaavsetningen og delvis rett på fjell på noen profiler (C-C og K-K). Tegning 003 gir en oversikt over borepunkter hvor det er påtruffet kvikkleire i området.

4 Skredmorfologi

4.1 Skredområdet i Sagvika

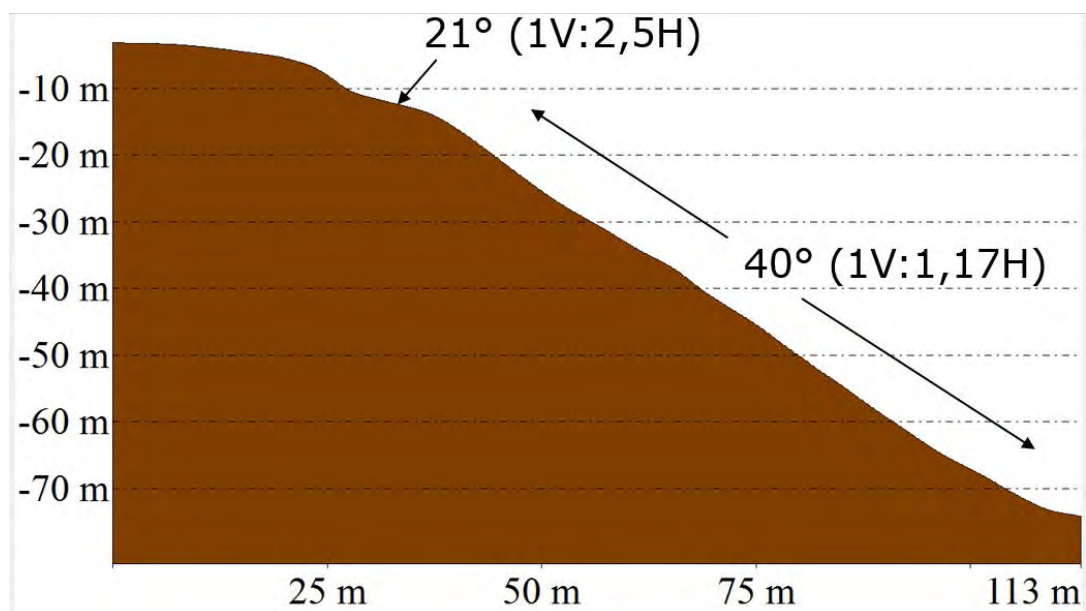
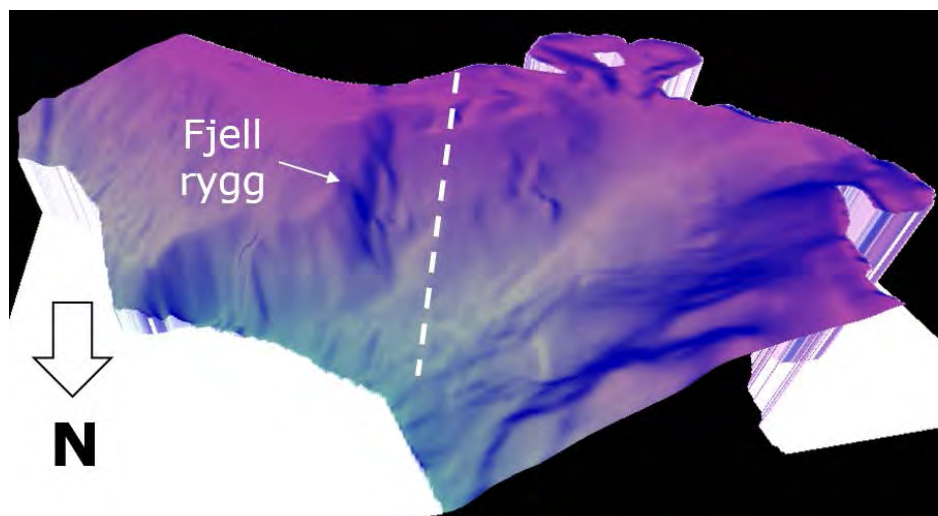
Kart med detaljert batymetri for situasjonen før og etter skredet er presentert i tegning 004 og 005. Sjøbunnkartleggingen utført i 2010 viser at skråningen øst for moloen er relativt slak opptil 25 m utenfor strandlinjen. Fra 25 til 110 m utenfor strandlinjen faller sjøbunnen veldig bratt med skråningsvinkler fra 1:2,5 (21°) til 1:1,17 (40°) (Figur 11). Skråningene er til sammen opptil 70-75 m høye.

De innsamlede batymetridata fra 2014 viser en sediment rygg rett utenfor moloen (Figur 12). Denne ryggen deler skredområdet i to (dvs. øst og vest fra moloen). Differansekartene i tegningene 006-007 viser en mer eller mindre konstant skreddybde på 15-20 m øst for moloen, mens den største differansen er observert nord og nordøst fra moloen (opptil 25-30 m). Skredområdet vest for moloen er typisk pæreformet med litt smalere skredport mot den dypeste delen av skredet (Figur 12). Skredmassene er godt synlig på sjøbunnen nedenfor skredområdet. Deler av skredmassene dekker også over foten av skredområdet øst for moloen. Dette tilsier at skredet øst for moloen sannsynligvis oppsto først (initial skredet) og at skredet vest for moloen kom i den senere fasen av skredet. Området for det initiale skredet ligger i området hvor det forut for skredet ble fylt opp, masseutskiftet og komprimert med vibrovals. I dette området har også skråningen retning mot området hvor det ble registrert størst oppskylling fra flodbølgen som ble generert av skredet.

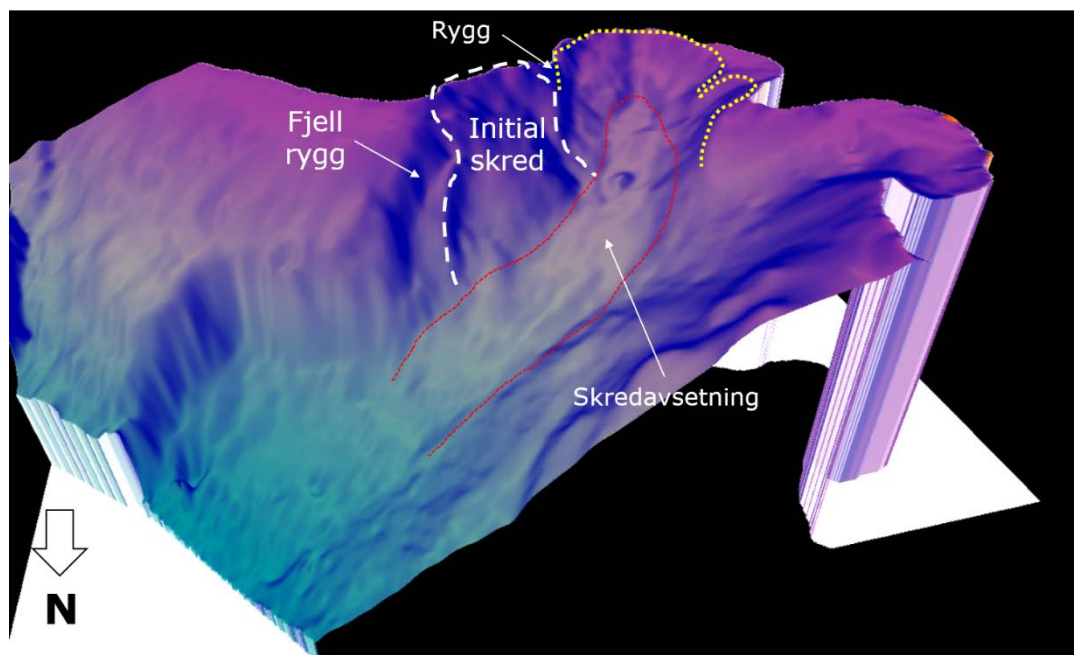
På alle profilene vist i Figur 5, 7, 9 og 10 er det tegnet inn sjøbunn før og etter skredet. I profil C-C, som er tegnet øst for moloen, følger skredplanet (eller glideplanet) to forskjellige nivåer i stratigrafien. Det laveste nivået korrelerer mot kvikkleirenivået, mens det øverste nivået stemmer overens med et løst lagret lag av silt/sand i deltaavsetningen nærmere land (Figur 5). Dette nivået er også tegnet inn på CPTU-7 resultatene vist på Figur 6.

Innerst i bukta vest for moloen samsvarer dagens sjøbunn med nivået til kvikkleire (Figur 7-9-10). Dette er også tilfelle i CPTU-3 vist på Figur 8.

Det totale skredarealet som er vist på Tegningene 006-007 og på Figur 12 er estimert til 21,000 m² og dette tilsvarer en skredvolum på ca. 350-400,000 m³.



Figur 11: 3D terreng modell før skred.



Figur 12: 3D terrengbilde etter skred.

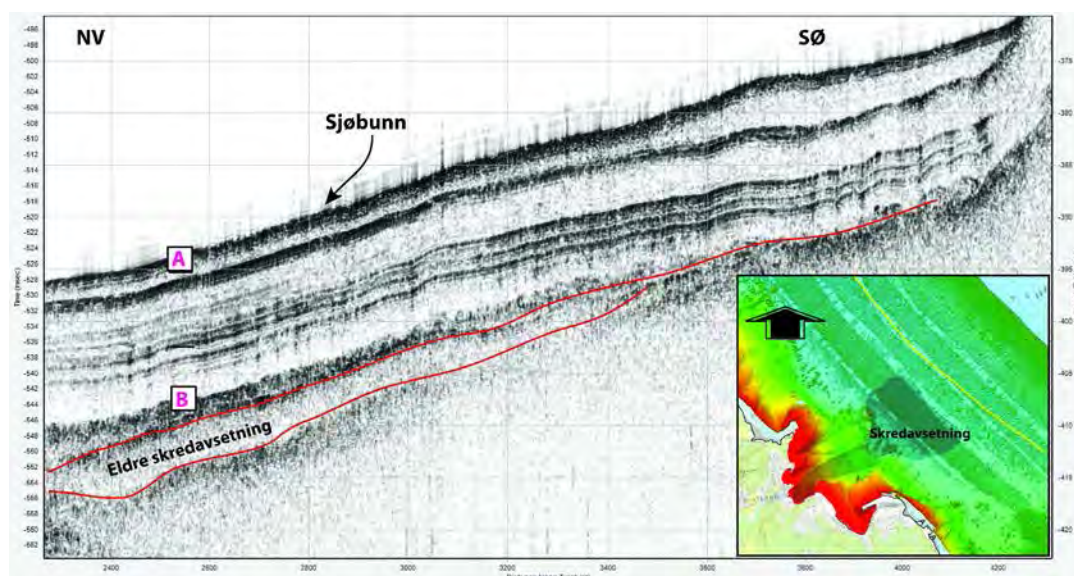
4.2 Skredavsetning i Namsfjorden

Kartlegging av skredmassene dypere ute i Namsfjorden er utført med hjelp av refleksjonsseismiske data (se Tegning 002). De seismiske data i Namsfjorden viser en relativ flat fjordbunn med svak helning mot nord-vest. Sjøbunnen er karakterisert som en kraftig refleksjon på de seismiske profilene vist i Figur 13-15. På sjøbunnen er det et område på ca. 240,000 m² som er mer kaotisk og med noen blokker tilstede. Denne tolkes til å være skredavsetningen, og den varierer i tykkelse fra 1 til 3 m (Figur 14-15).

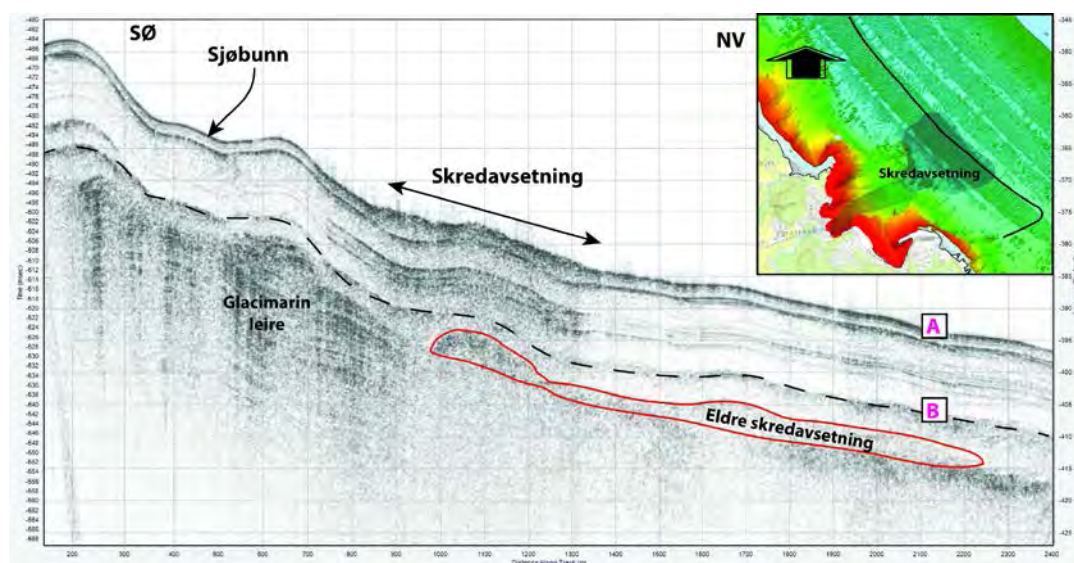
Skredavsetningen strekker seg opptil 1300 m utenfor Sagvika i Namsfjorden (Tegning nr. 008). Total fallhøyde fra Sagvika og fram til fronten av skredmassene er ca. 380 m. Videre er det observert at skredavsetningen på fjordbunnen opptil ca. 900 m fra Sagvika ser ut til å være noe tykkere enn utover på sjøbunnen og noe mer konsistent.

Refleksjonsseismiske data fra Namsfjorden gir også mye informasjon om stratigrafien. Dataene viser en uregelmessig fjelloverflate dekket av glacimarine sedimenter og/eller morene. Den seismiske signaturen til de glacimarine sedimentene er godt synlig på profil 4 (Figur 14) og består av mange tynne og kraftige refleksjoner. Det er registrert en uregelmessig linse på toppen av den glacimarine avsetningen som trolig representerer avsetning etter skred (Figur 13-Figur 14). Den jevne grensen markert med B i Figurene 13-15 representerer trolig et skift fra glacimarine til marine forhold i fjorden. Det er en tydelig endring i lagdeling ovenfor denne grensen, og det flere kraftige reflektorer som kan følges over store

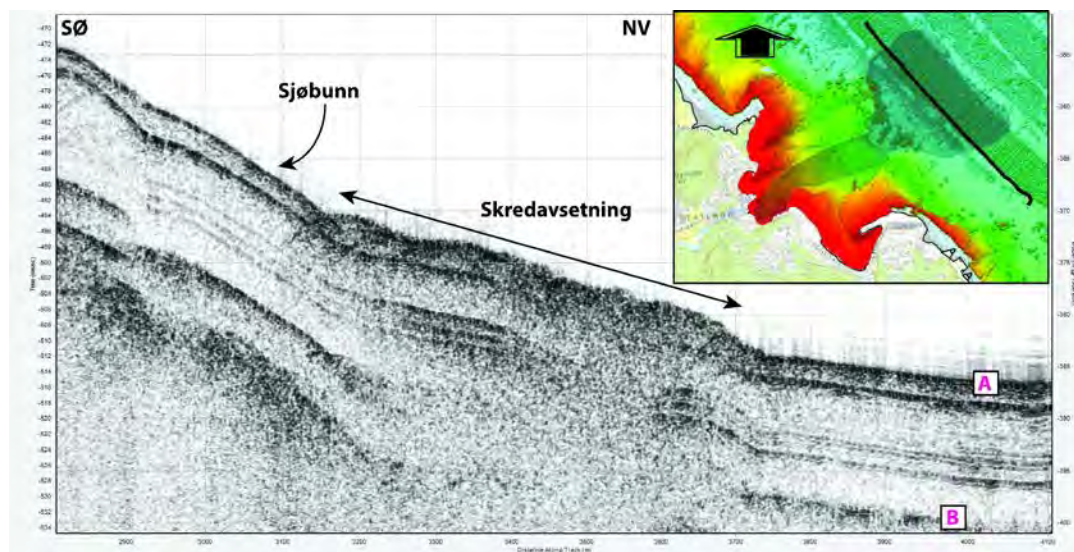
arealer. Disse reflektorene tyder på en endring i fjordsystemet og kan være et resultat av flom, skred eller økt sedimentasjon i fjorden.



Figur 13: Refleksjonsseismisk profil nr. 2



Figur 14: Refleksjonsseismisk profil nr. 4



Figur 15: Refleksjonsseismisk profil nr. 9

5 Oppsummering og tolkning av skredforløp

Dette notatet omhandler tolkning av grunnboring og refleksjonsseismiske data samt tolkning av skredmorfologi på grunnlag av detaljerte batymetriske målinger utført før og etter skredet som gikk 29.01.2014 ved Nord - Statland i Namdalseid kommune. Sjøbunnmorfologien før og etter skredet viser at ca. 20 m av sjøbunnen er forsvunnet over et 21,000 m² stort areal. Volumet til skredet antas å være i størrelsesorden 350-400,000 m³. Analysene viser at skredhendelsen mest sannsynlig startet med et initialskred øst for moloen ytterst i Sagvika, og at erosjon fra denne utløste et større kvikkleireskred som forplantet seg inn på land, innerst i bukta. Refleksjonsseismiske data viser at skredmassene beveget seg opptil 1300 m ut i Namsfjorden og at disse er opptil 2-3 m tykke. Tolkning av refleksjonsseismiske data gir et viktig grunnlag for beregning av stabilitet og for utløp- og flodbølgemodellering.

Basert på tolkning sjøbunn morfologi og på oversikten over grunnforholdene er skredforløpet for Statlandskredet antatt å være som følger:

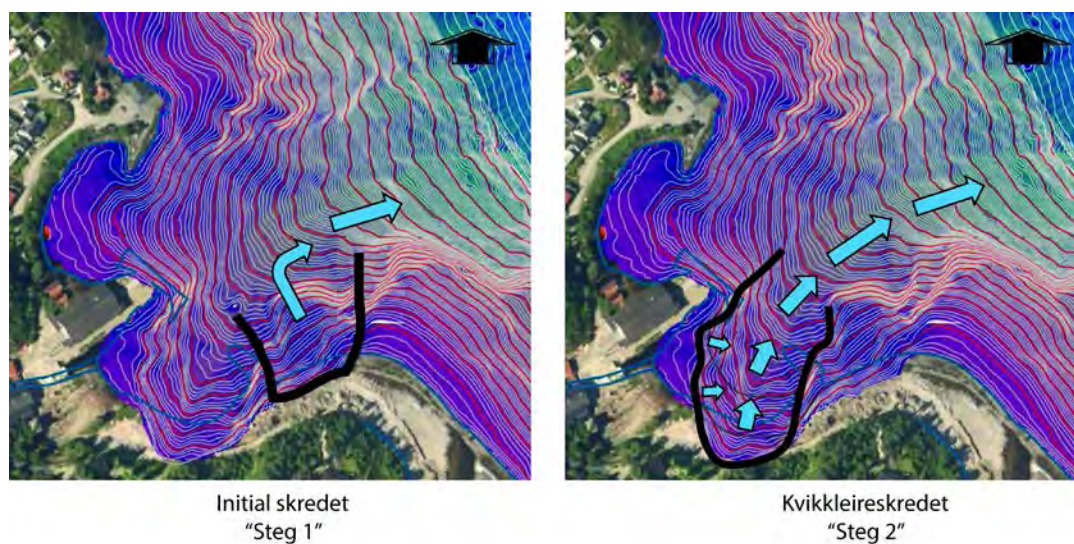
1 – Initialskredet oppsto først øst for moloen (Steg 1; Figur 16). Glideplanet fulgte et løst lagret silt/sand - lag i stratigrafien (CPTU-7; Fig. 5-6) ca. 25 meter utover fra strandlinjen før det gikk dypere og ned i kvikkleire på kote -30 (Figur 5). Det er en relativt "jevn" overflate i det initiale skredområdet, noe som tilsier at massene har beveget seg i ett uten noe særlig justering eller retrogresjon. Området for det initiale skredet ligger i området hvor det forut for skredet ble fylt opp, masseutskiftet og komprimert med vibrovals. I dette området har også skråningen retning mot området hvor det ble registrert størst oppskylling fra flodbølgen som ble generert av skredet.

2 – Strømmen og skredmassene fra det initiale skredet førte til kraftig erosjon på sjøbunnen nord og nordøst for moloen. Erosjonen i foten av skråningen førte til økte

skjærspenninger i kvikkleirelaget. Dette kan ha medført udrenert brudd, og være utløsningsmekanismen som resulterte i kvikkleireskredet i Steg 2 i Figur 16. Skredutviklingen øst for initialscredet stoppet tidlig pga en fjellrygg (Figur 12).

3 - Bruddutviklingen i kvikkleire fortsatte helt inn til land og ved strandkanten siden kvikkleireforekomsten var kontinuerlig over mesteparten av området i bukta vest for moloen. Sjøbunns morfologien med pæreform og mindre sirkulære skredkanter utenfor Statlandelva tilsier at det var noe retrogresjon under Steg 2.

4 – Skredmassene fra initialscredet og fra kvikkleirescredet strømmet ned mot Namsfjorden. Som vist på de refleksjonsseismiske data, stoppet massene fra initial skredet sannsynligvis først og ca. 900 m fra Sagvika. Disse massene ble senere "overkjørt" av massene fra kvikkleirescredet som stoppet ca. 1300 m utenfor Sagvika.



Figur 16: Prinsippkisse i to steg over forløpet til Statlandskredet 29.01.2014.

6 Referanser

- /1/ Multiconsult 2012. Rapport nr. 414432-RIG-RAP – 001 rev. 00. (2012) - Sagvika gjestehavn, Nord Statland, Grunnundersøkelser. Datarapport
- /2/ L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. 2010: Ny kunnskap om skredmekanisme langs norske fjorder: Eksempler fra Trondheimsfjorden og Sørfjorden I Hemnes. Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk, Oslo 25-26 Nov. 2010. pp.20.1-20.15. ISBN 978-82-8208-021-7
- /3/ Hansen, L., L'Heureux, J.S., Longva, O. 2011. Turbiditic, clay-rich event beds in fjord-marine deposits caused by landslides in emerging clay deposits – palaeoenvironmental interpretation and role for submarine mass-wasting. *Sedimentology* 58: 890–915.
- /4/ L'Heureux, J.S., Longva, O., Steiner, A., Hansen, L., Vardy, M.E., Vanneste, M., Haflidason, H., Brendryen, J., Kvalstad, T.J., Forsberg, C.F., Chand, S., Kopf, A. (2012). Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, northern Norway. *In: Y. Yamada et al. (eds). Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research, 29, Springer, Dordrecht (The Netherlands). 321-330.*
- /5/ NVE. 2014. Sikkerhet mot kvikkleireskred – Vurdering av området stabilitet ved arealplanlegging og utbygning i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. –*Veileder nr. 7 – 2014.*
- /6/ Rapport nr. 0.637 (1967) - Statlandbruket. Grunnundersøkelse for nytt masselager.
- /7/ Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2008). *Soil mechanics SI version*. John Wiley & Sons.

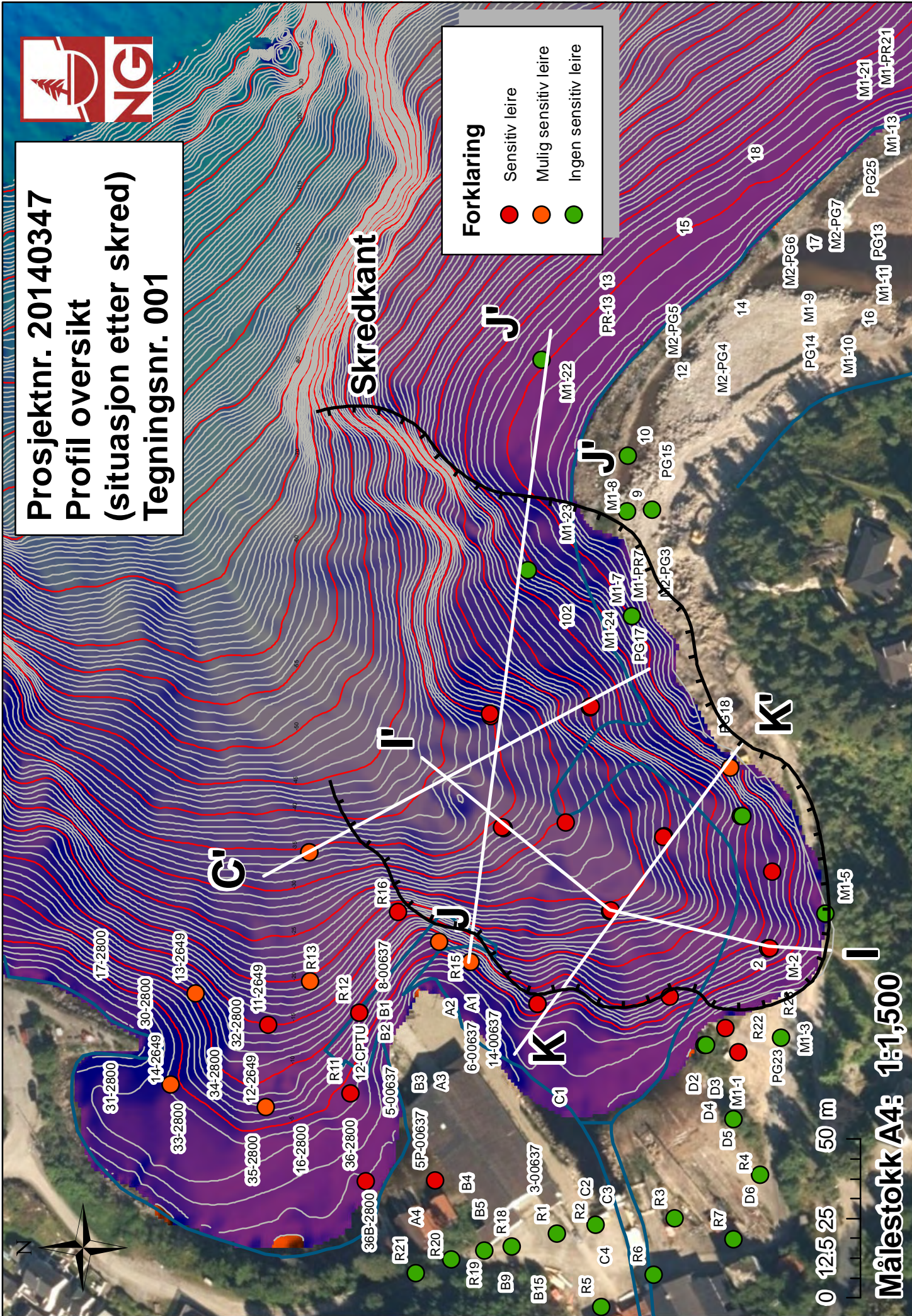


Prosjektnr. 20140347
Profil oversikt
(situasjon etter skred)
Tegningsnr. 001

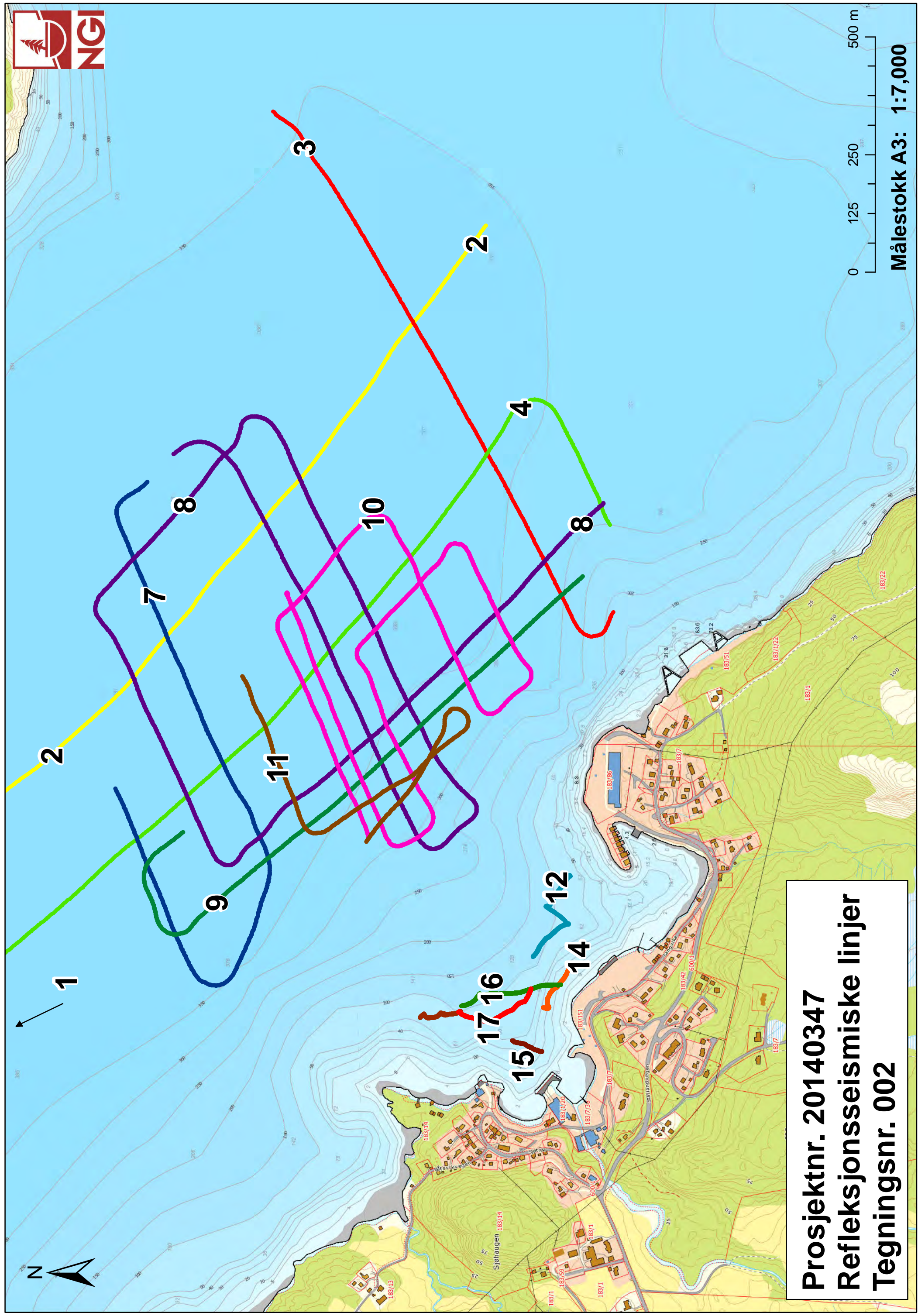
Forklaring

- Sensitiv leire
- Mulig sensitiv leire
- Ingen sensitiv leire

Skredkant



0 12.5 25 50 m
Målestokk A4: 1:1,500



Prosjektnr. 20140347
Refleksjonsseismiske linjer
Tegningsnr. 002



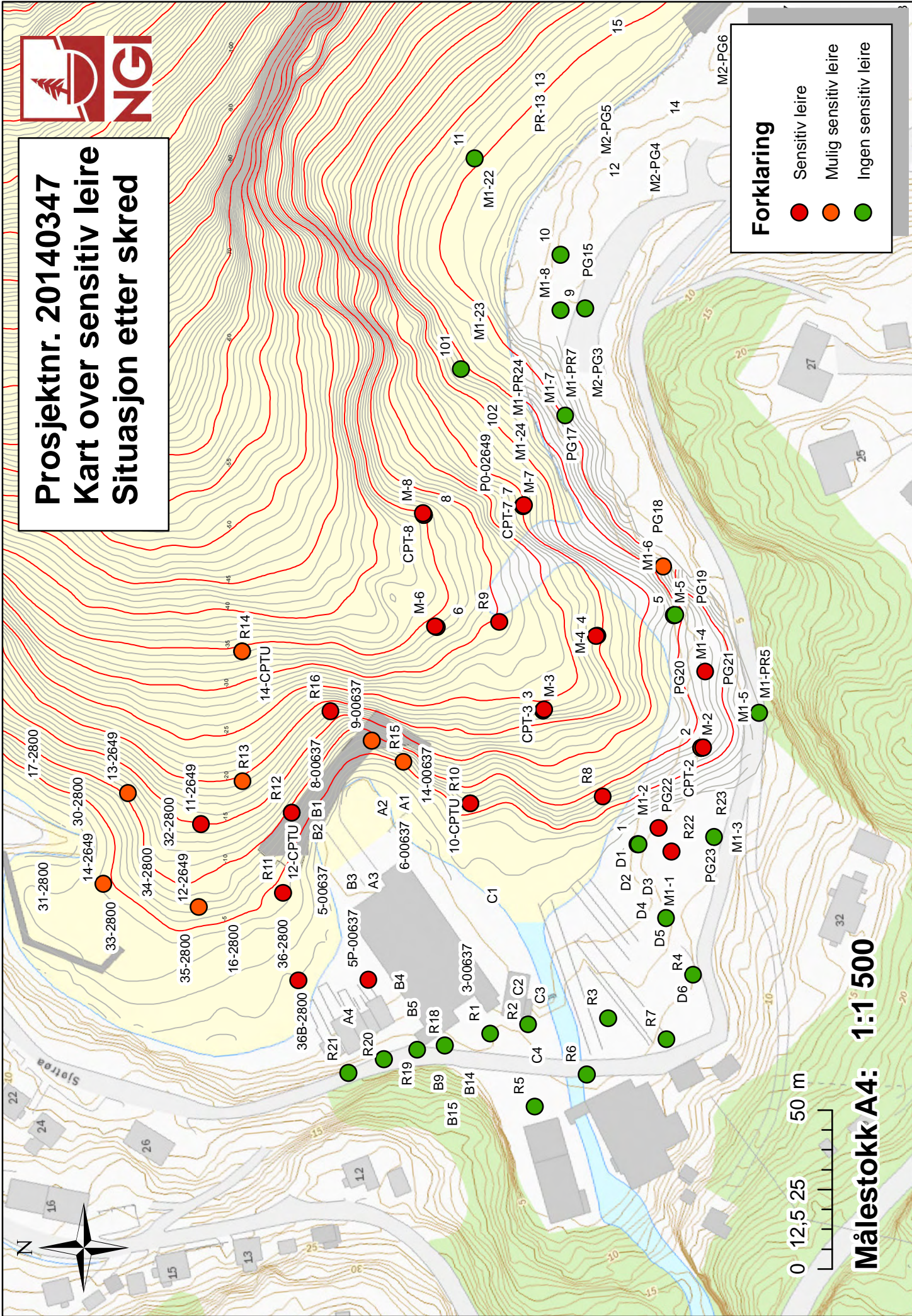
Målestokk A3: 1:7,000



Prosjektnr. 20140347 Kart over sensitiv leire Situasjon etter skred

Forklaring

- Sensitiv leire
- Mulig sensitiv leire
- Ingen sensitiv leire



1:1 500

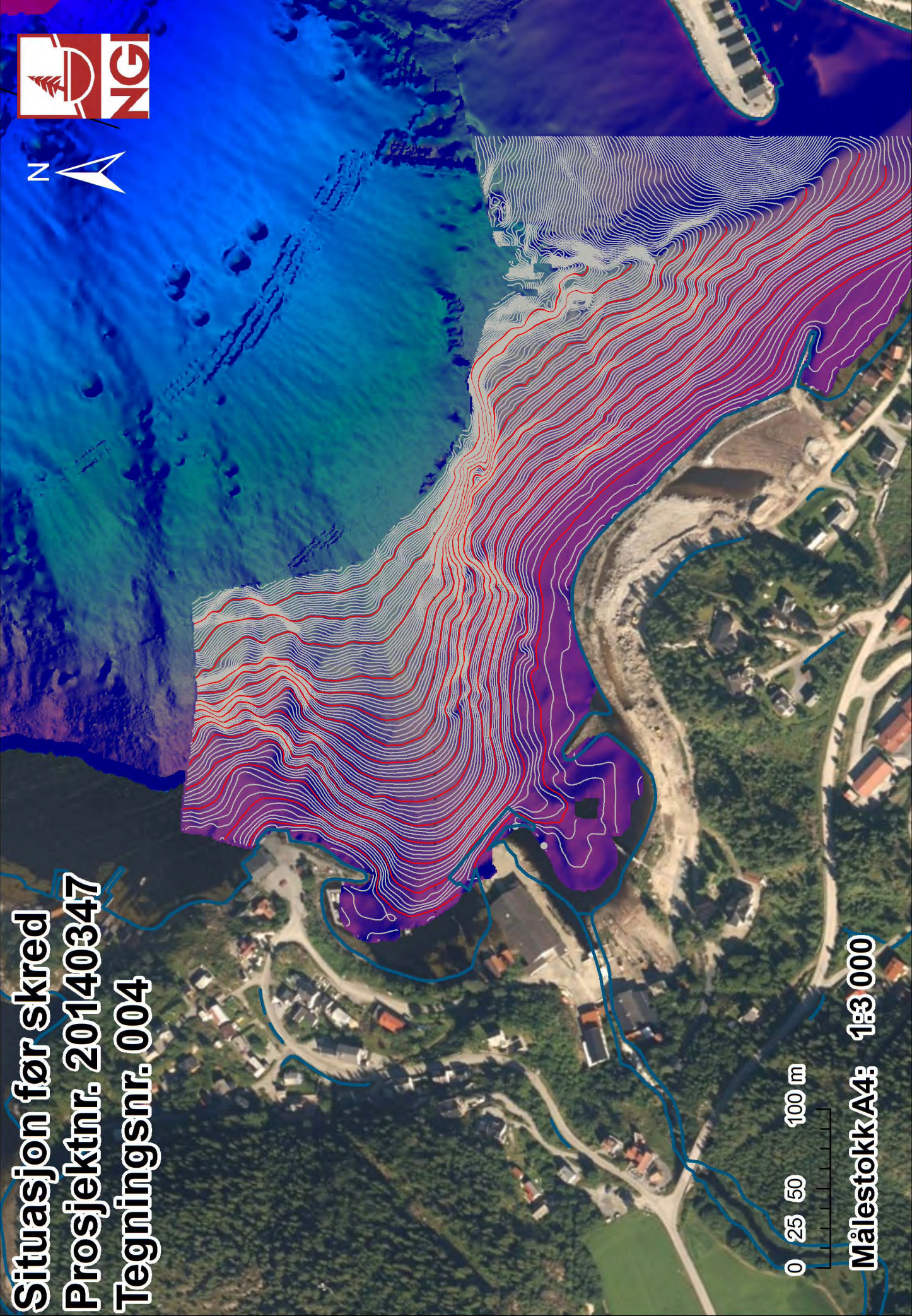
Målestokk A4:



Situasjon før skred
Prosjektnr. 20140347
Tegningsnr. 004



Målestokk A4: 1:3 000

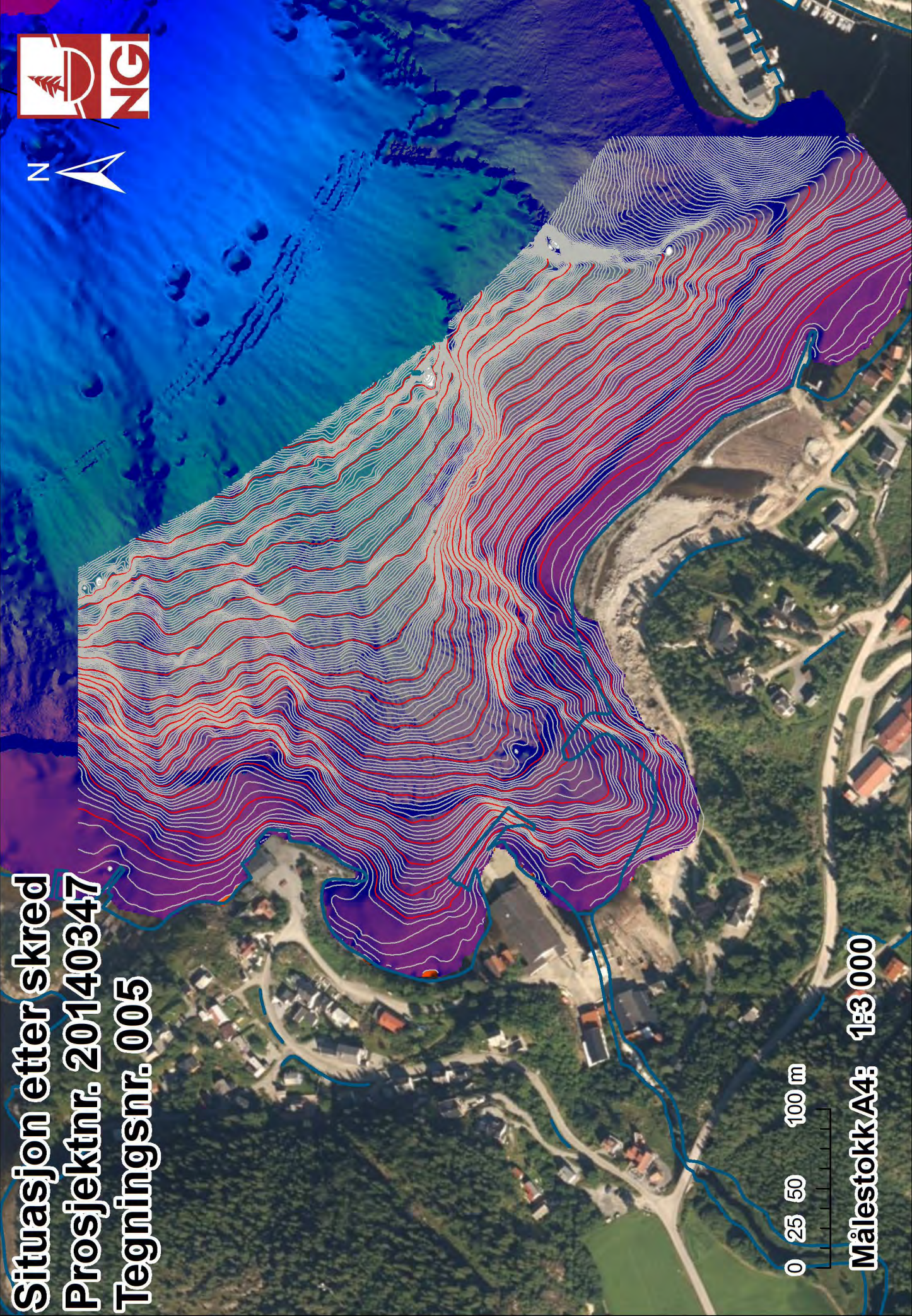




Situasjon etter skred
Prosjektnr. 20140347
Tegningsnr. 005

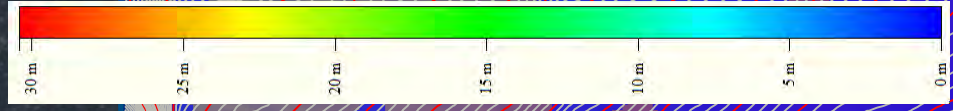


Målestokk A4: 1:3 000





Prosjektnr. 20140347
Differansekart (2010 koter)
Tegningsnr. 006



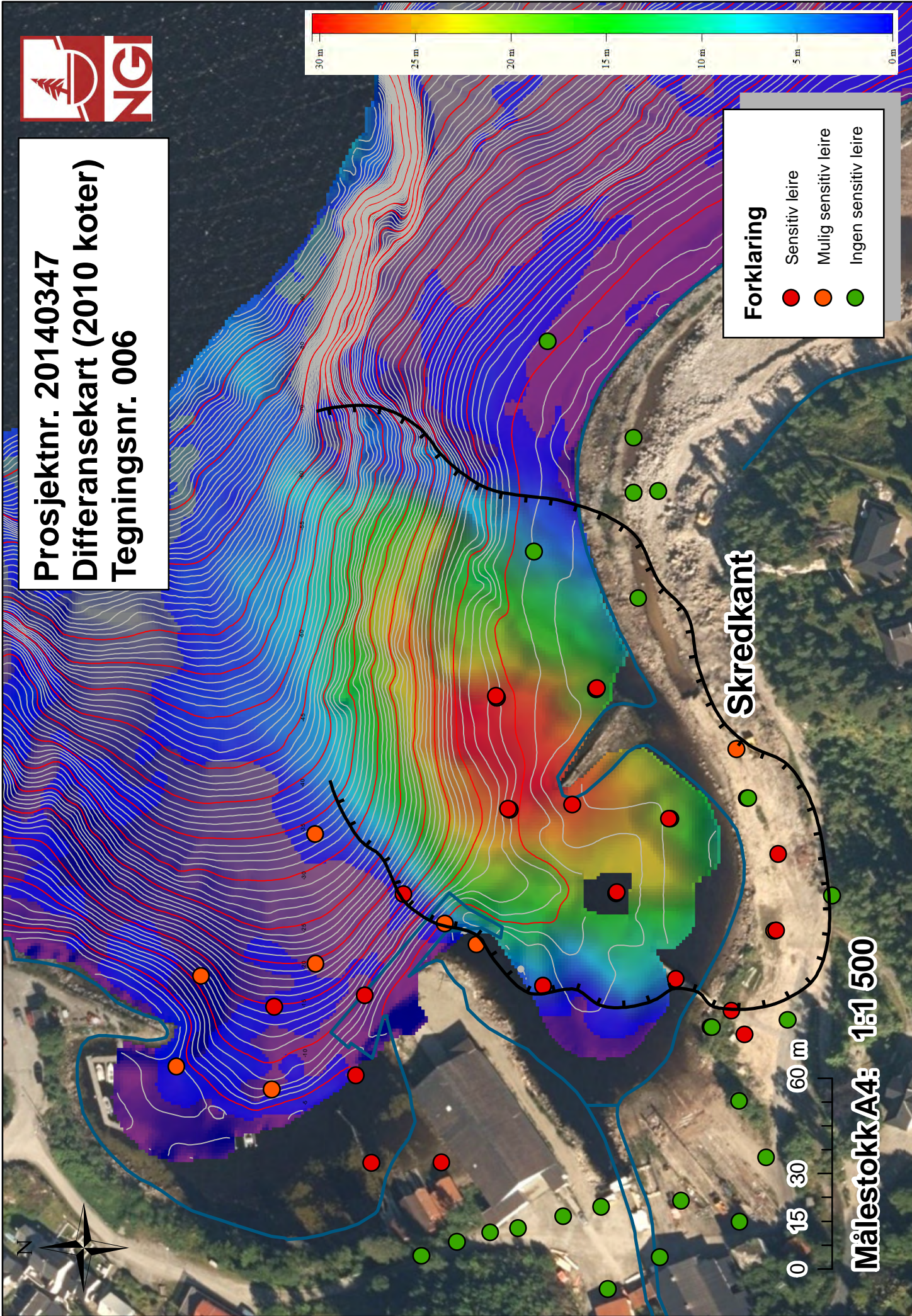
Forklaring

- Sensitiv leire
- Mulig sensitiv leire
- Ingen sensitiv leire

Skredkant

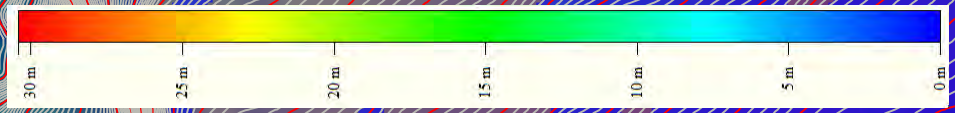


Målestokk A4: 1:1 500





Prosjektnr. 20140347
Differansekart (2010 koter)
Tegningsnr. 007



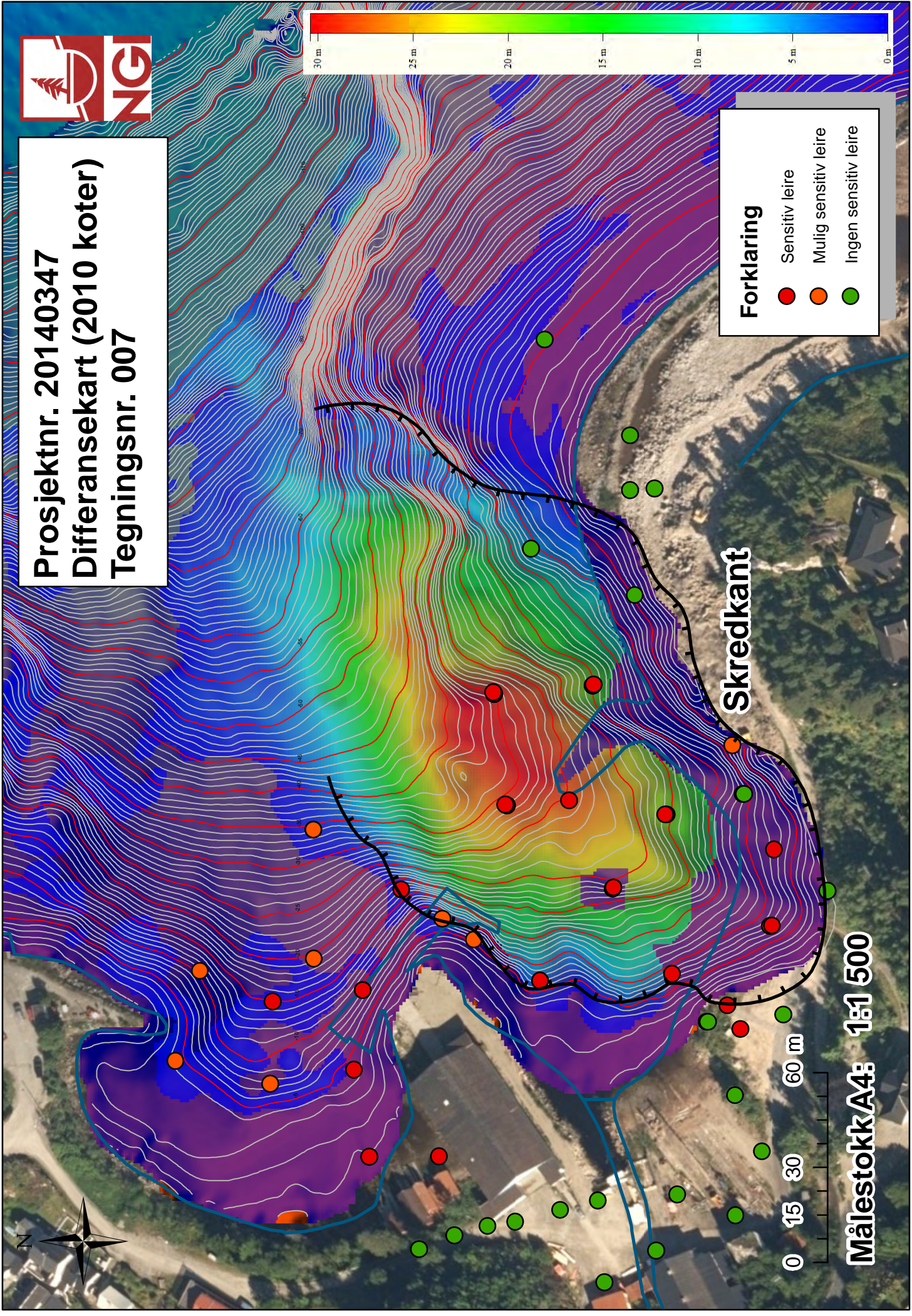
Forklaring

- Sensitiv leire
- Mulig sensitiv leire
- Ingen sensitiv leire

Skredkant

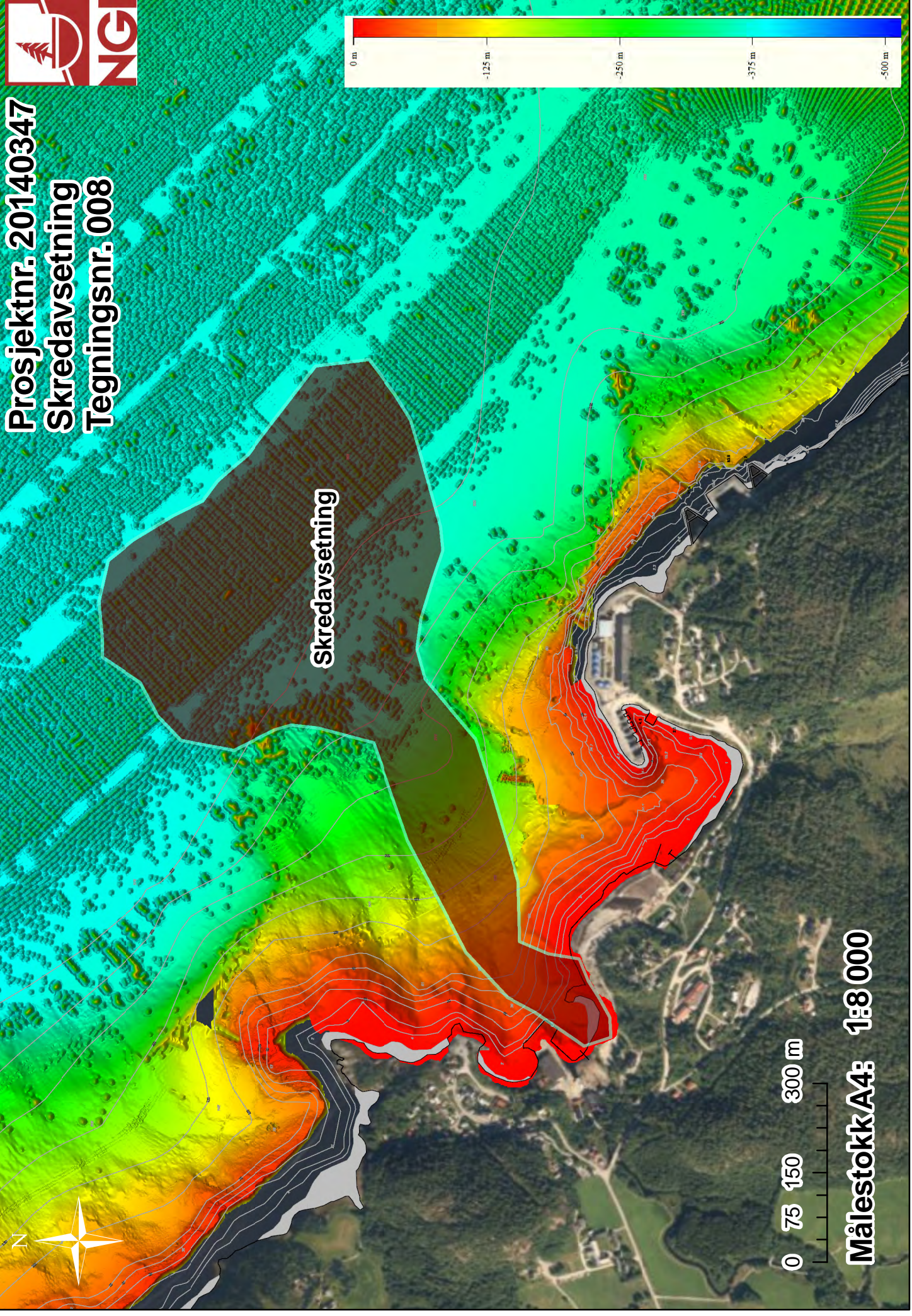
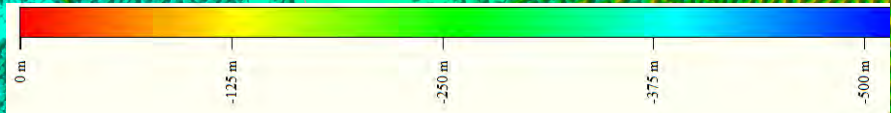


Målestokk A4: 1:1 500





Prosjektnr. 20140347
Skredavsetning
Tegningsnr. 008



Skredavsetning



Målestokk A4: 1:8 000

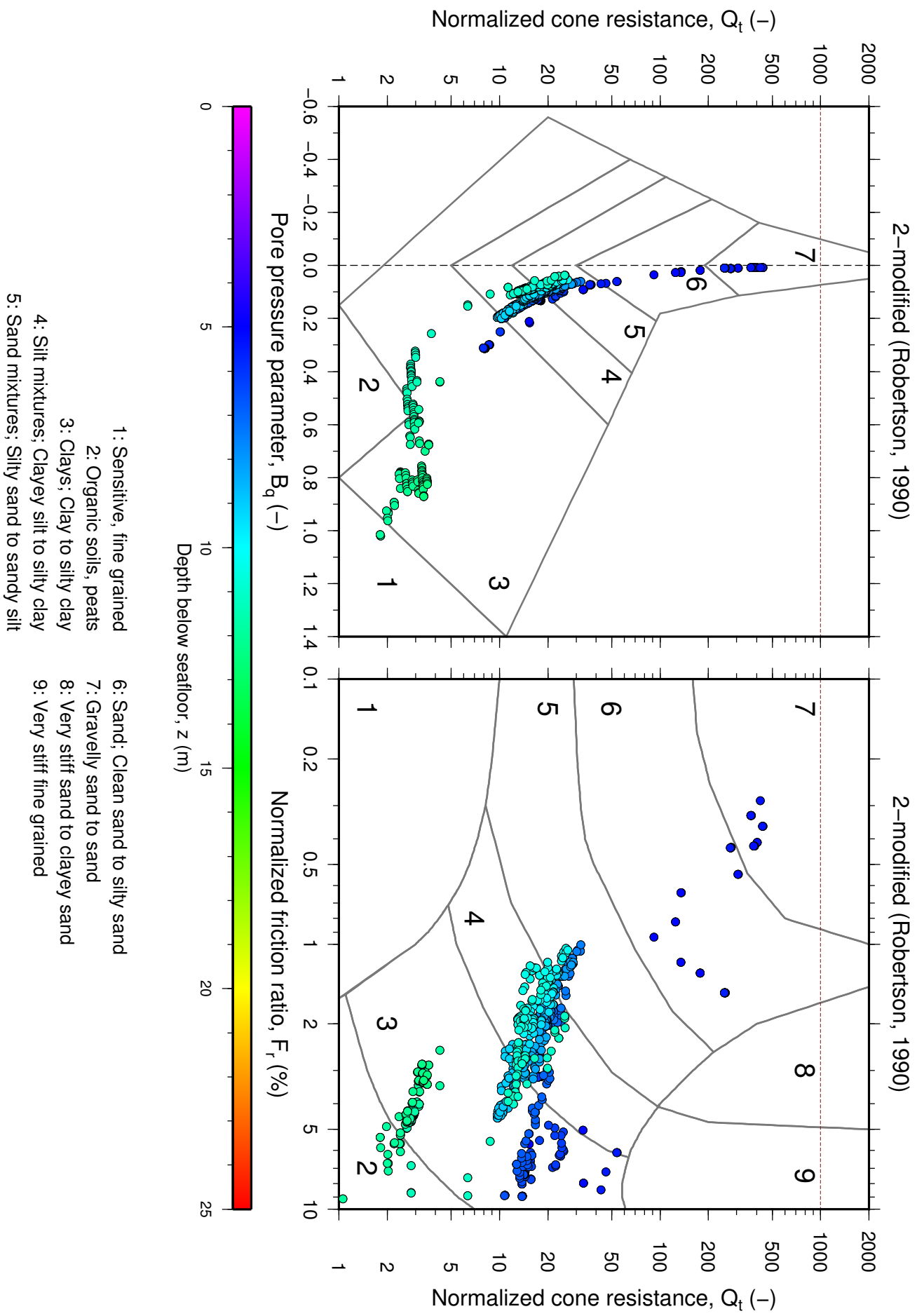
Vedlegg A - Jordartsklassifisering fra CPTU - diagrammer

Innhold

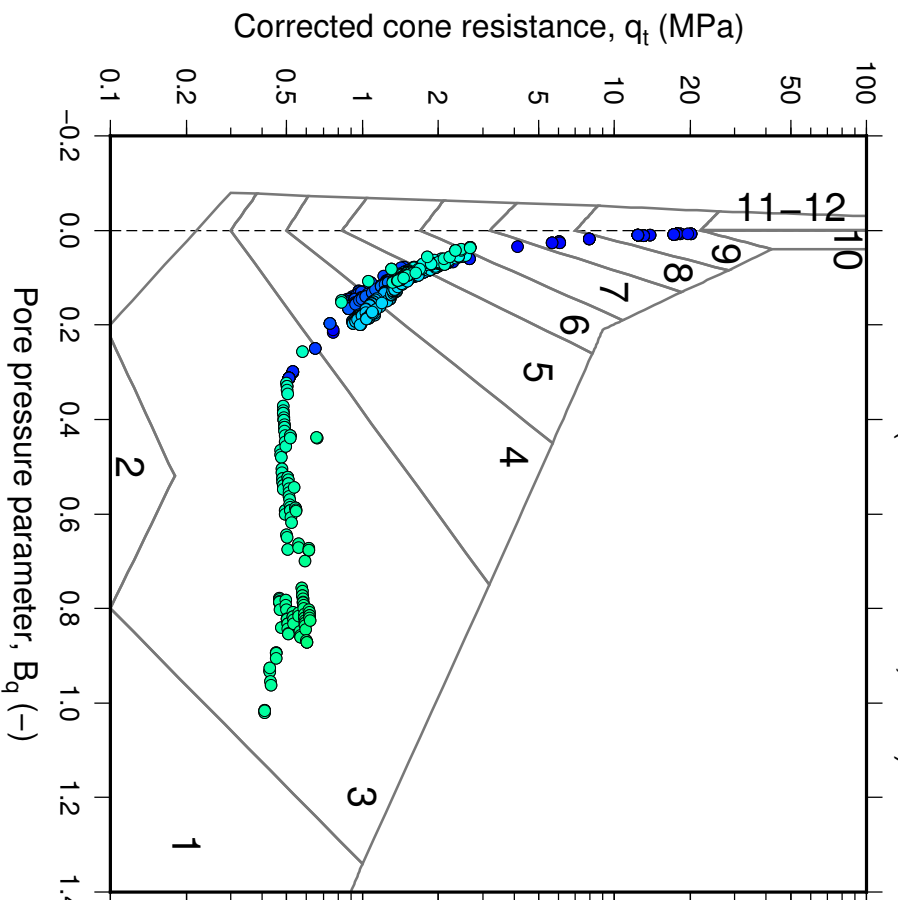
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data i borepunkt 2, 3, 7, R2, R10, R12 og R14 er presentert mha $Q_t - B_q$, $Q_t - F_r$, $q_t - B_q$ og $q_t - R_f$ diagrammer etter ref. (1, 2 og 3)

Referanser

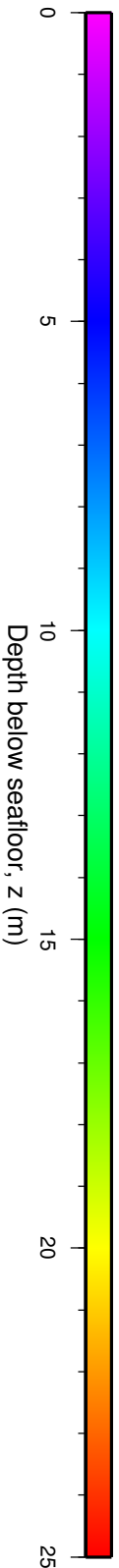
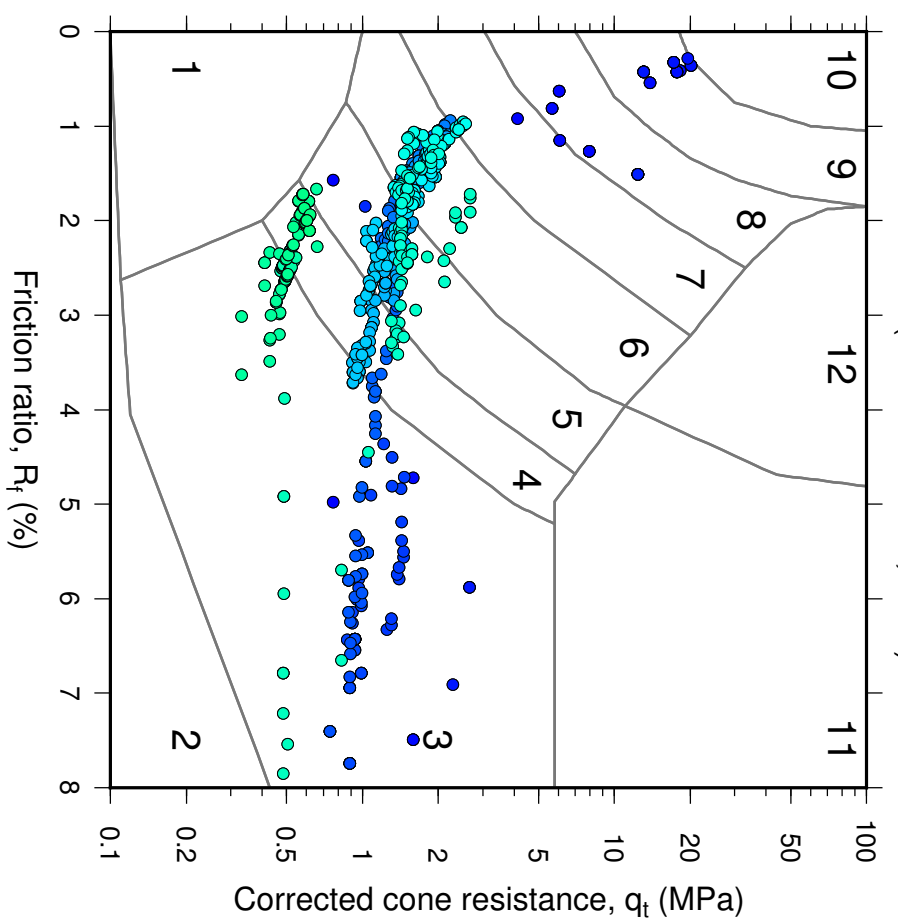
- 1- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1), 151-158.
- 2- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Grieg, J. 1986. use of piezometer cone data. Proceedings , In-situ *8 6, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, VA.
- 3- Ramsey, N 2002. A Calibrated Model for the Interpretation of Cone Penetration Tests CPTs in NorthSea Quaternary Soils. *Proc SUT Conf*, London



2-modified (Robertson et al., 1986)



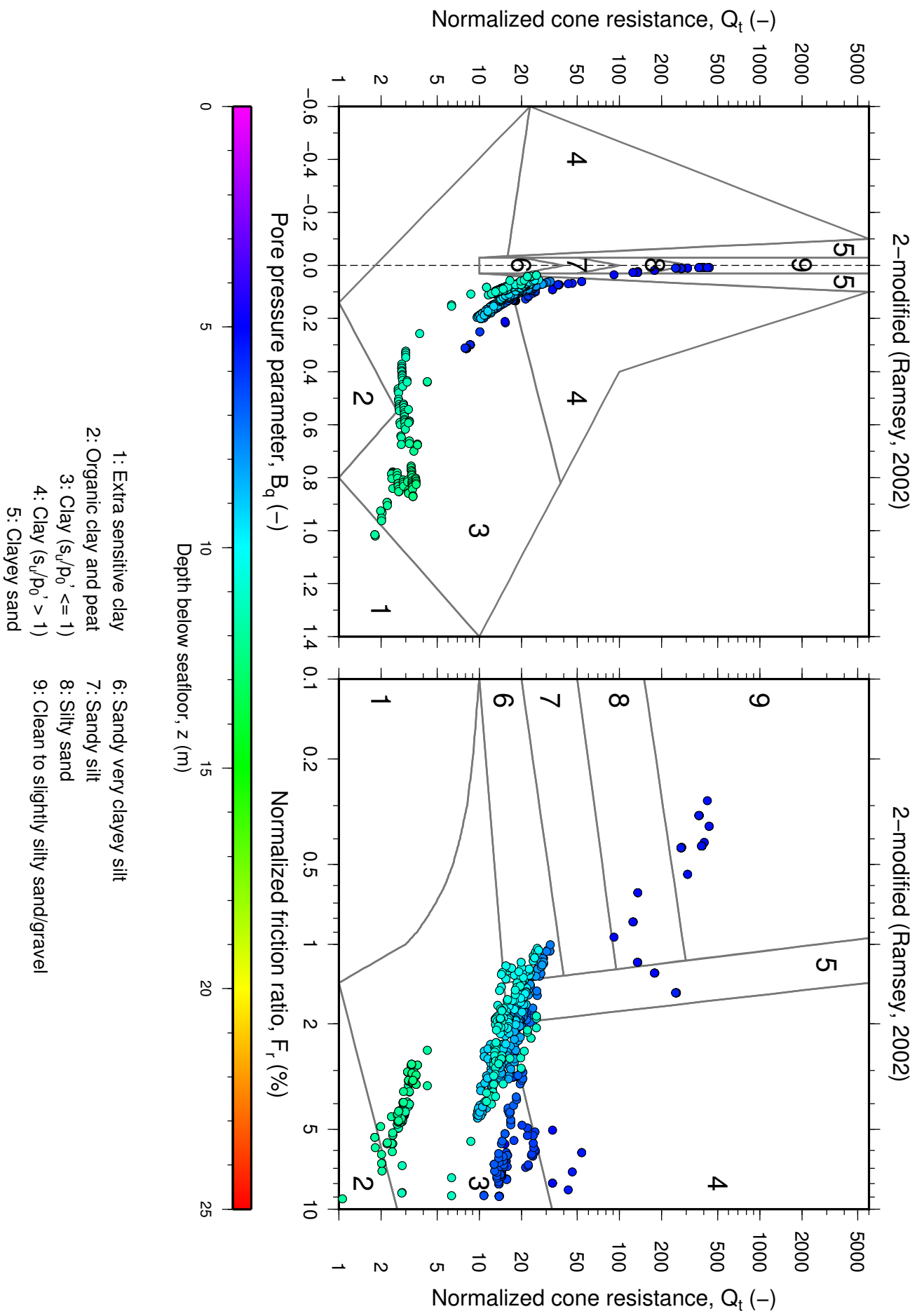
2-modified (Robertson et al., 1986)

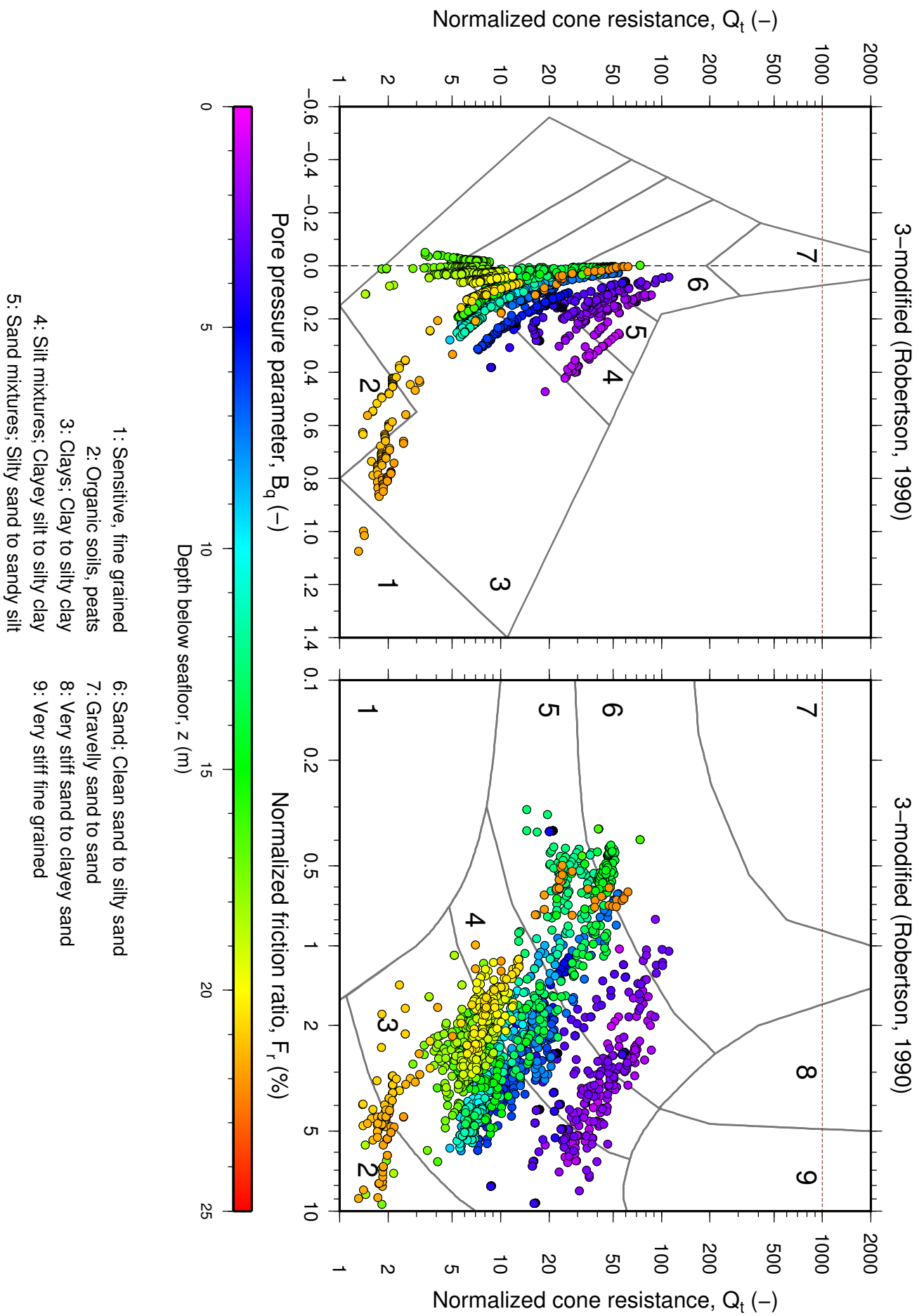


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay
- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt

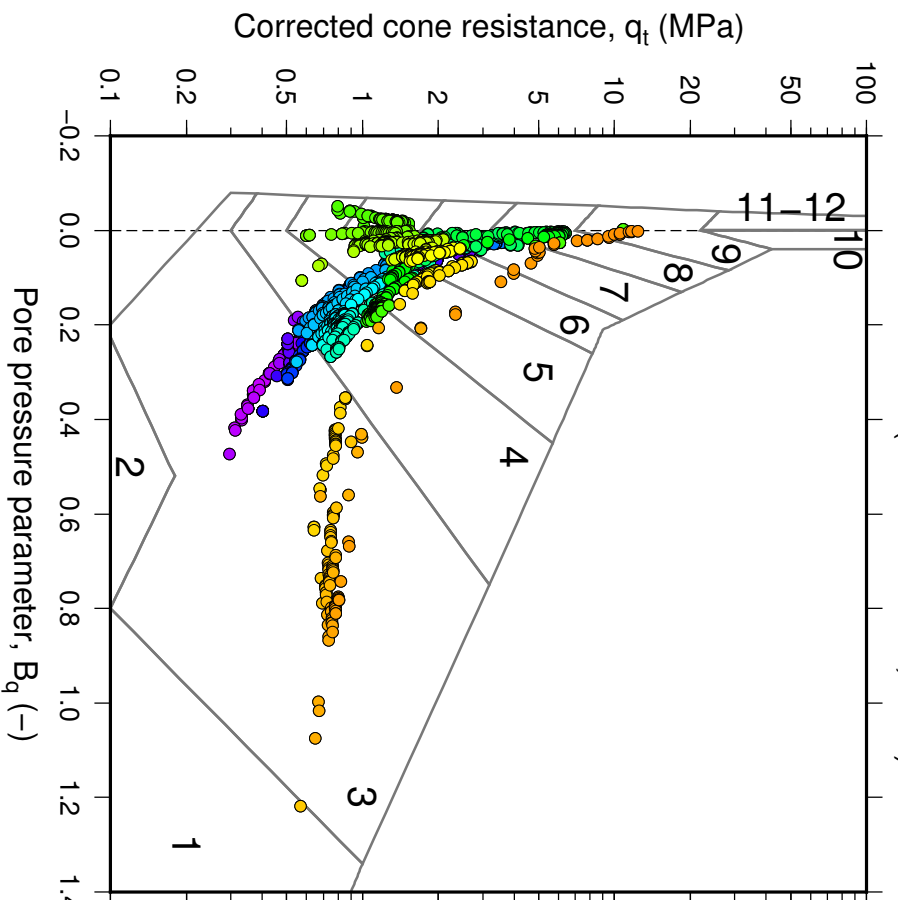
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand
- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

*Overconsolidated or cemented

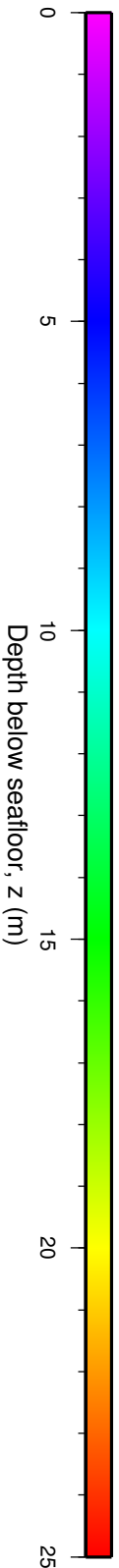
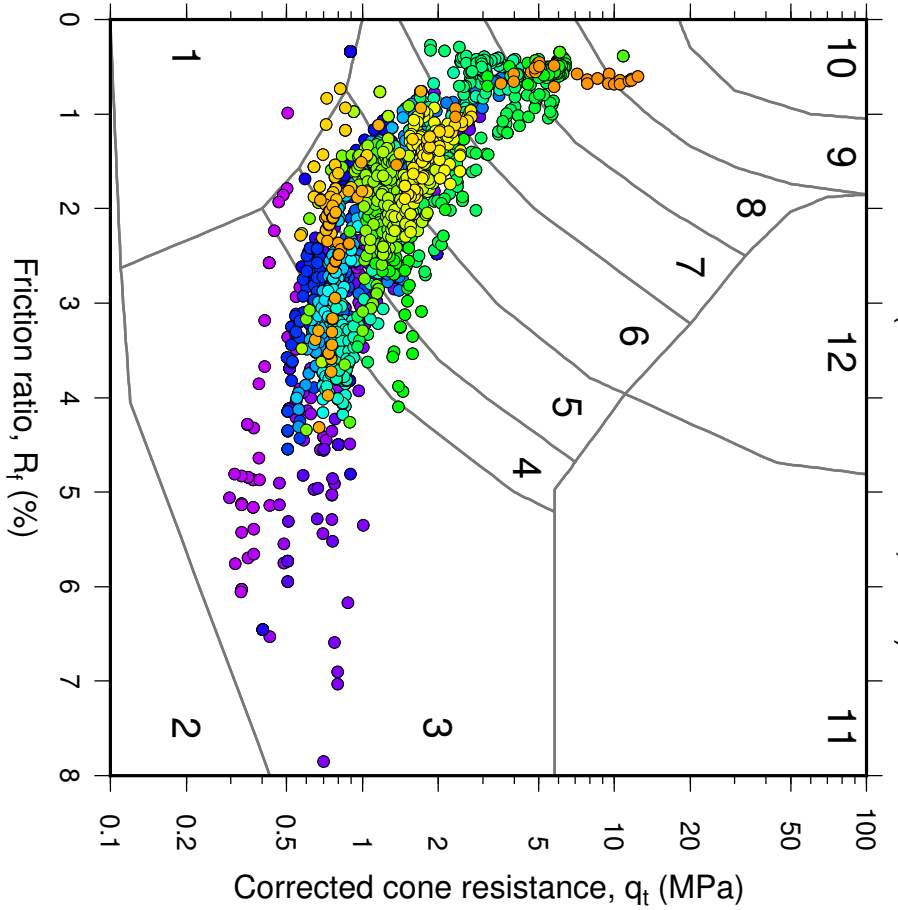




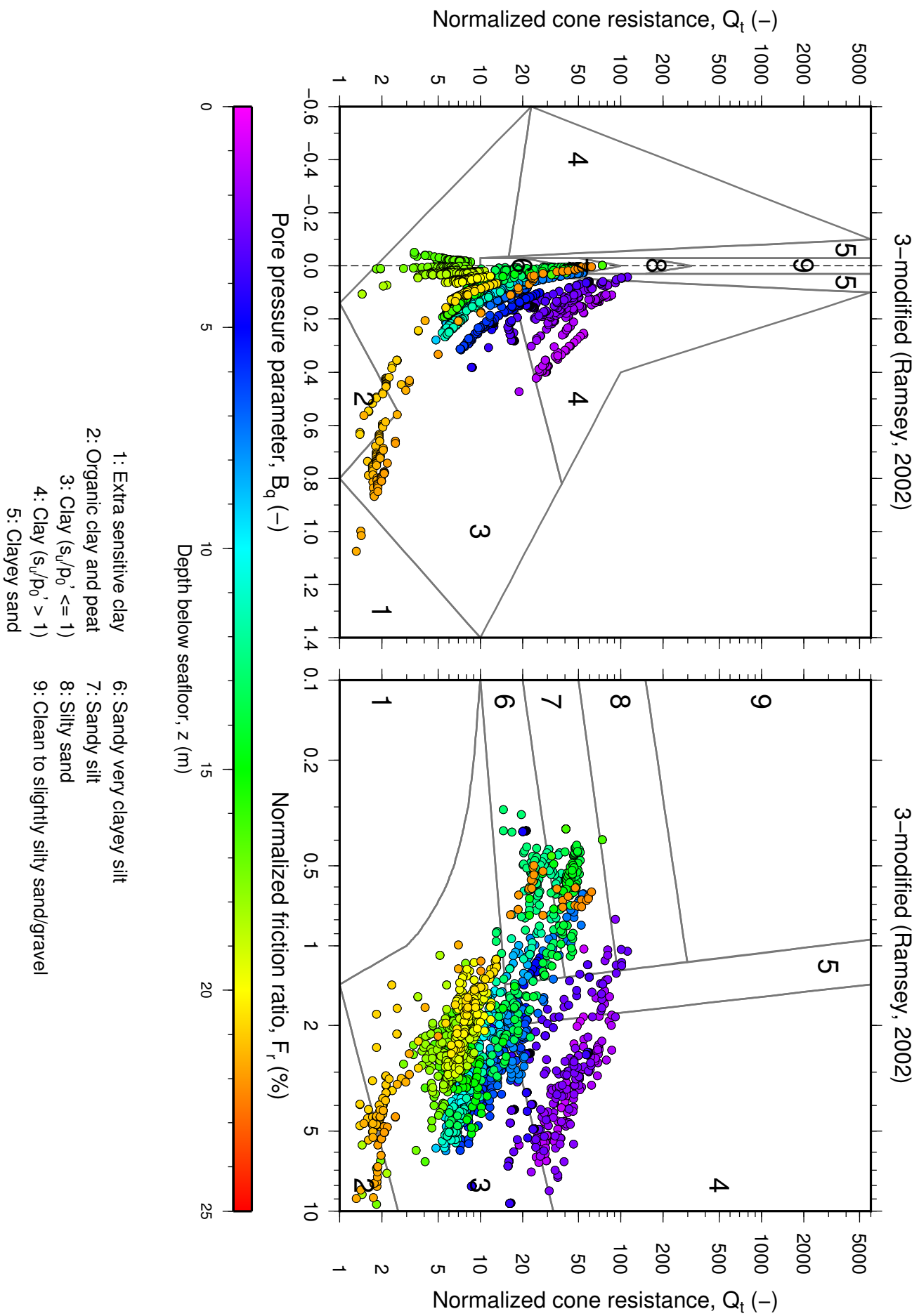
3-modified (Robertson et al., 1986)



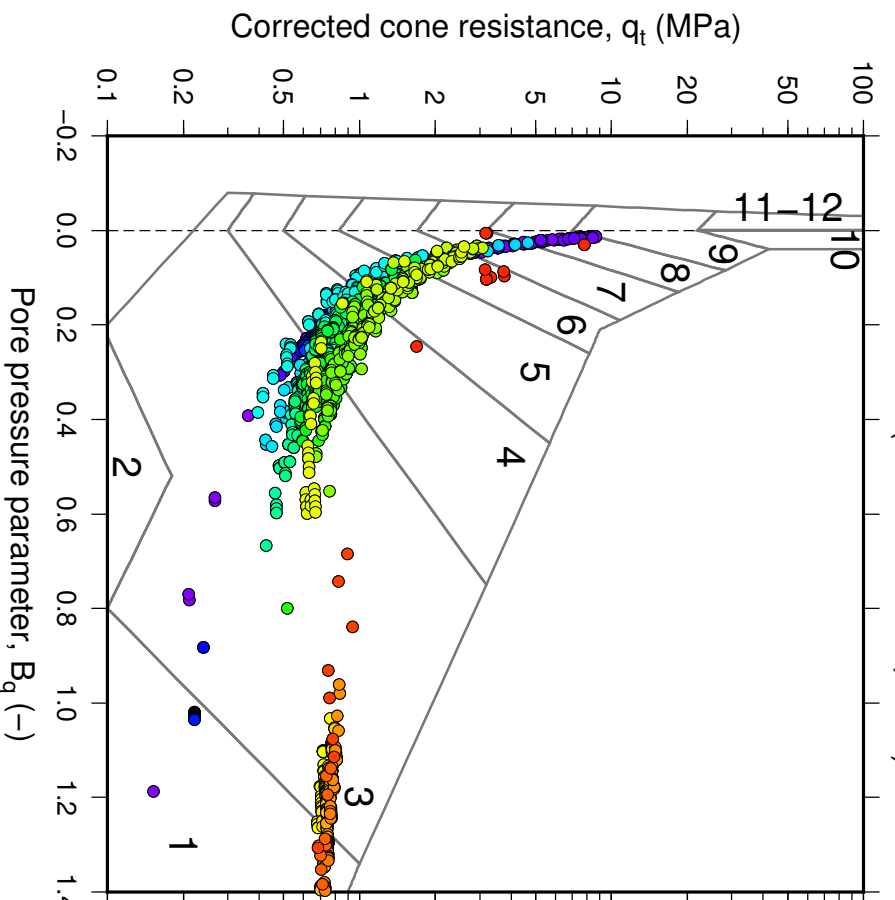
3-modified (Robertson et al., 1986)



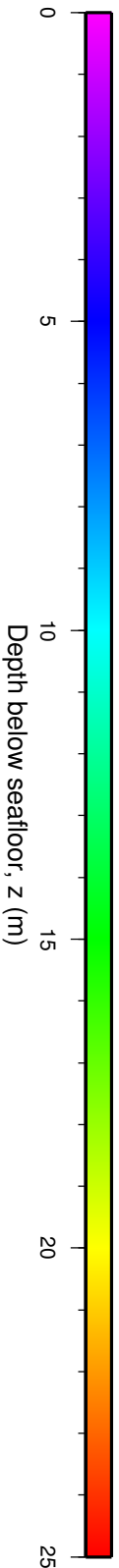
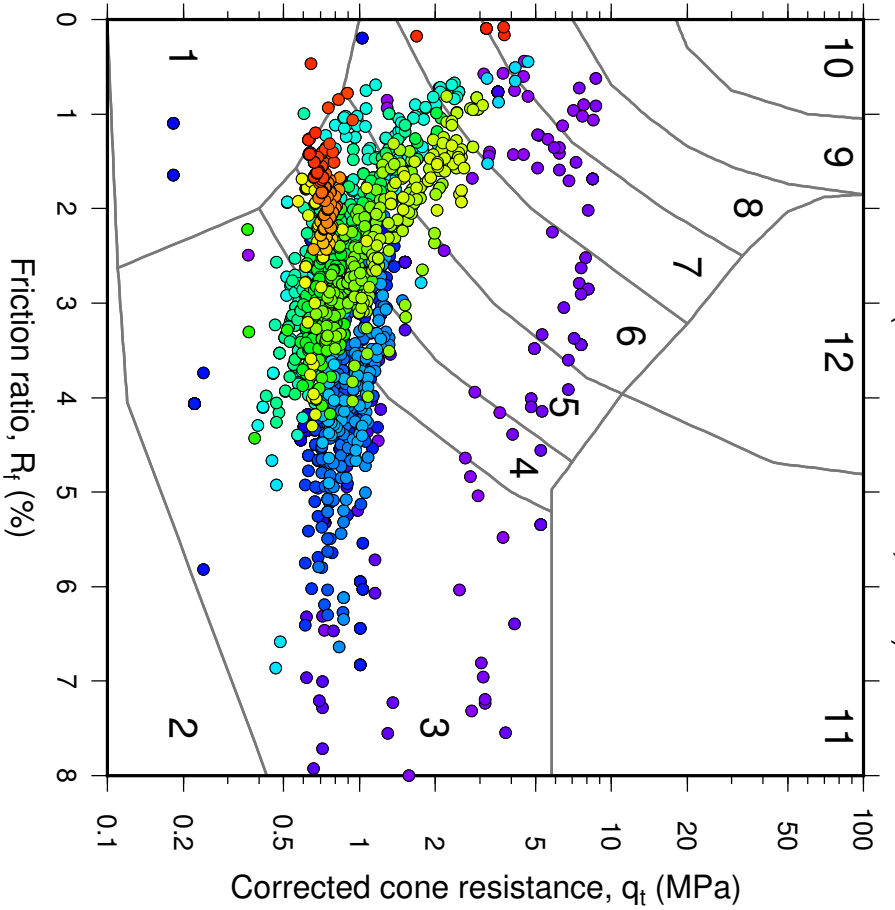
- 1: Sensitive, fine grained
 - 2: Organic material
 - 3: Clay
 - 4: Silty clay to clay
 - 5: Clayey silt to silty clay
 - 6: Sandy silt to clayey silt
 - 7: Silty sand to sandy silt
 - 8: Sand to silty sand
 - 9: Sand
 - 10: Gravelly sand to sand
 - 11: Very stiff fine grained*
 - 12: Sand to clayey sand*
- *Overconsolidated or cemented



7-modified (Robertson et al., 1986)



7-modified (Robertson et al., 1986)

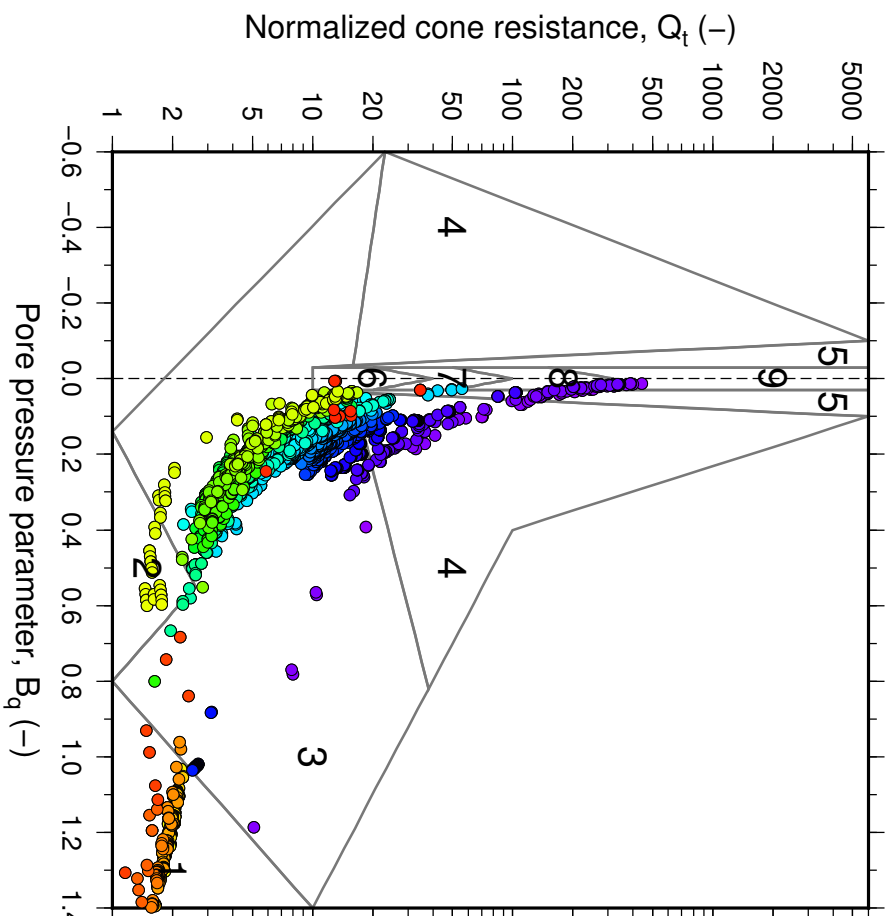


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay
- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt

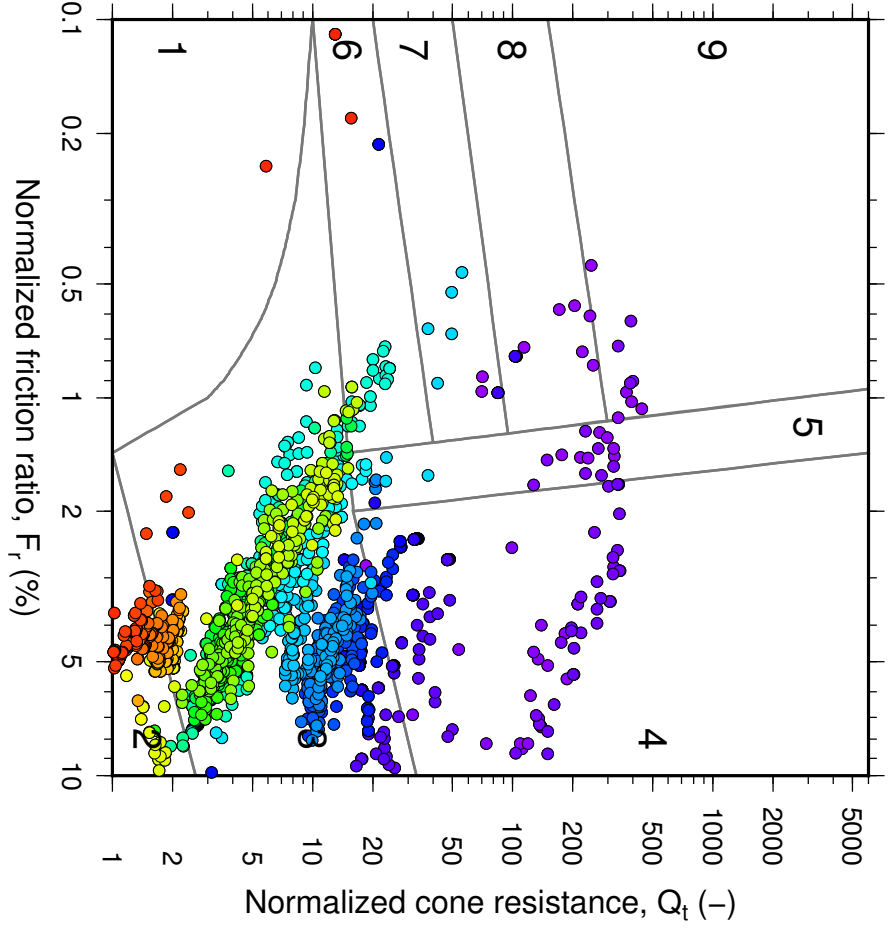
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand
- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

*Overconsolidated or cemented

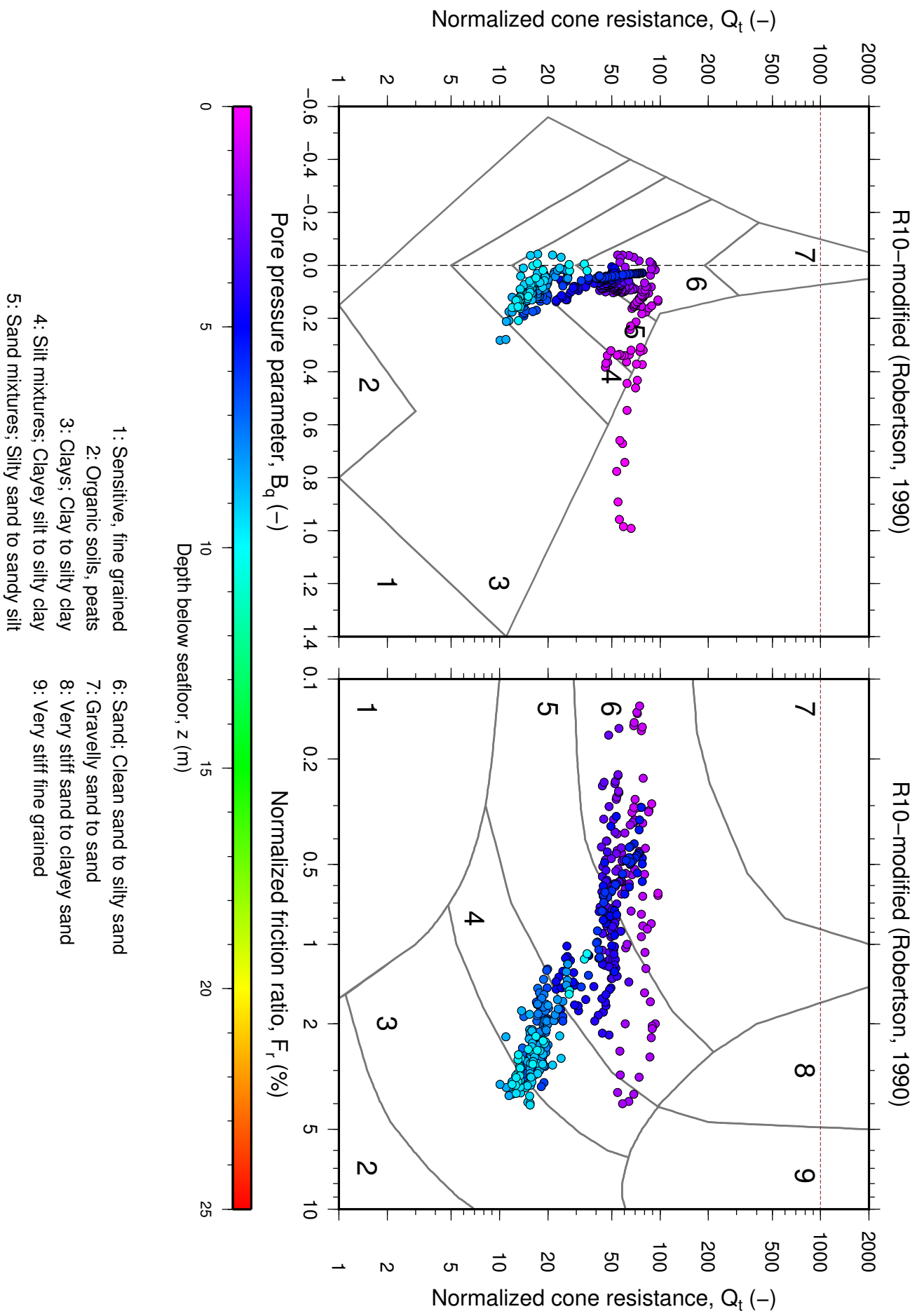
7-modified (Ramsey, 2002)



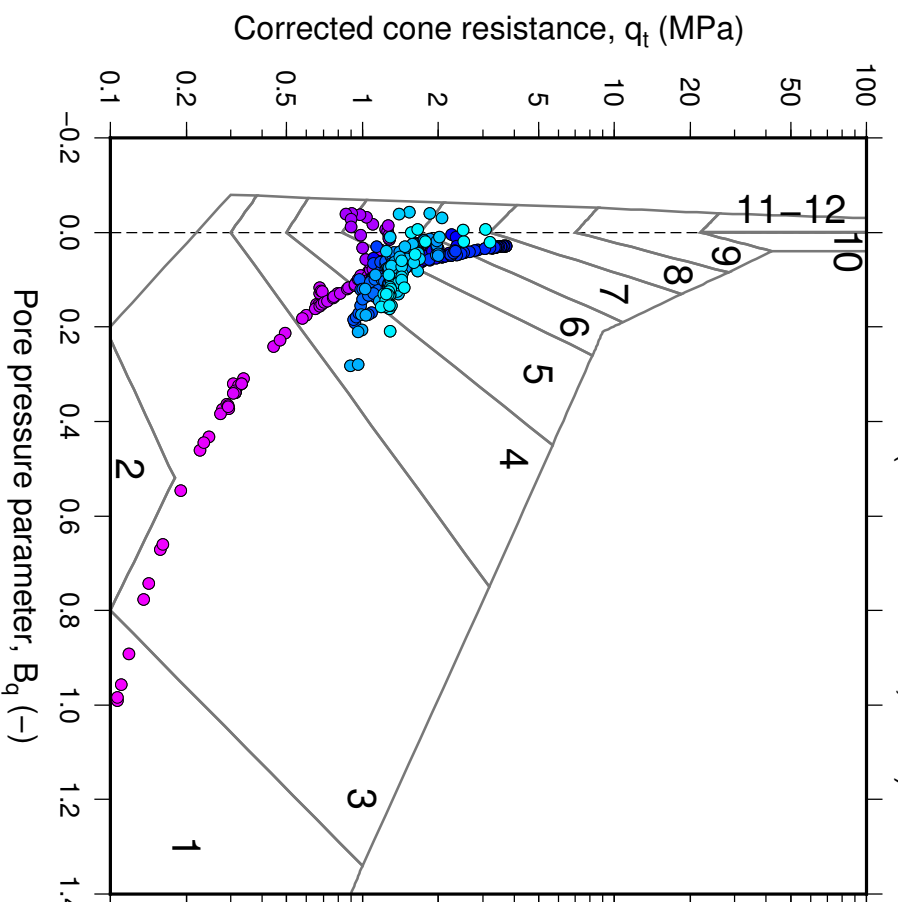
7-modified (Ramsey, 2002)



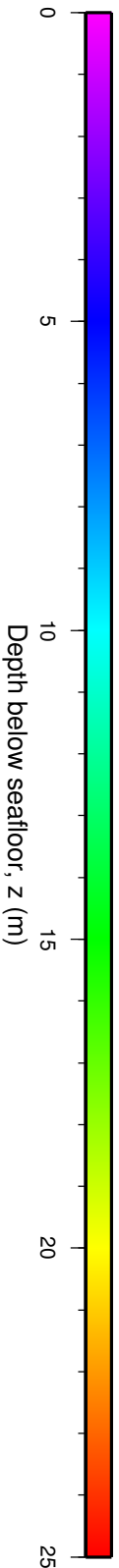
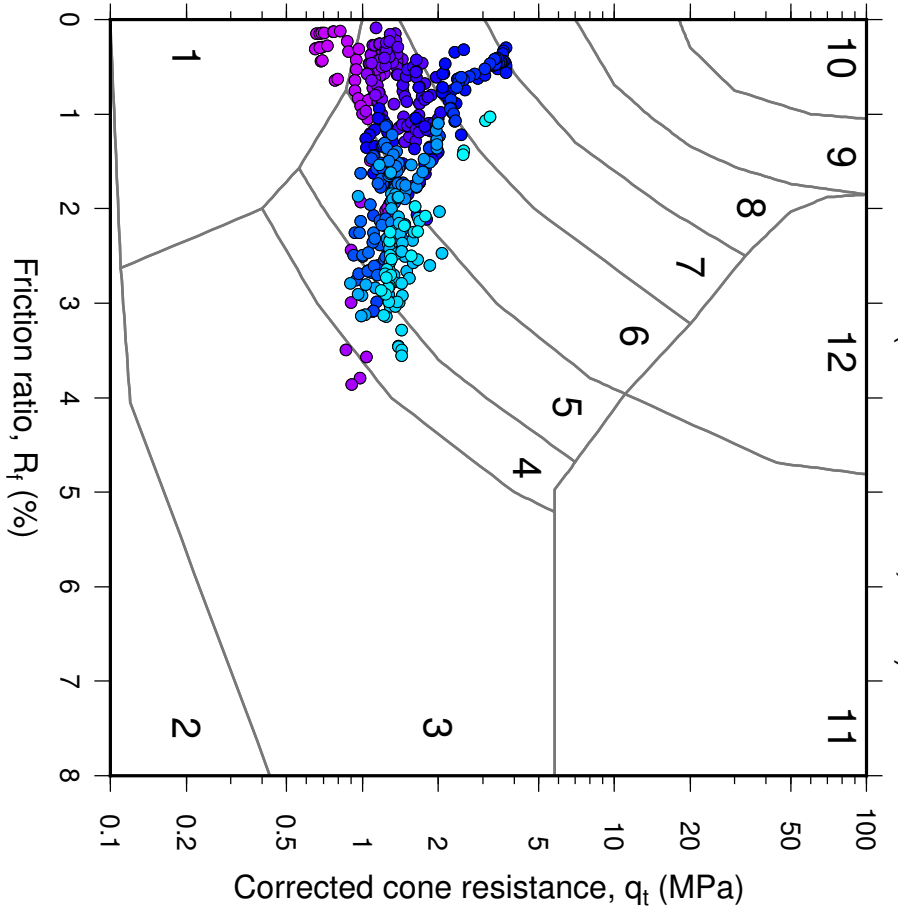
- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_u/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_u/p_0' > 1$)
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel



R10-modified (Robertson et al., 1986)



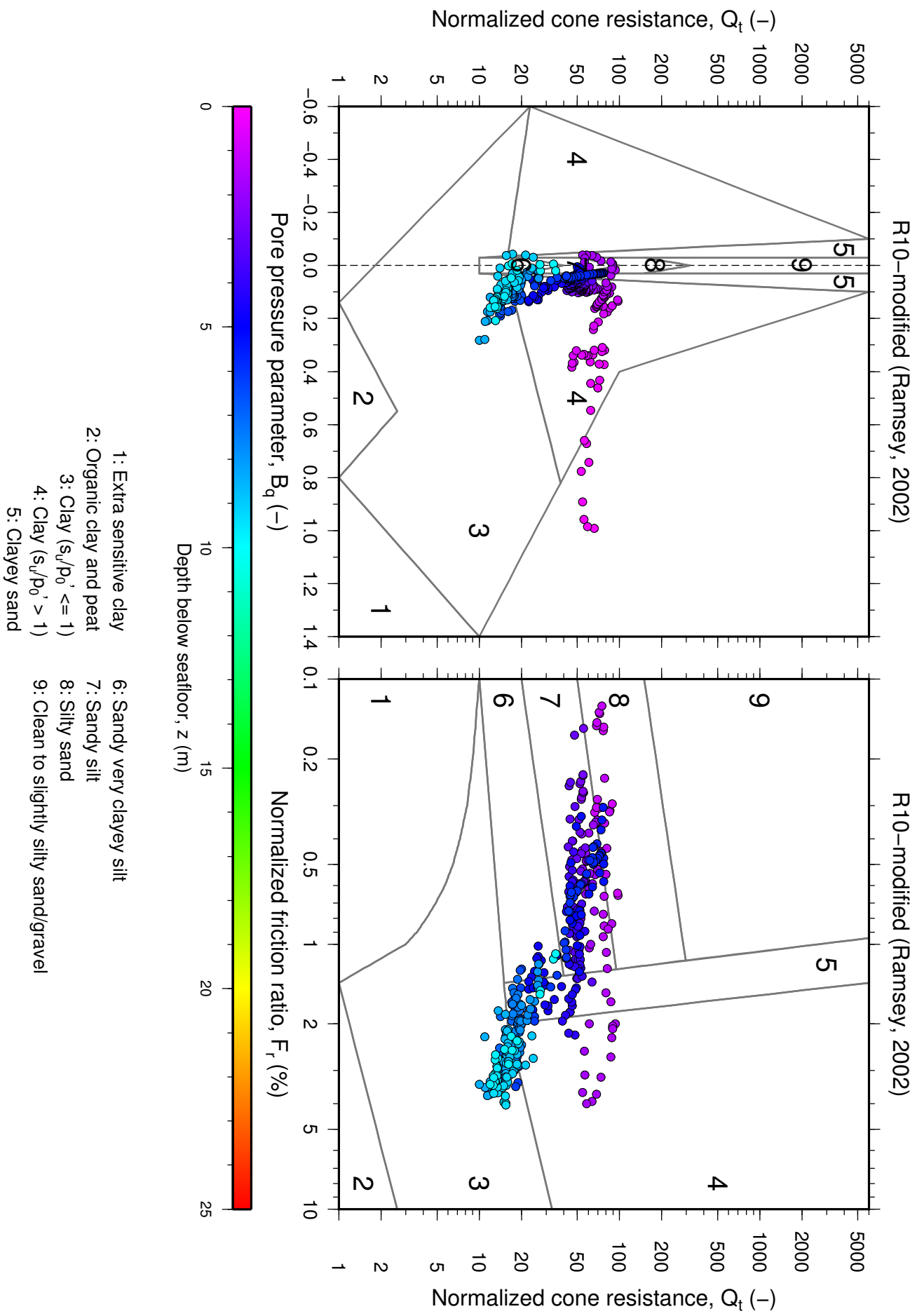
R10-modified (Robertson et al., 1986)

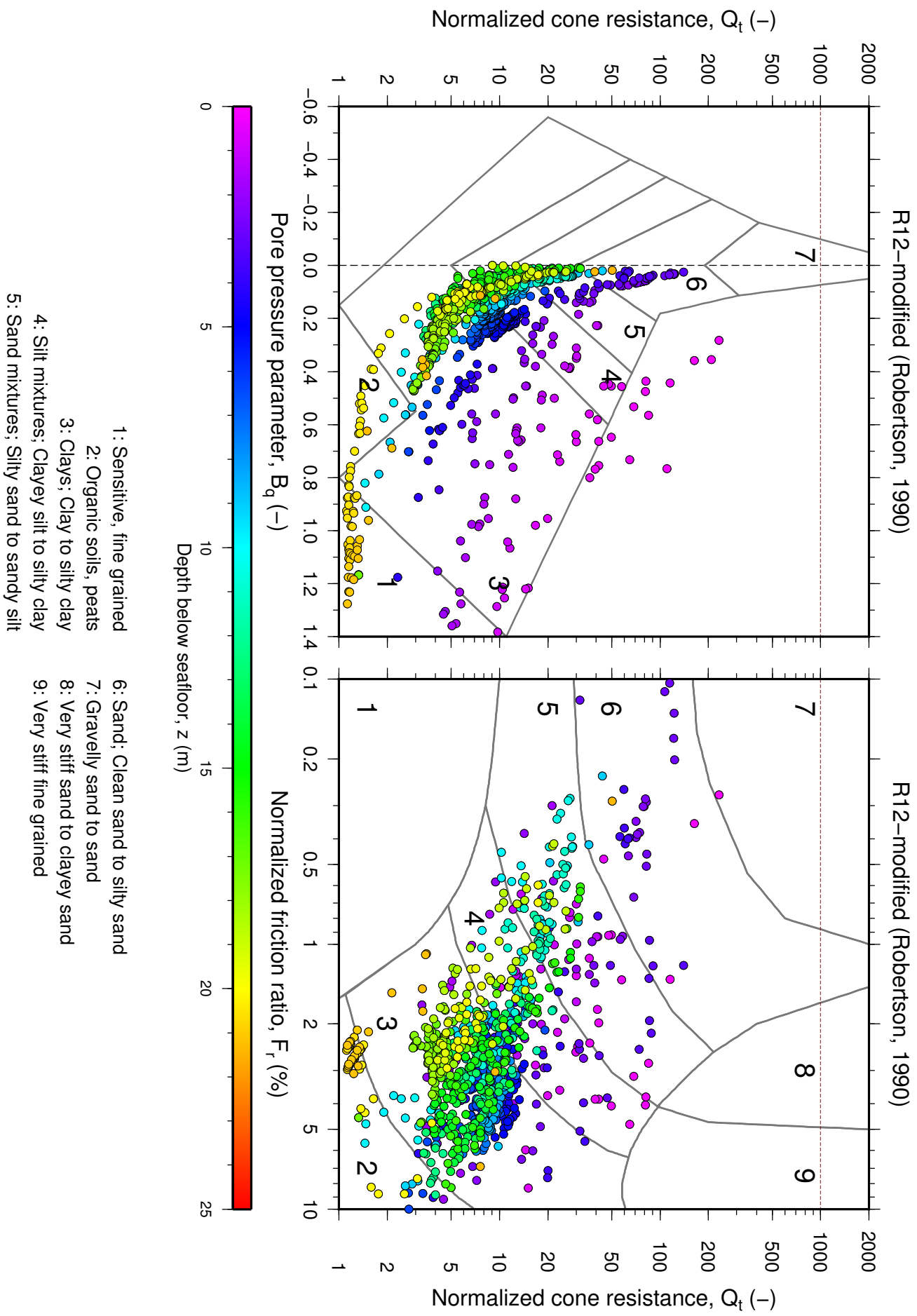


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay
- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt

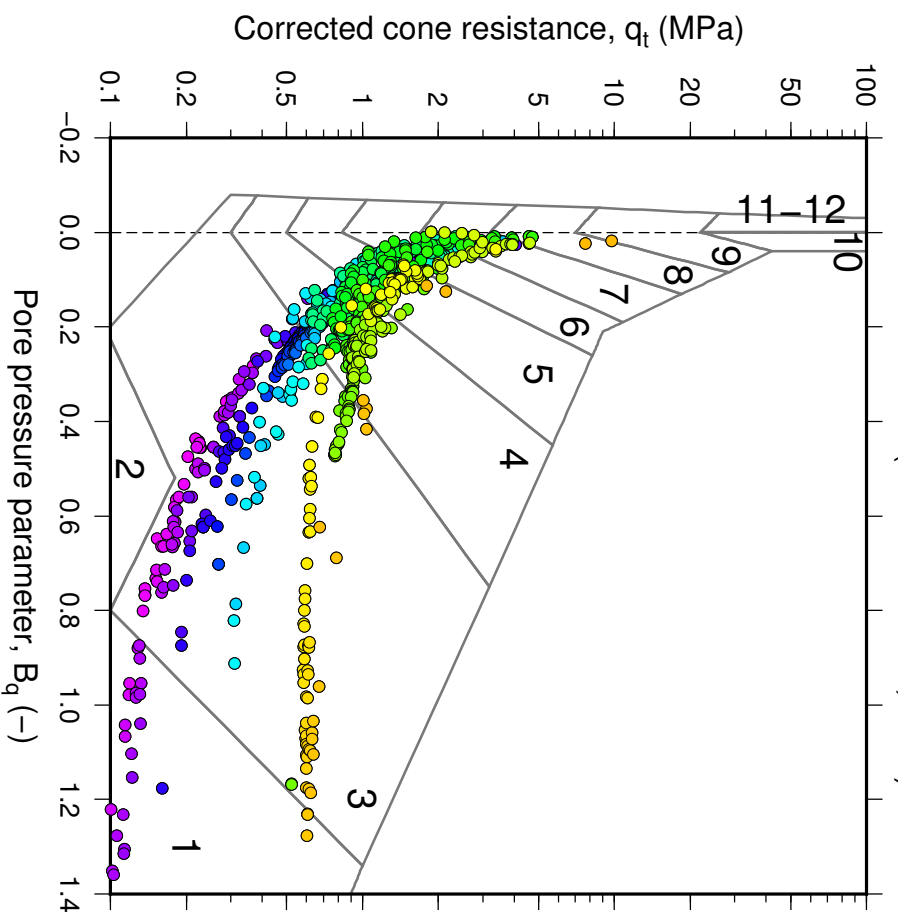
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand
- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

*Overconsolidated or cemented

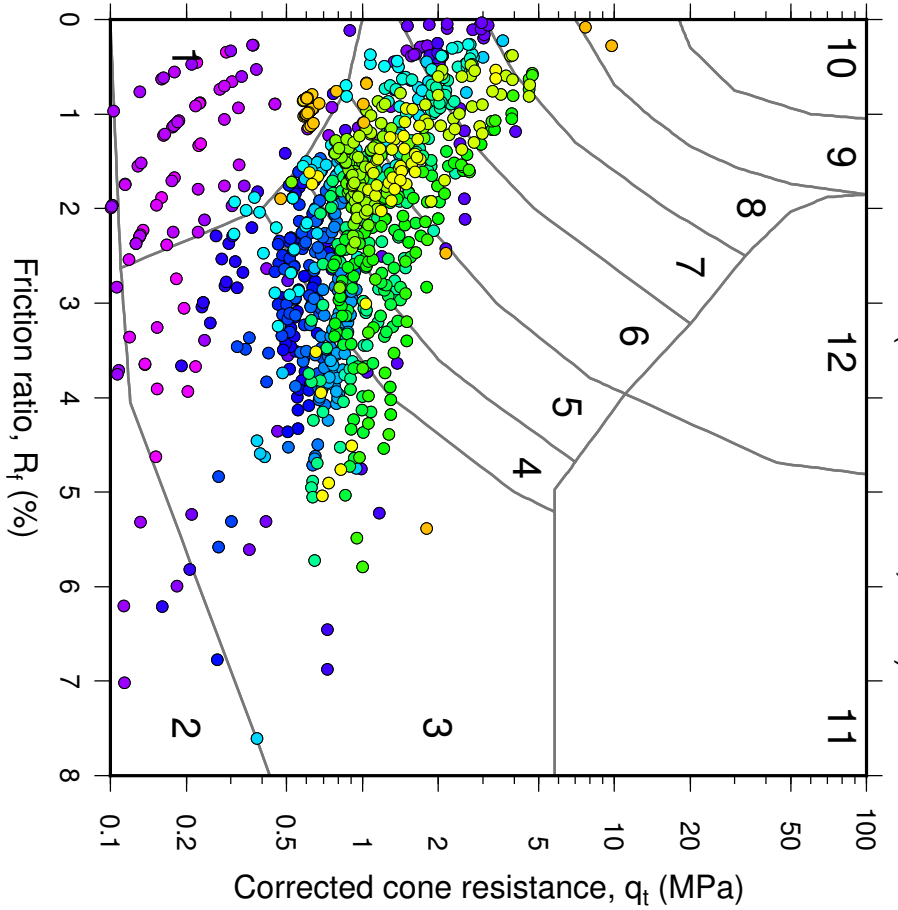




R12-modified (Robertson et al., 1986)



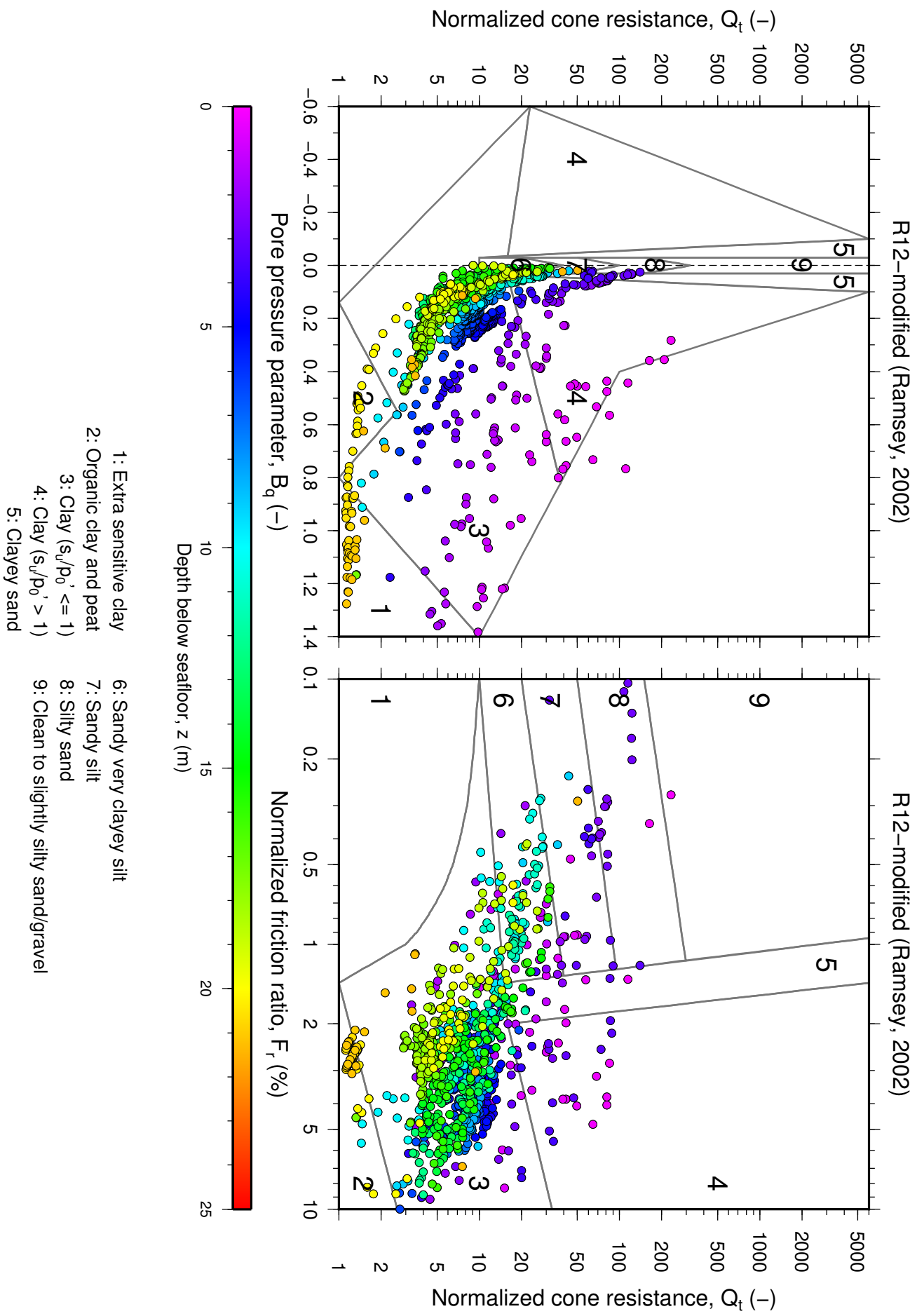
R12-modified (Robertson et al., 1986)

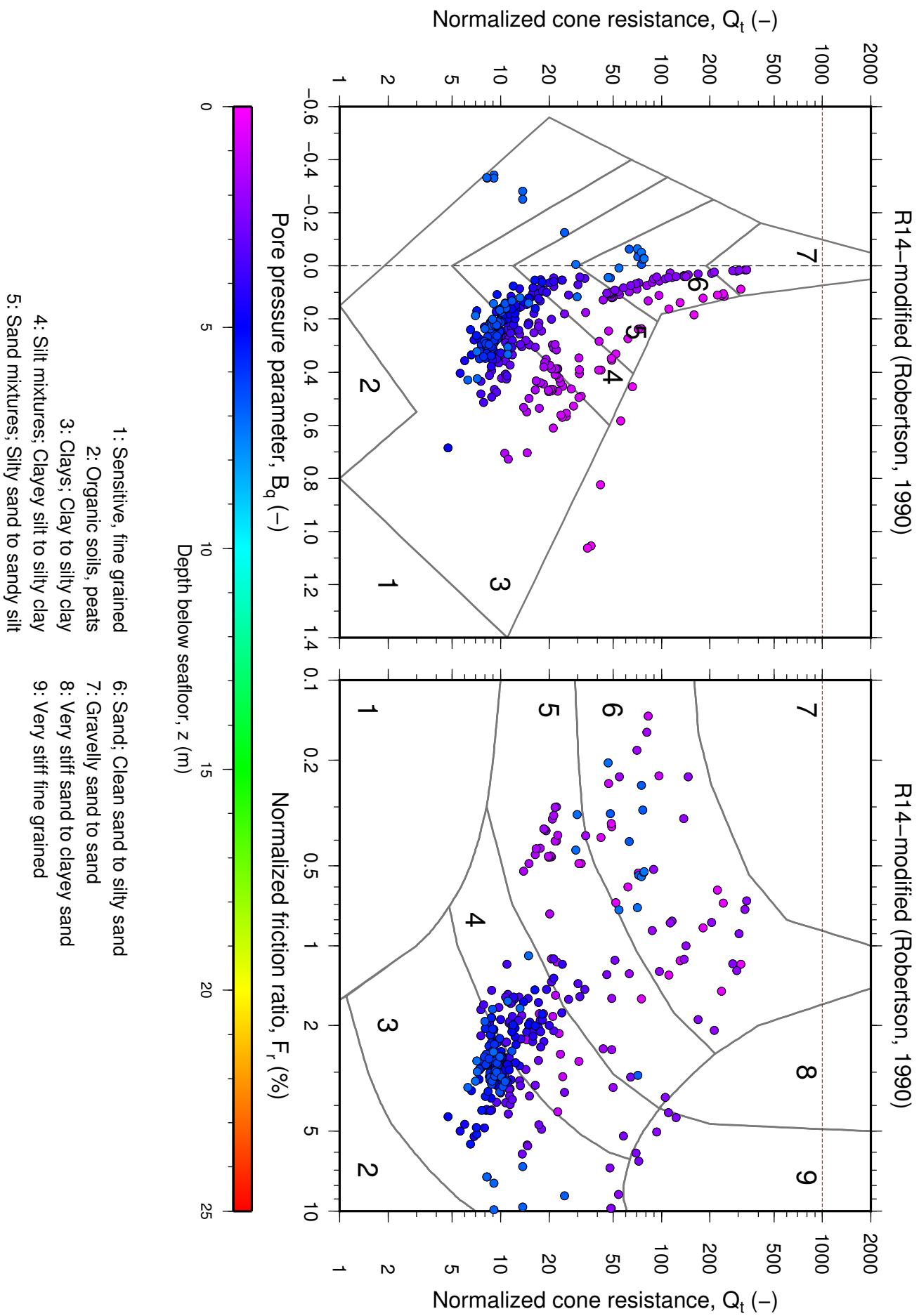


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay
- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt

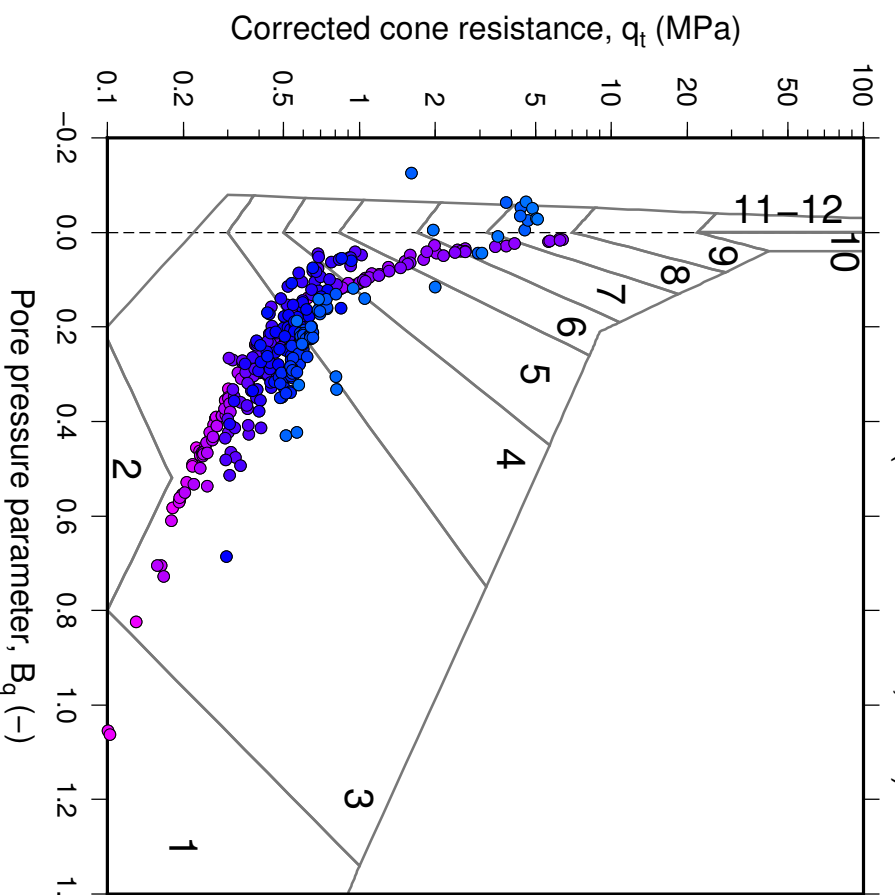
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand
- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

*Overconsolidated or cemented

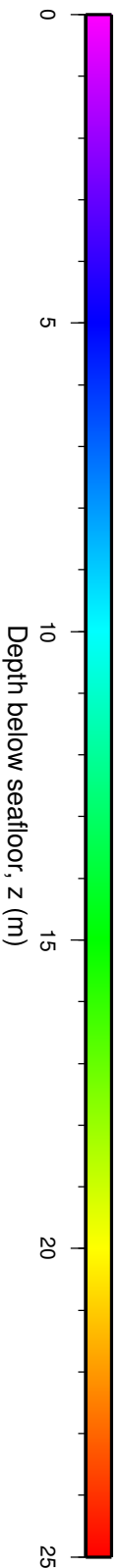
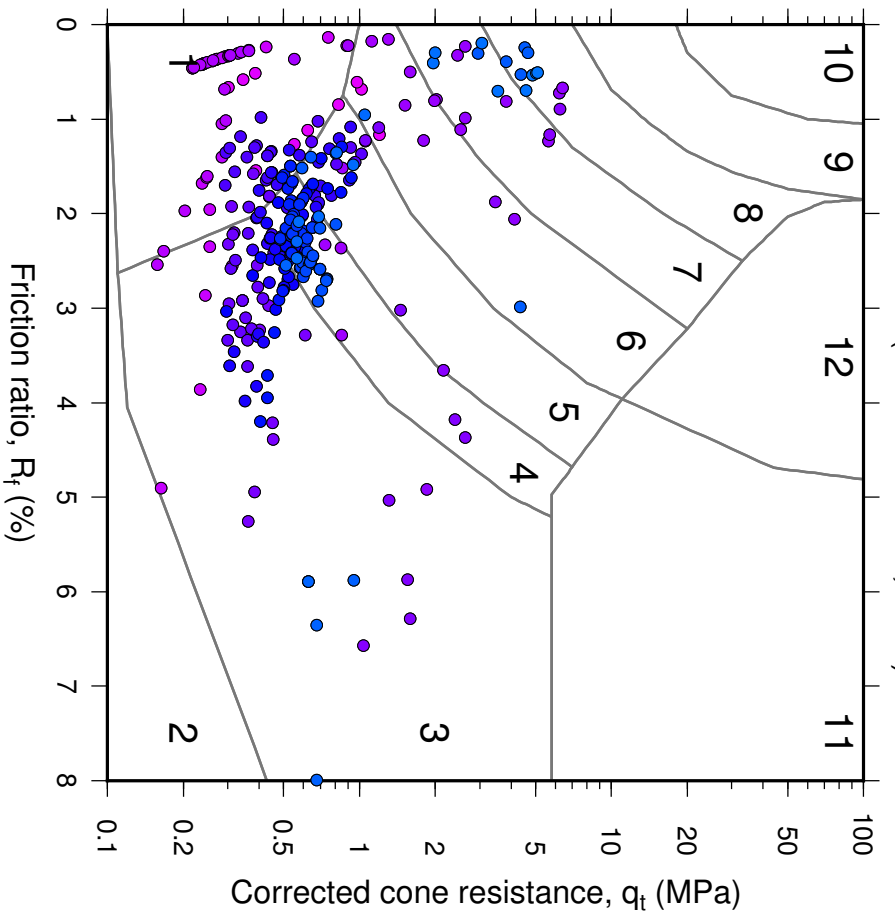




R14-modified (Robertson et al., 1986)



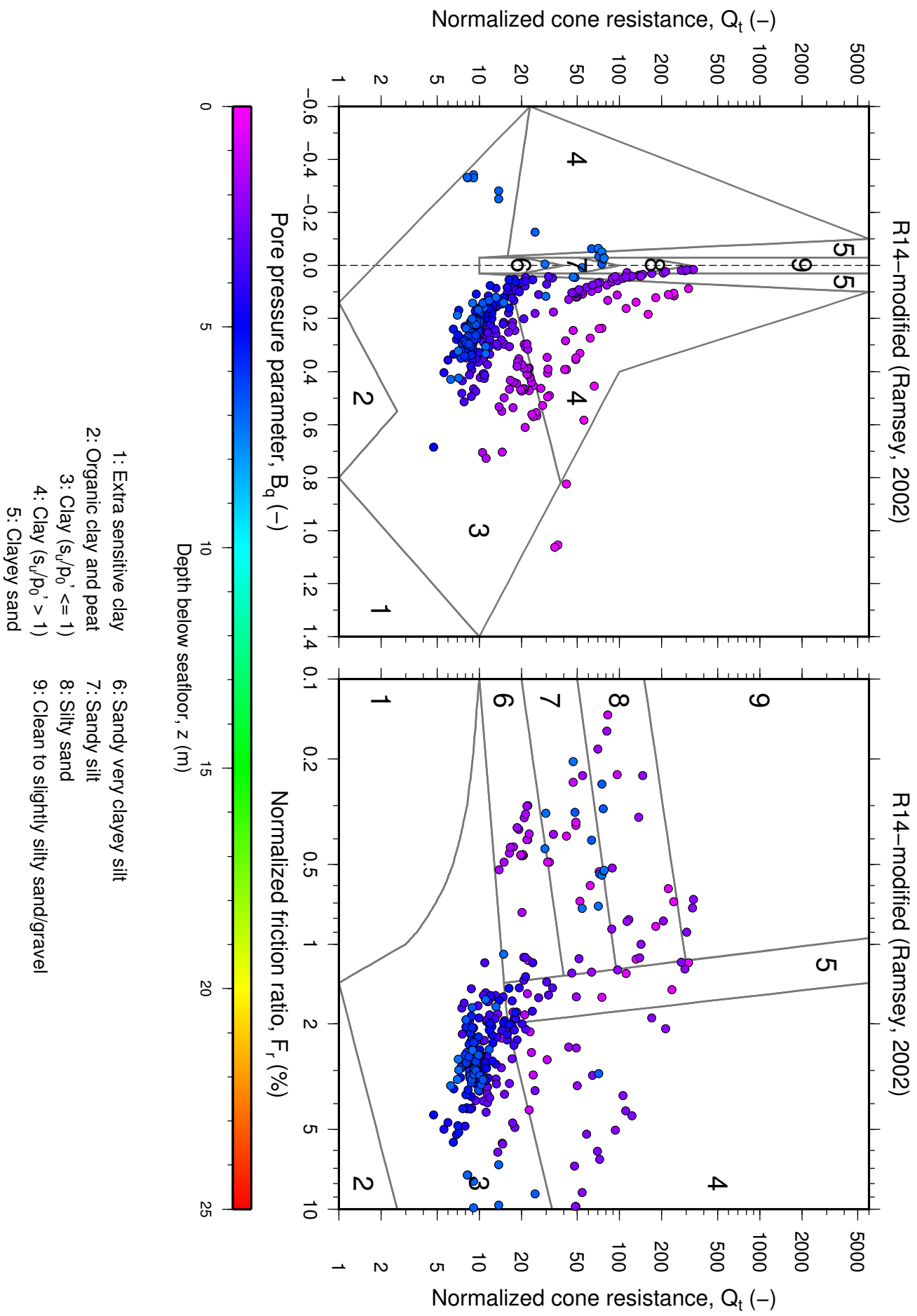
R14-modified (Robertson et al., 1986)

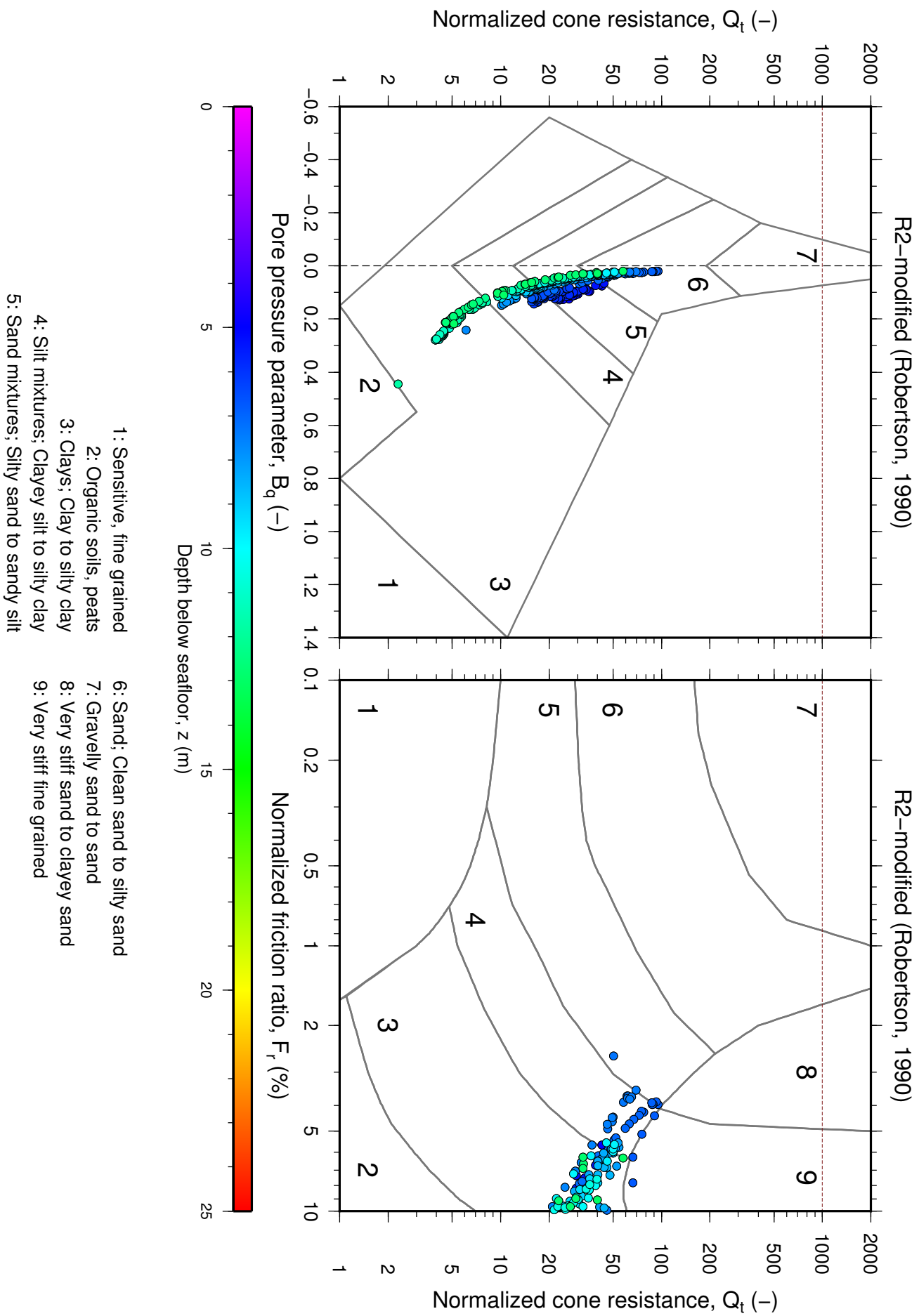


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay
- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt

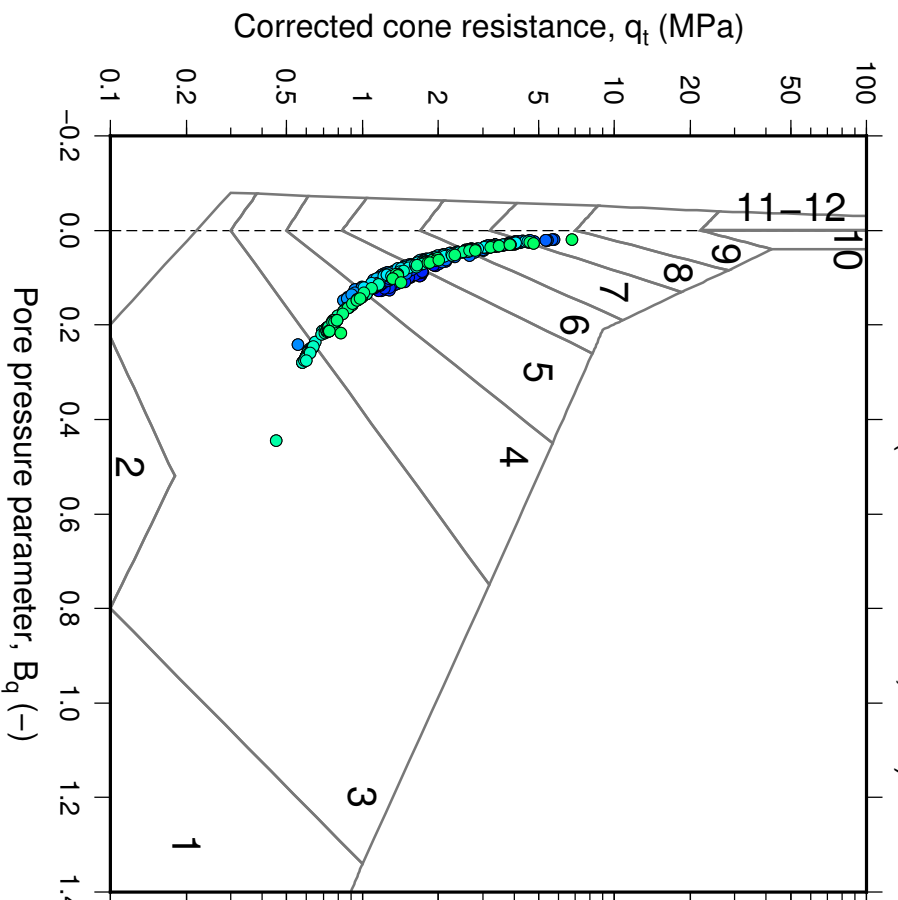
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand
- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

*Overconsolidated or cemented

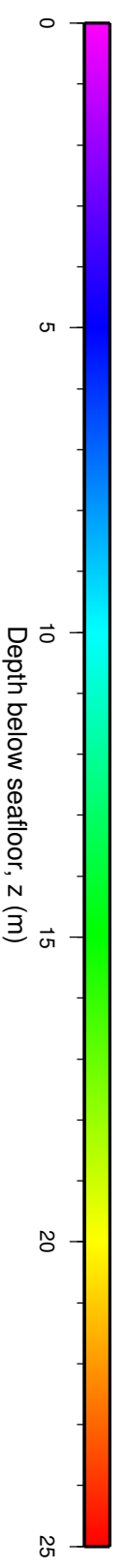
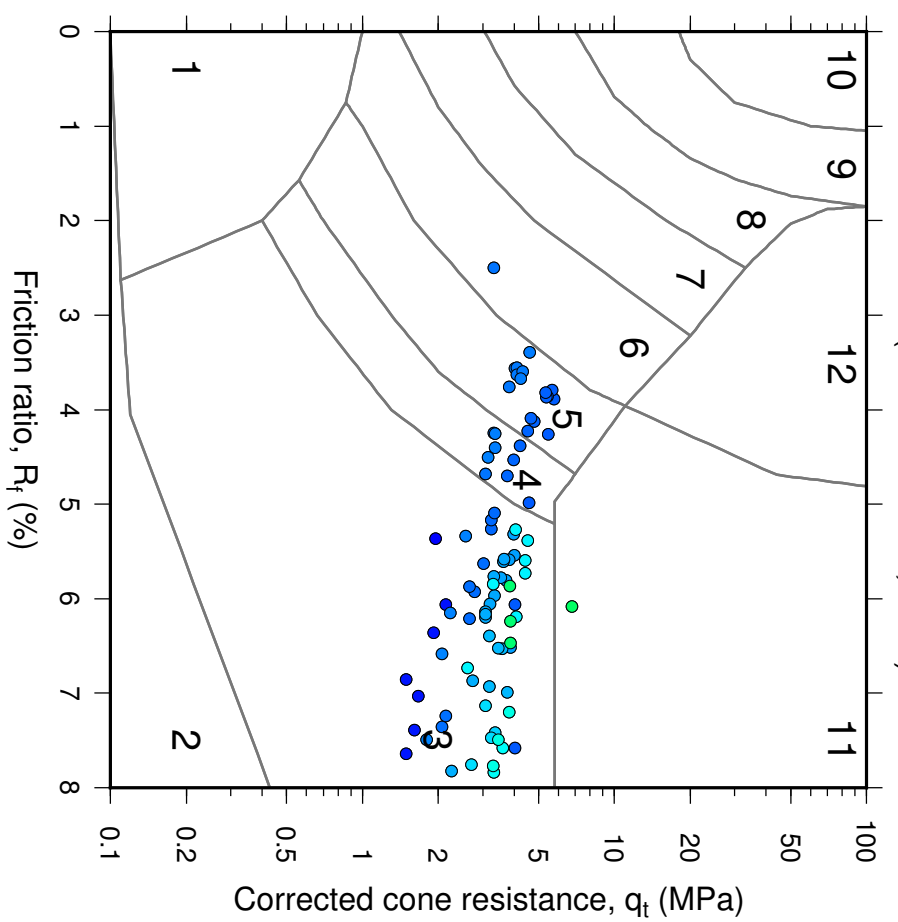




R2-modified (Robertson et al., 1986)

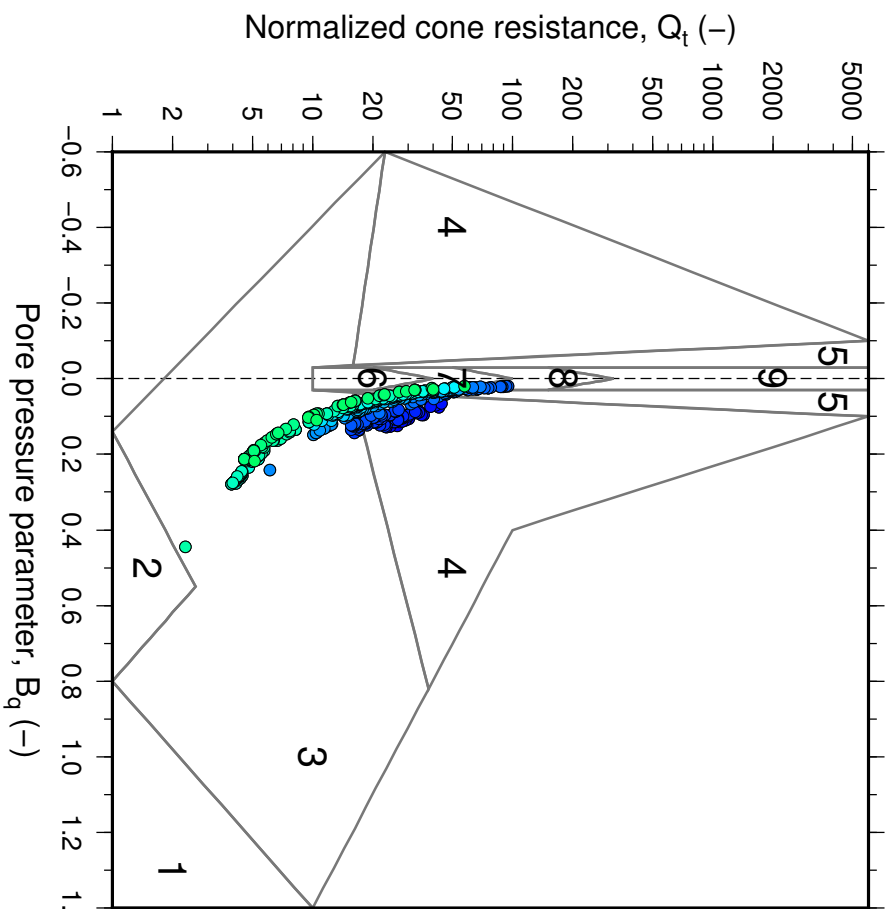


R2-modified (Robertson et al., 1986)

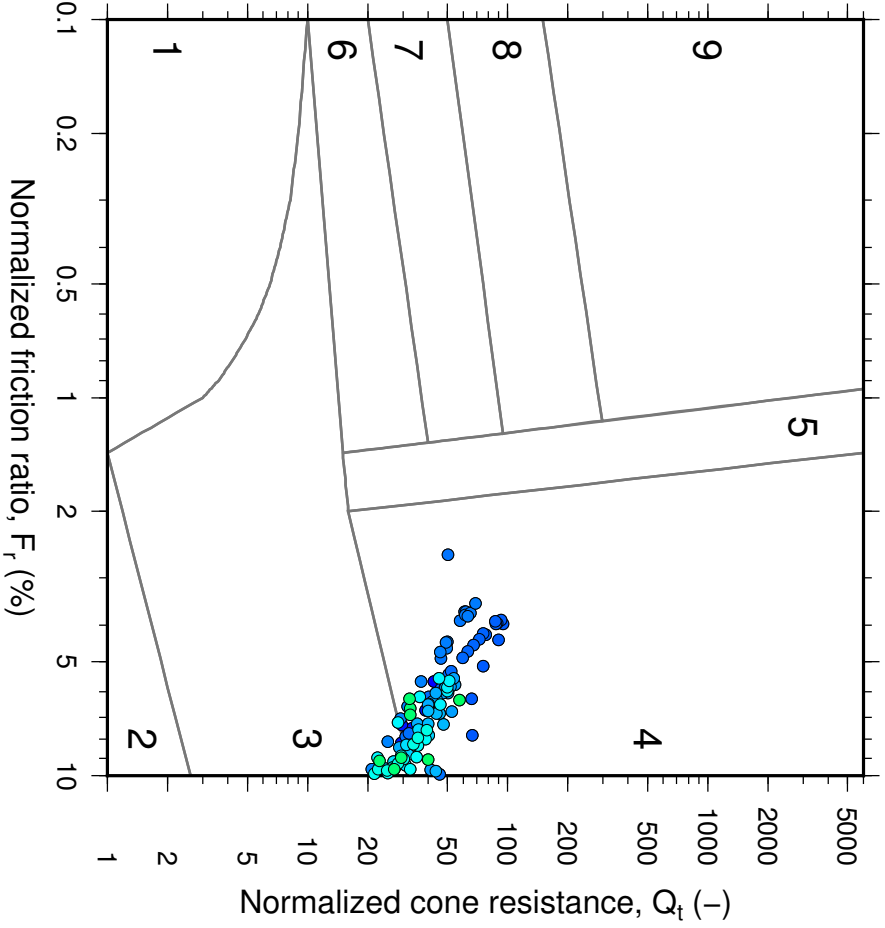


- 1: Sensitive, fine grained
 - 2: Organic material
 - 3: Clay
 - 4: Silty clay to clay
 - 5: Clayey silt to silty clay
 - 6: Sandy silt to clayey silt
 - 7: Silty sand to sandy silt
 - 8: Sand to silty sand
 - 9: Sand
 - 10: Gravelly sand to sand
 - 11: Very stiff fine grained*
 - 12: Sand to clayey sand*
- *Overconsolidated or cemented

R2-modified (Ramsey, 2002)



R2-modified (Ramsey, 2002)



- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_u/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_u/p_0' > 1$)
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel

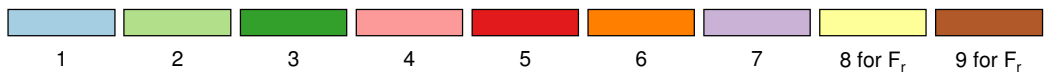
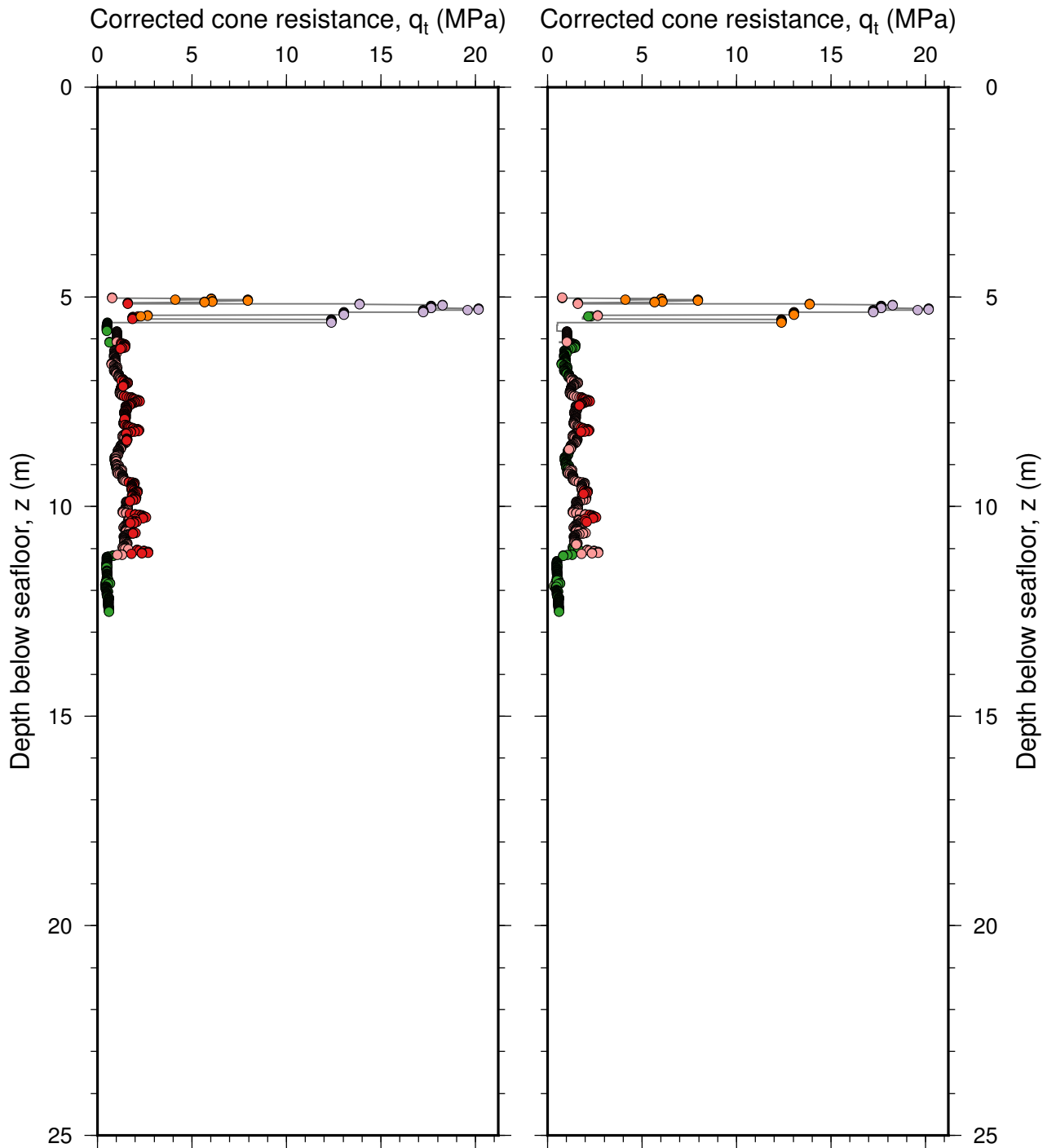
Vedlegg B - Jordartsklassifisering fra CPTU – dybde profiler

Innhold

Jordartsidentifikasjon fra CPTU data i borepunkt 2, 3, 7, R2, R10, R12 og R14 er presentert i dybde mha $Q_t - B_q$, $Q_t - F_r$, $q_t - B_q$ og $q_t - R_f$ diagrammer presentert i dybde profiler etter ref. (1, 2 og 3).

Referanser

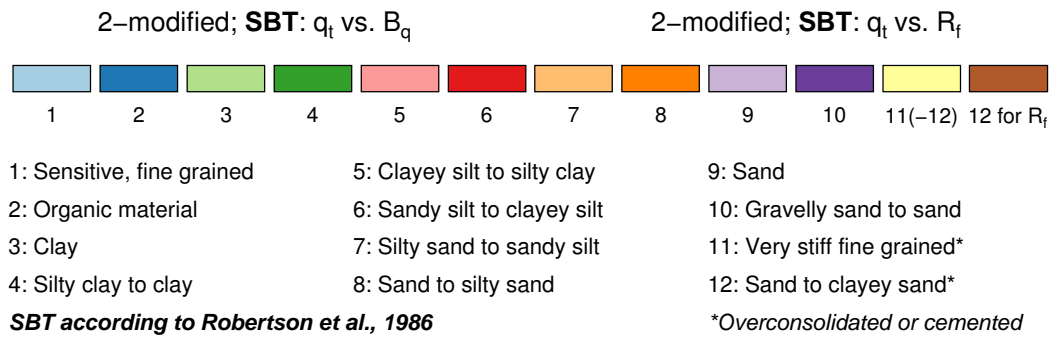
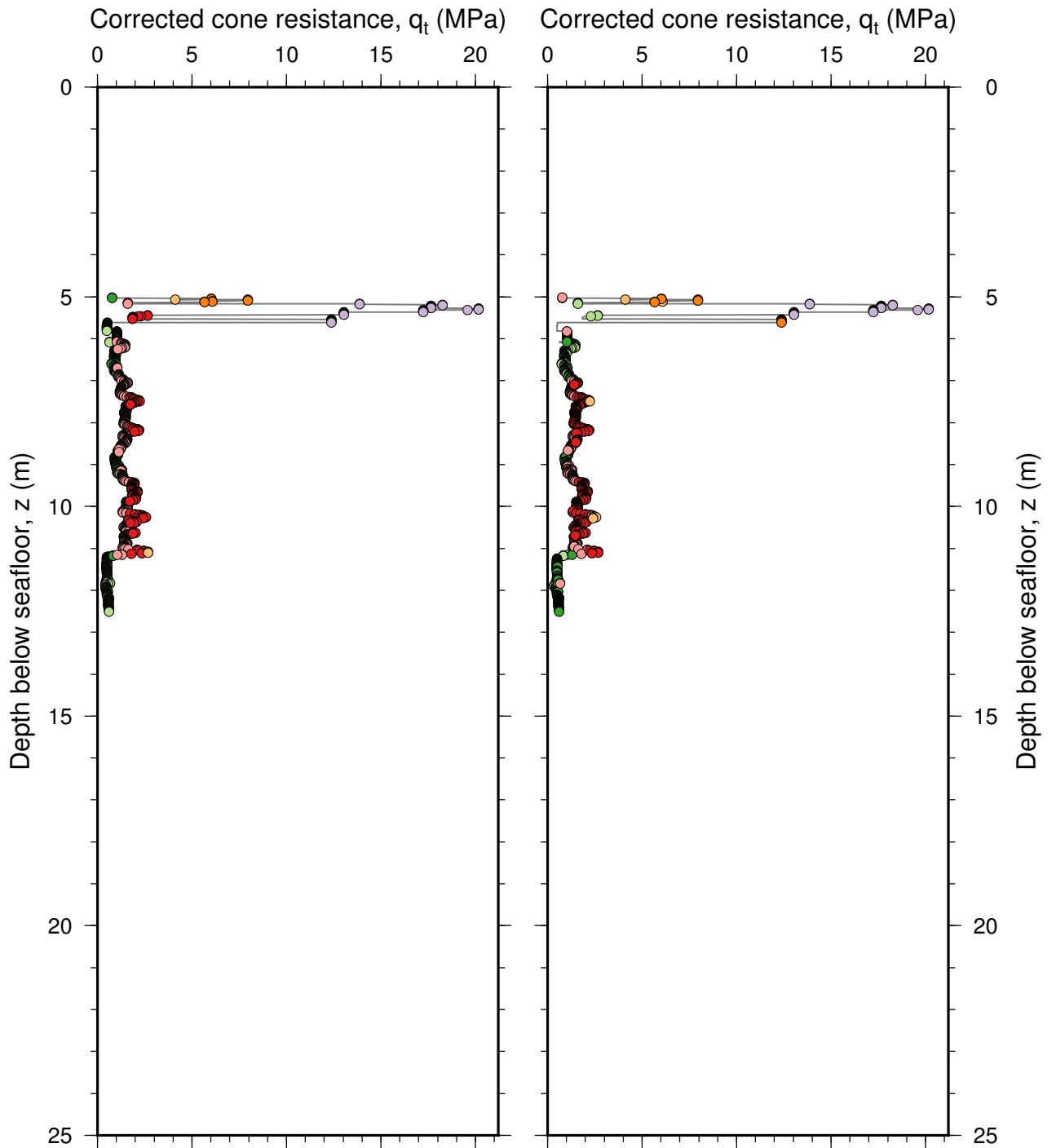
- 1- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1), 151-158.
- 2- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Grieg, J. 1986. use of piezometer cone data. Proceedings, In-situ *86, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, VA.
- 3- Ramsey, N 2002. A Calibrated Model for the Interpretation of Cone Penetration Tests CPTs in North Sea Quaternary Soils. *Proc SUT Conf*, London

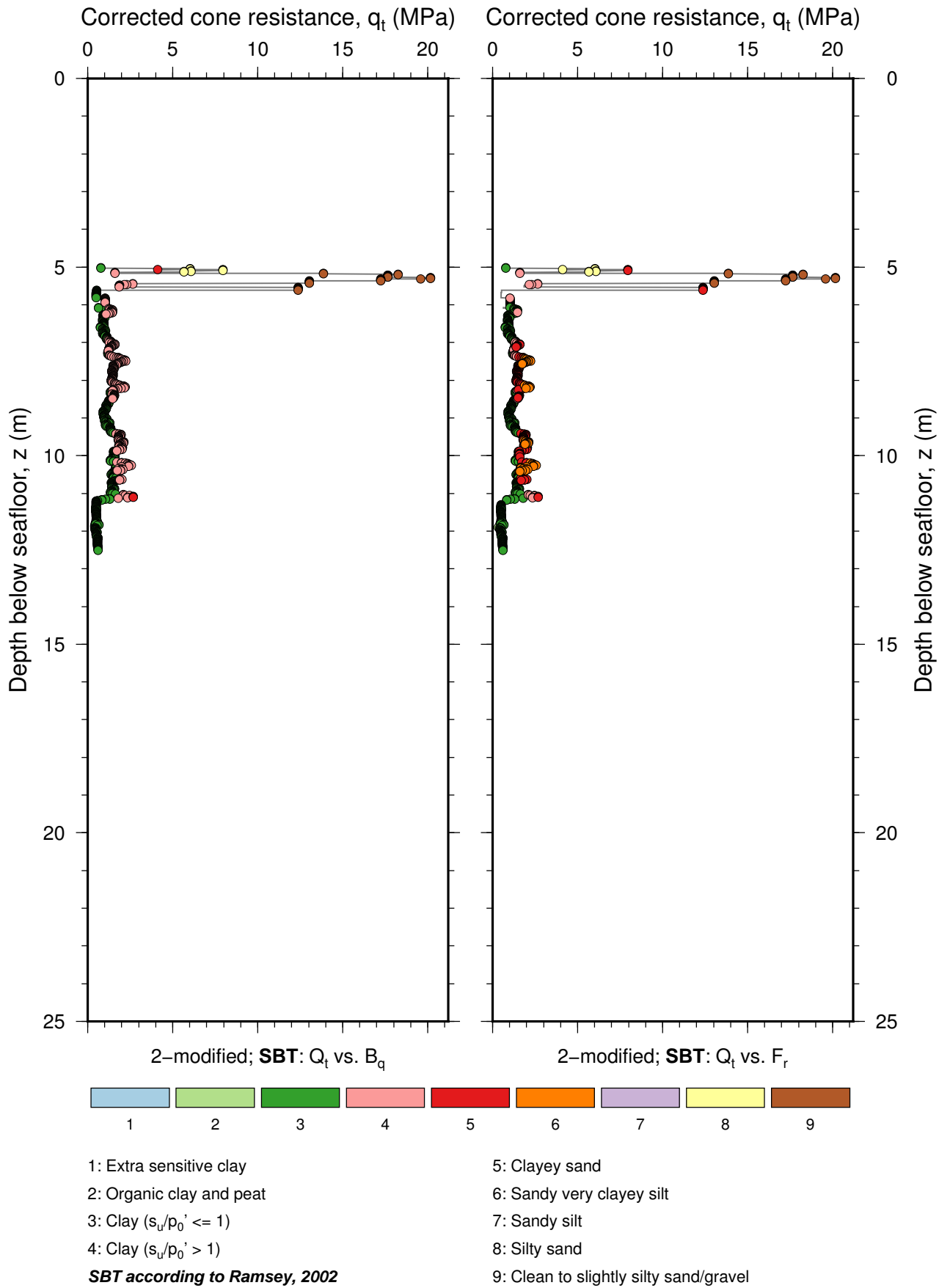


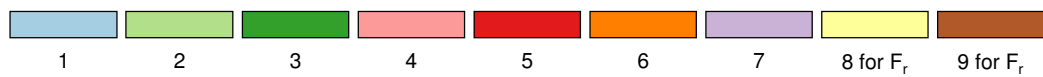
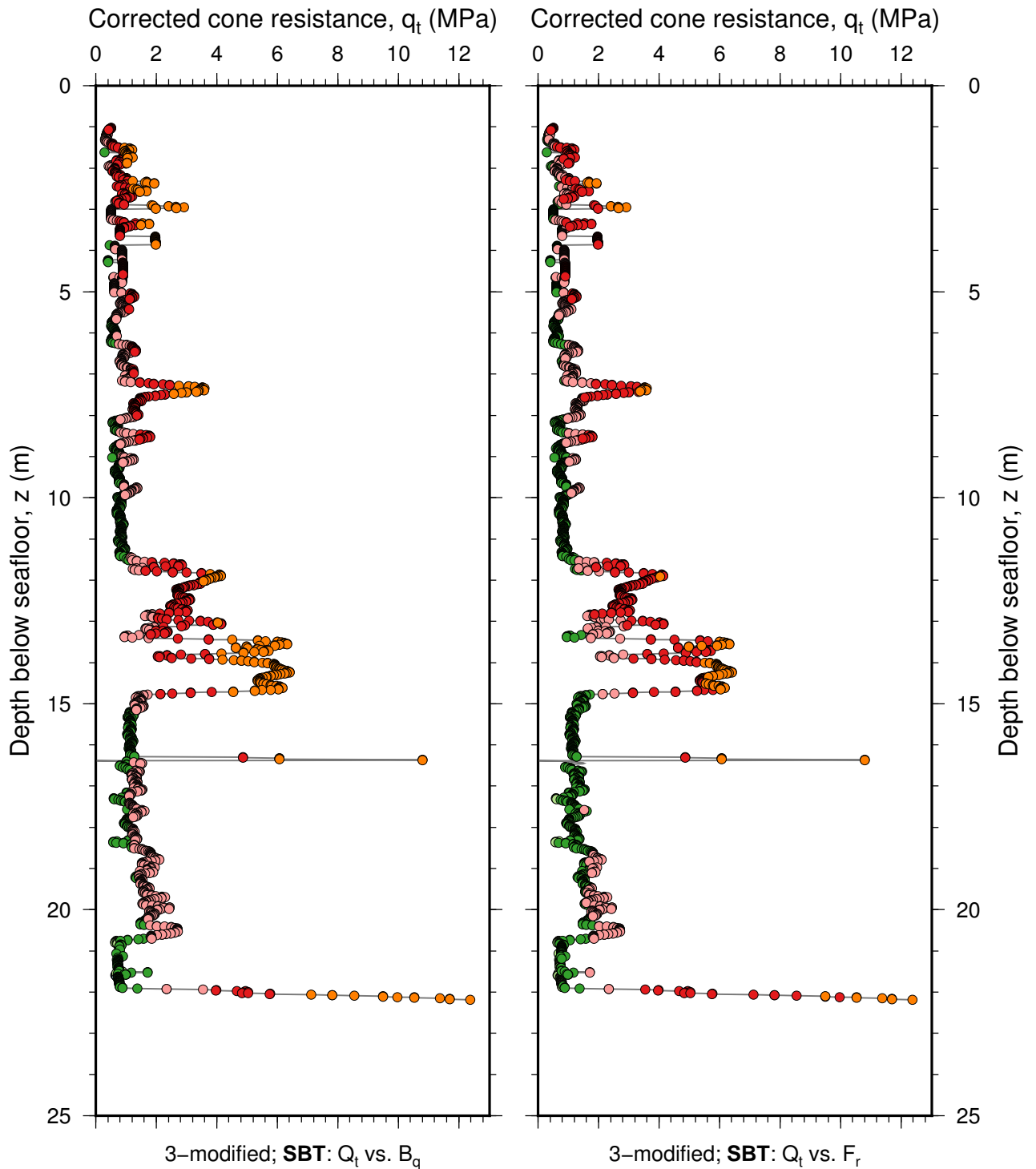
- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



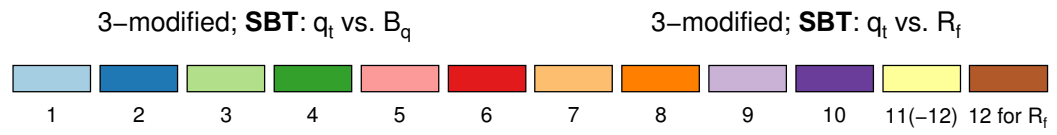
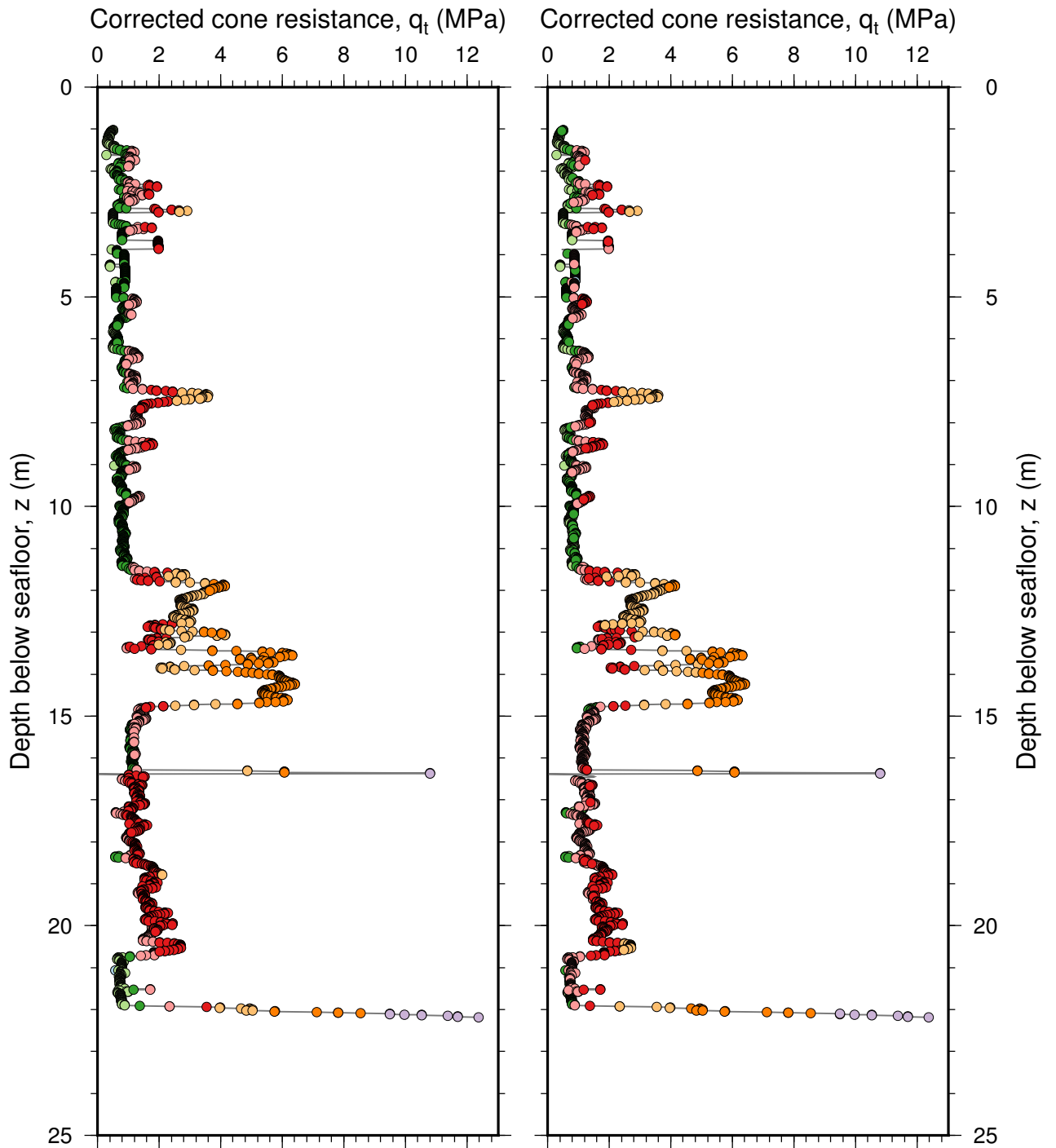




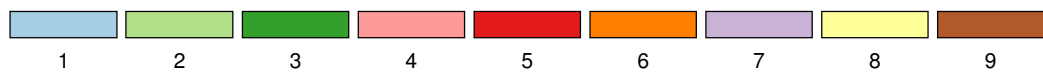
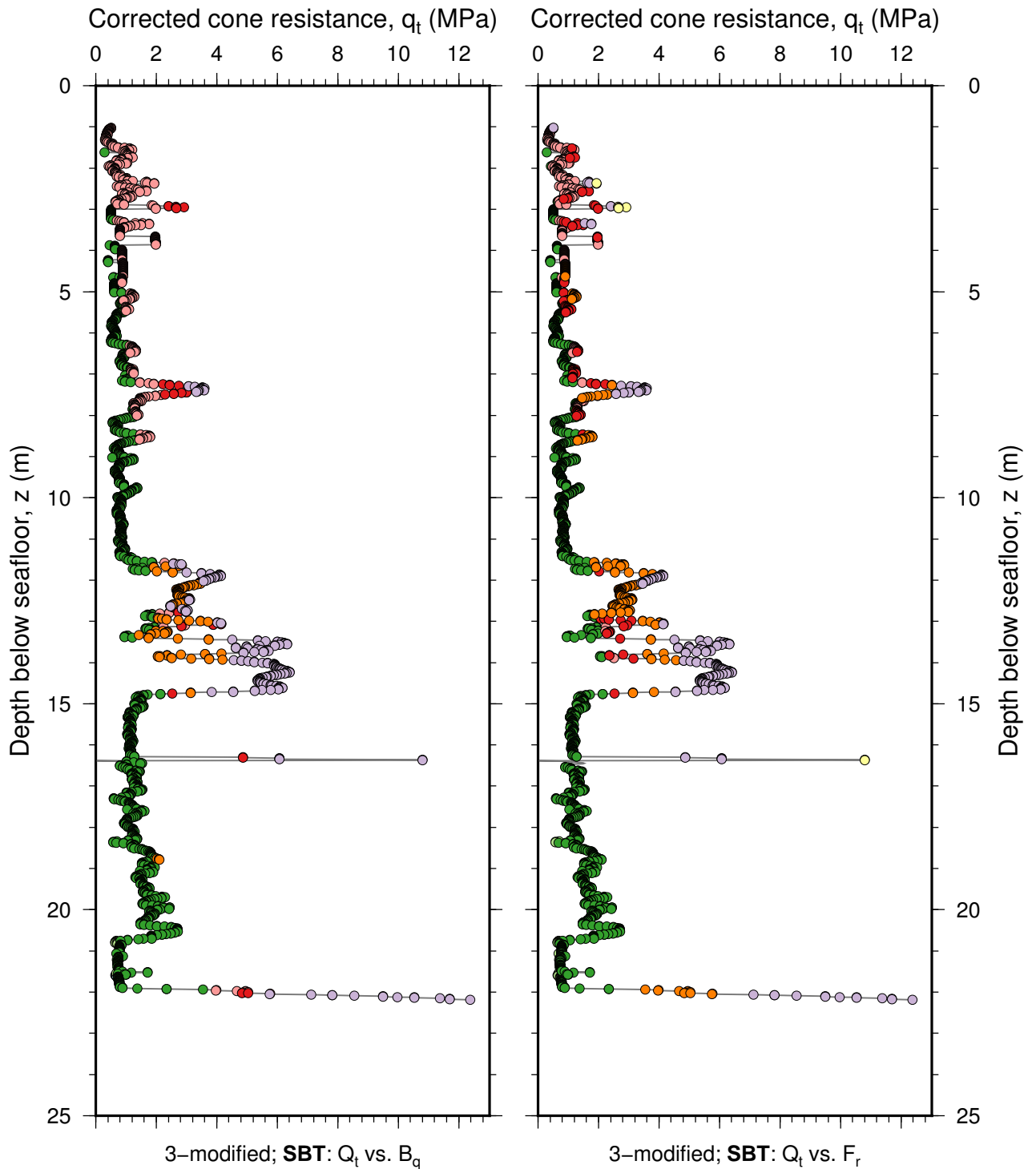
- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



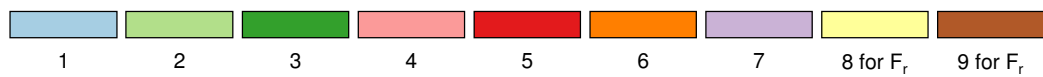
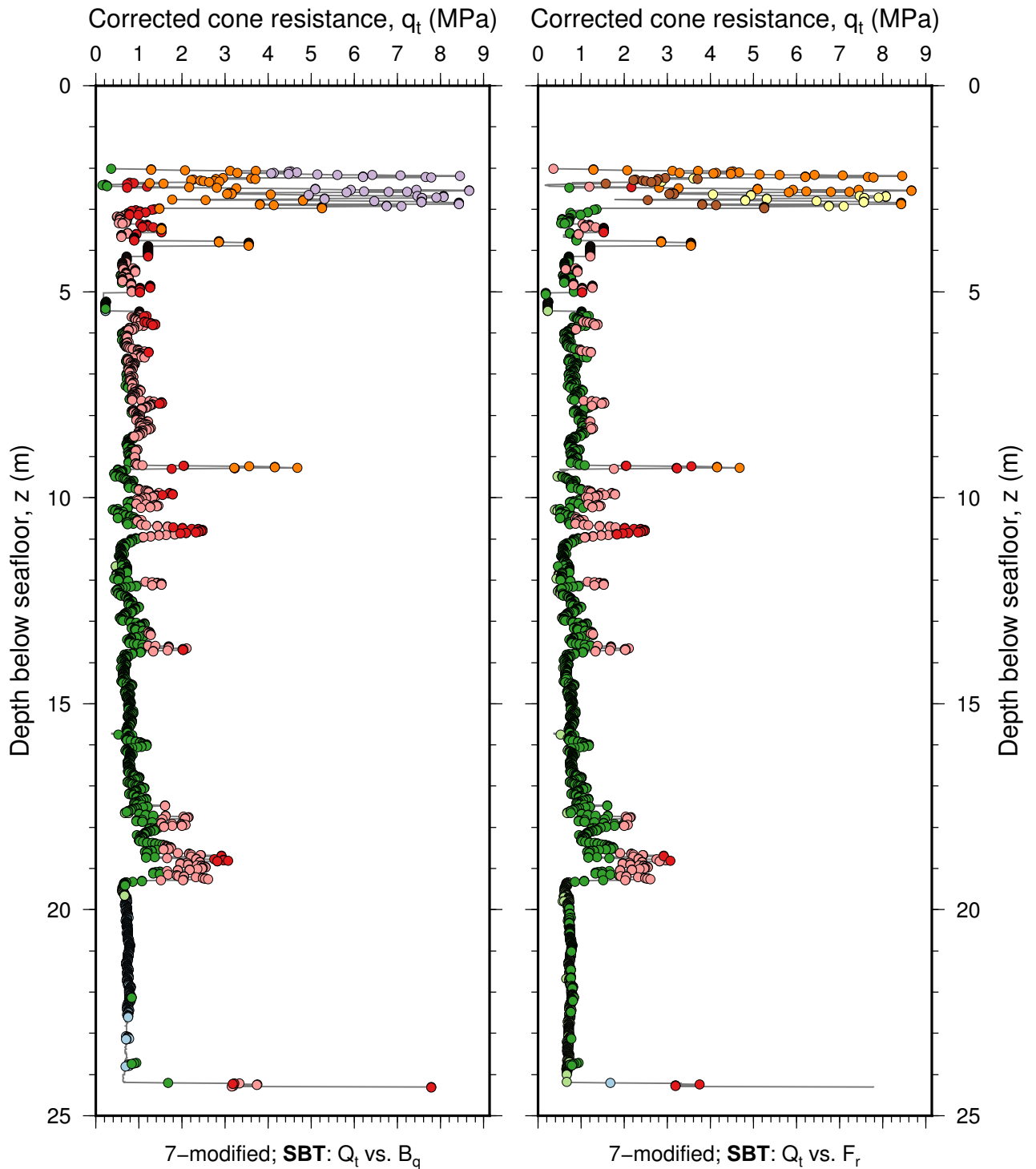
- | | | |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1: Sensitive, fine grained | 5: Clayey silt to silty clay | 9: Sand |
| 2: Organic material | 6: Sandy silt to clayey silt | 10: Gravelly sand to sand |
| 3: Clay | 7: Silty sand to sandy silt | 11: Very stiff fine grained* |
| 4: Silty clay to clay | 8: Sand to silty sand | 12: Sand to clayey sand* |
- SBT according to Robertson et al., 1986** *Overconsolidated or cemented



- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_v/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_v/p_0' > 1$)

SBT according to Ramsey, 2002

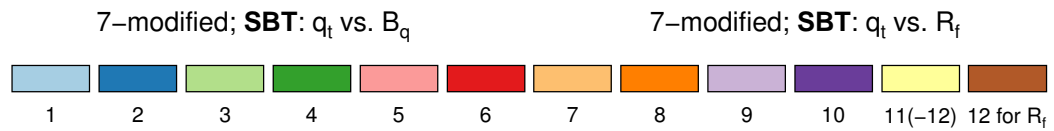
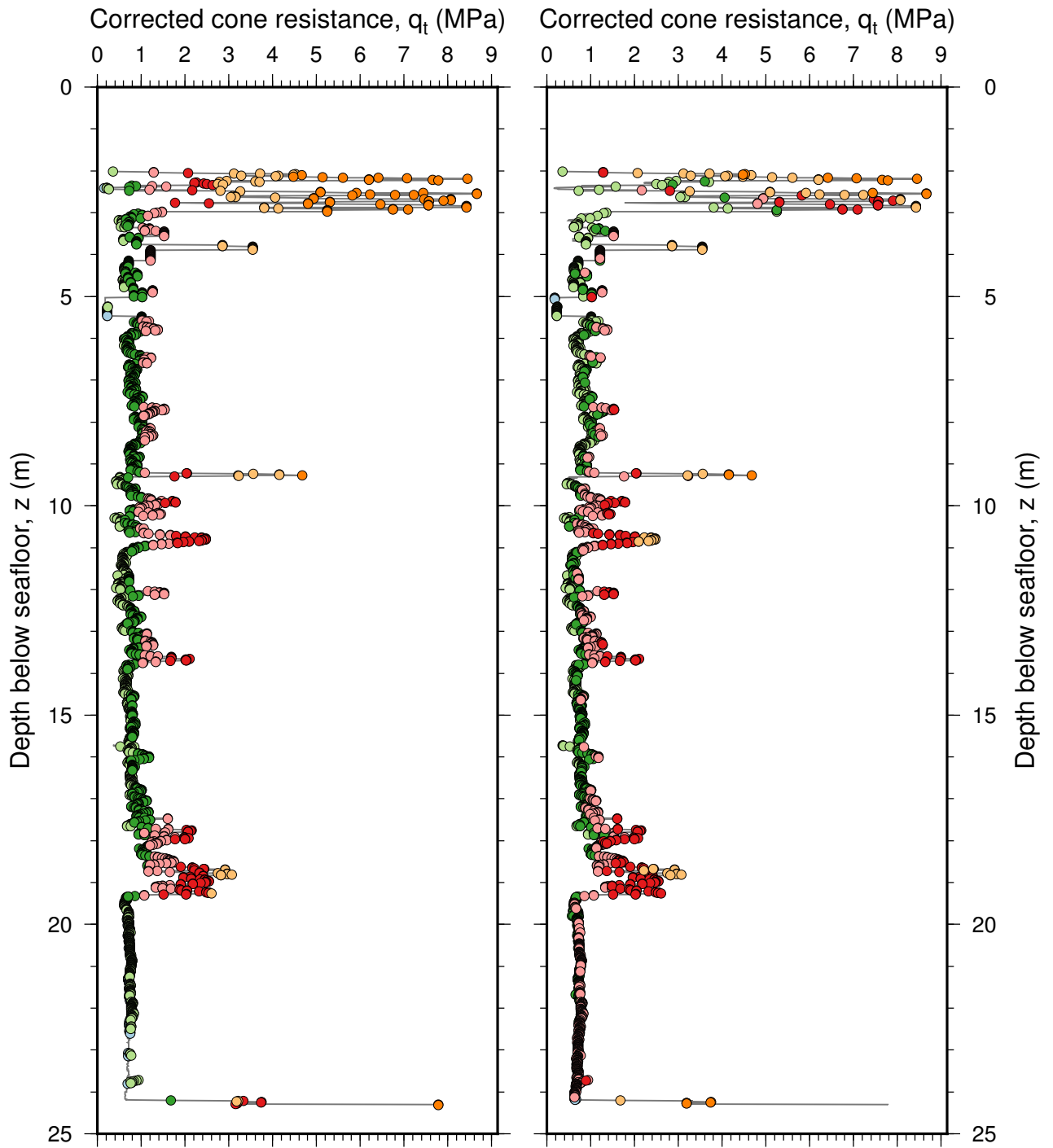
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel



- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



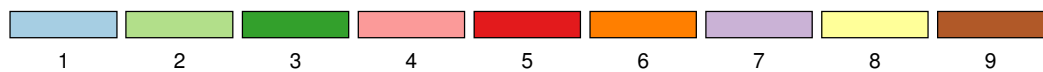
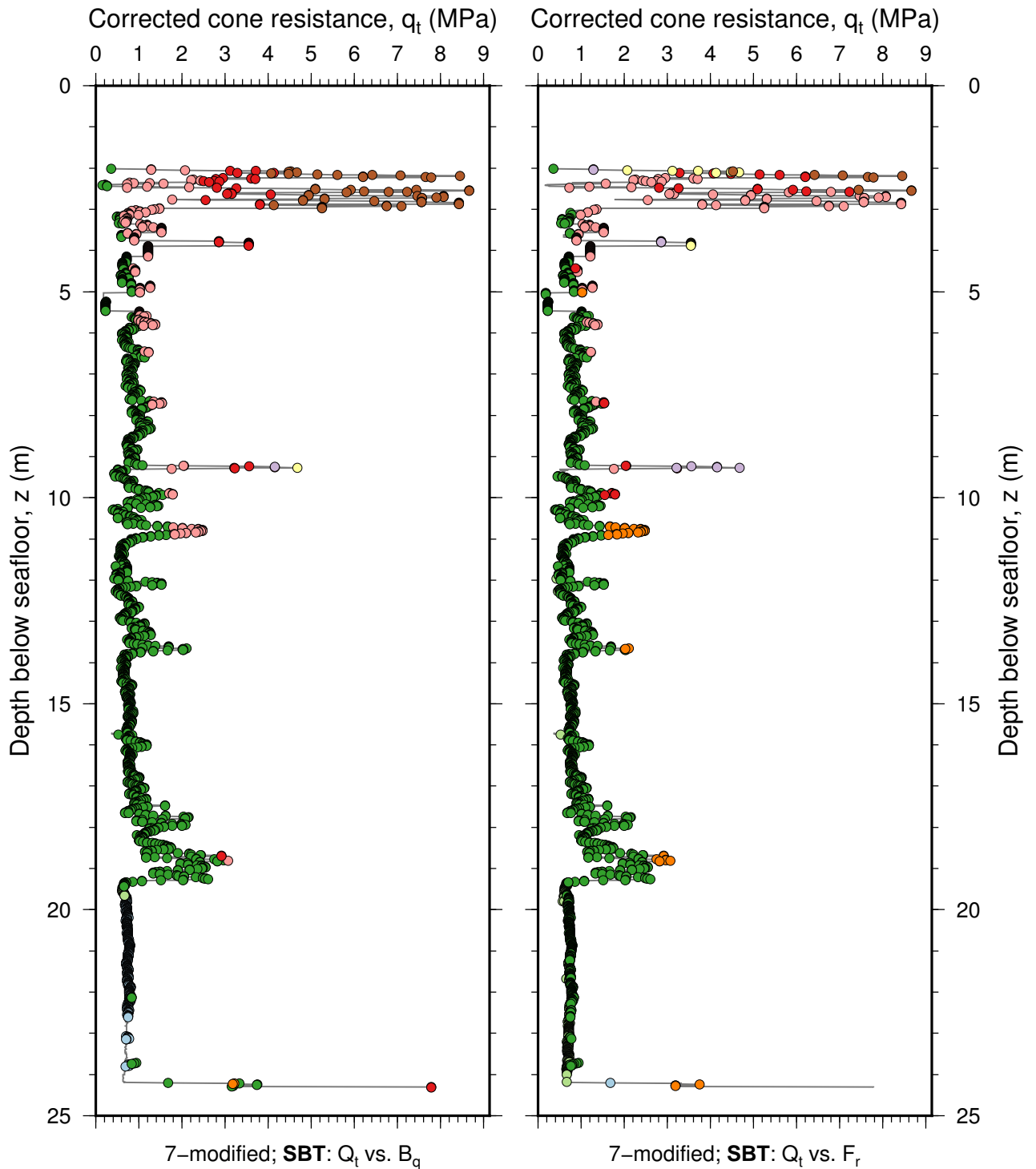
- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay

- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand

- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

SBT according to Robertson et al., 1986

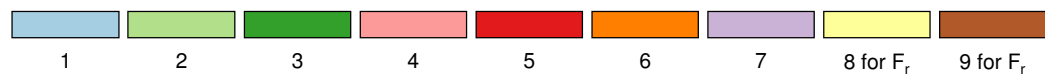
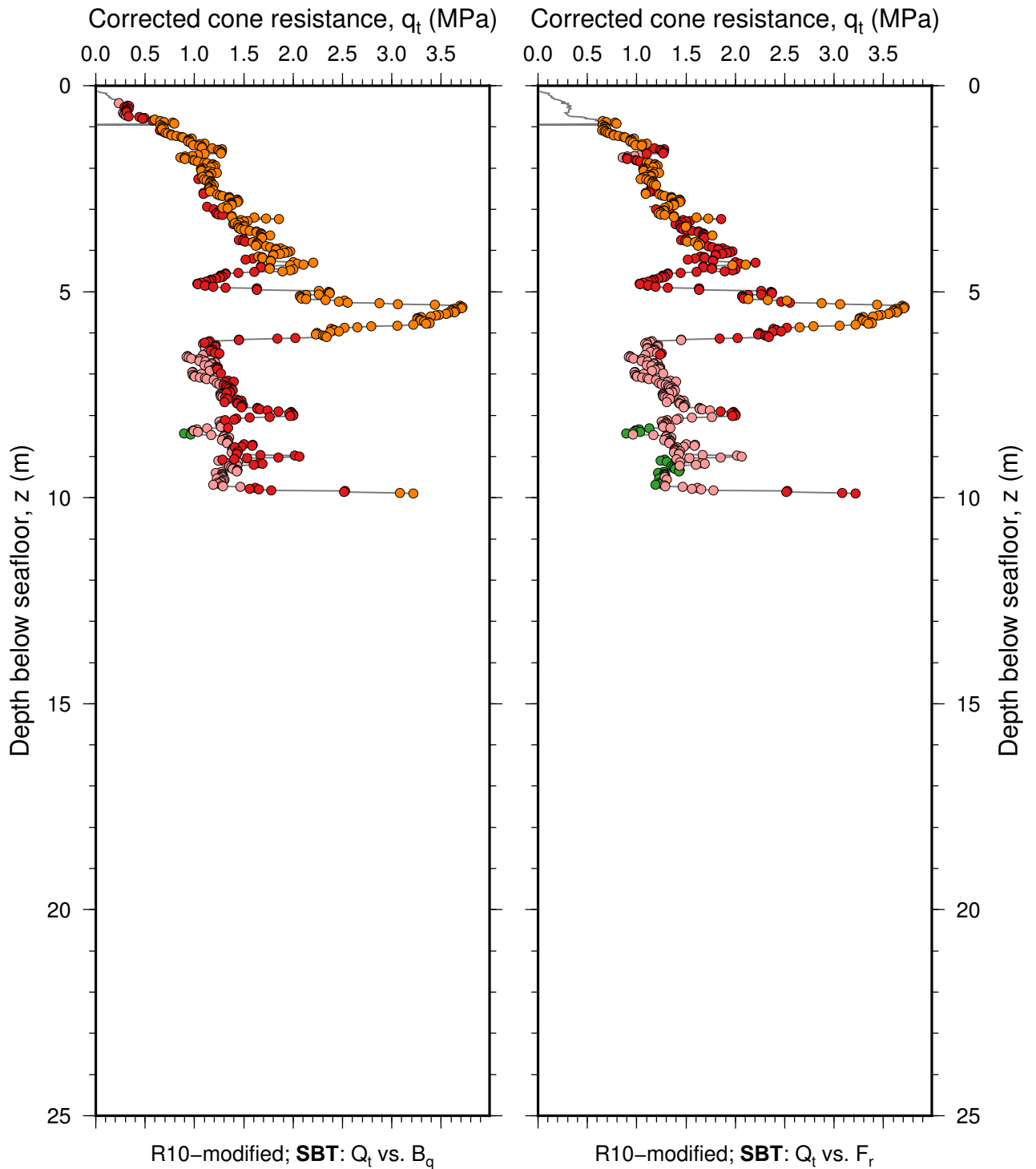
*Overconsolidated or cemented



- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_v/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_v/p_0' > 1$)

SBT according to Ramsey, 2002

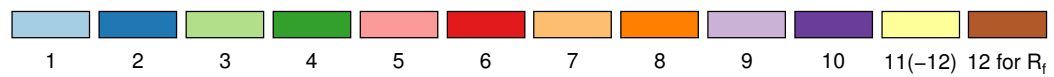
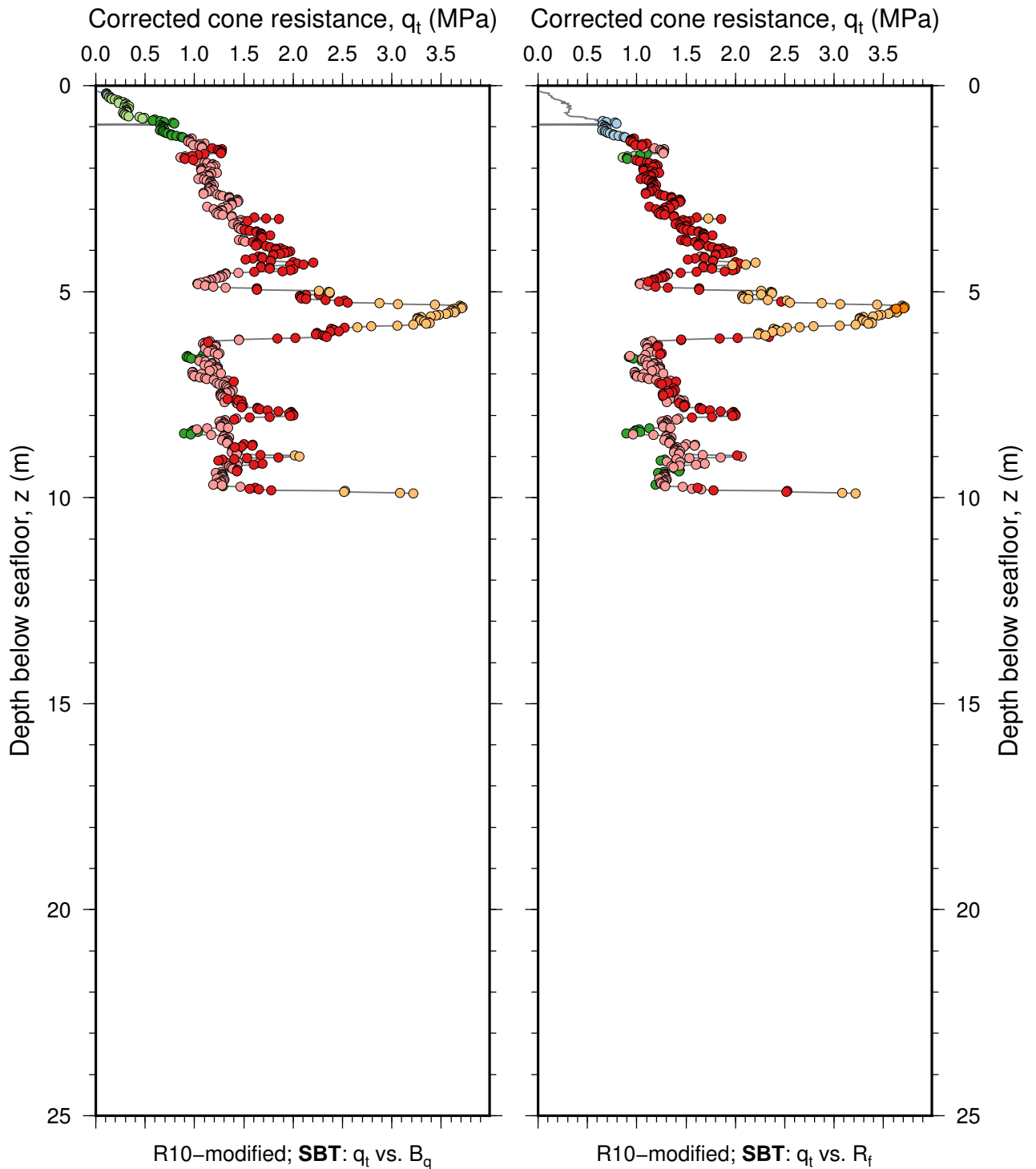
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel



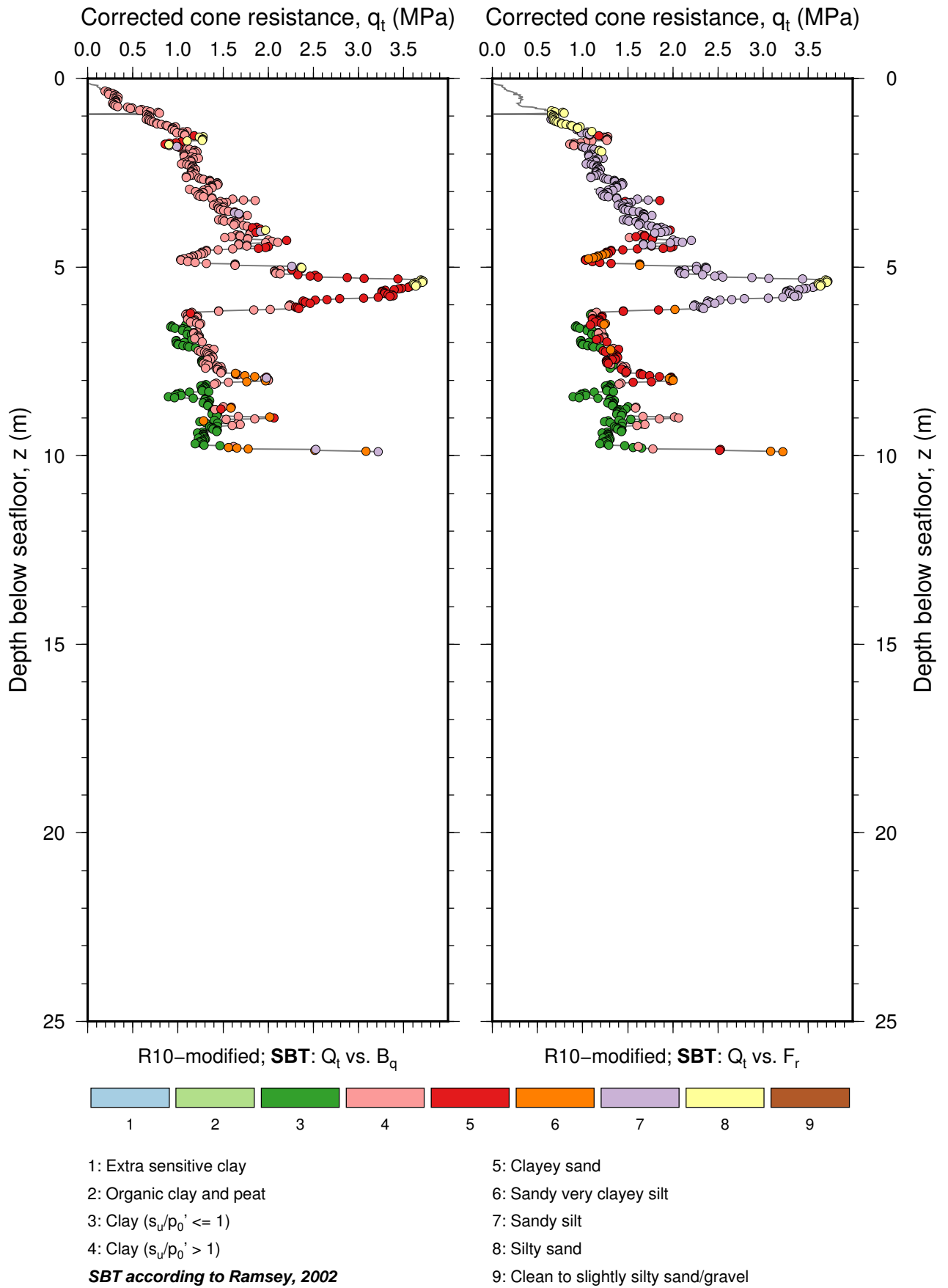
- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

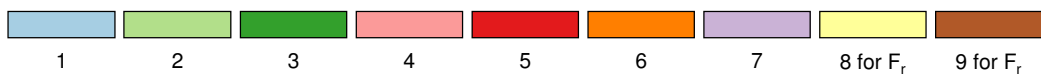
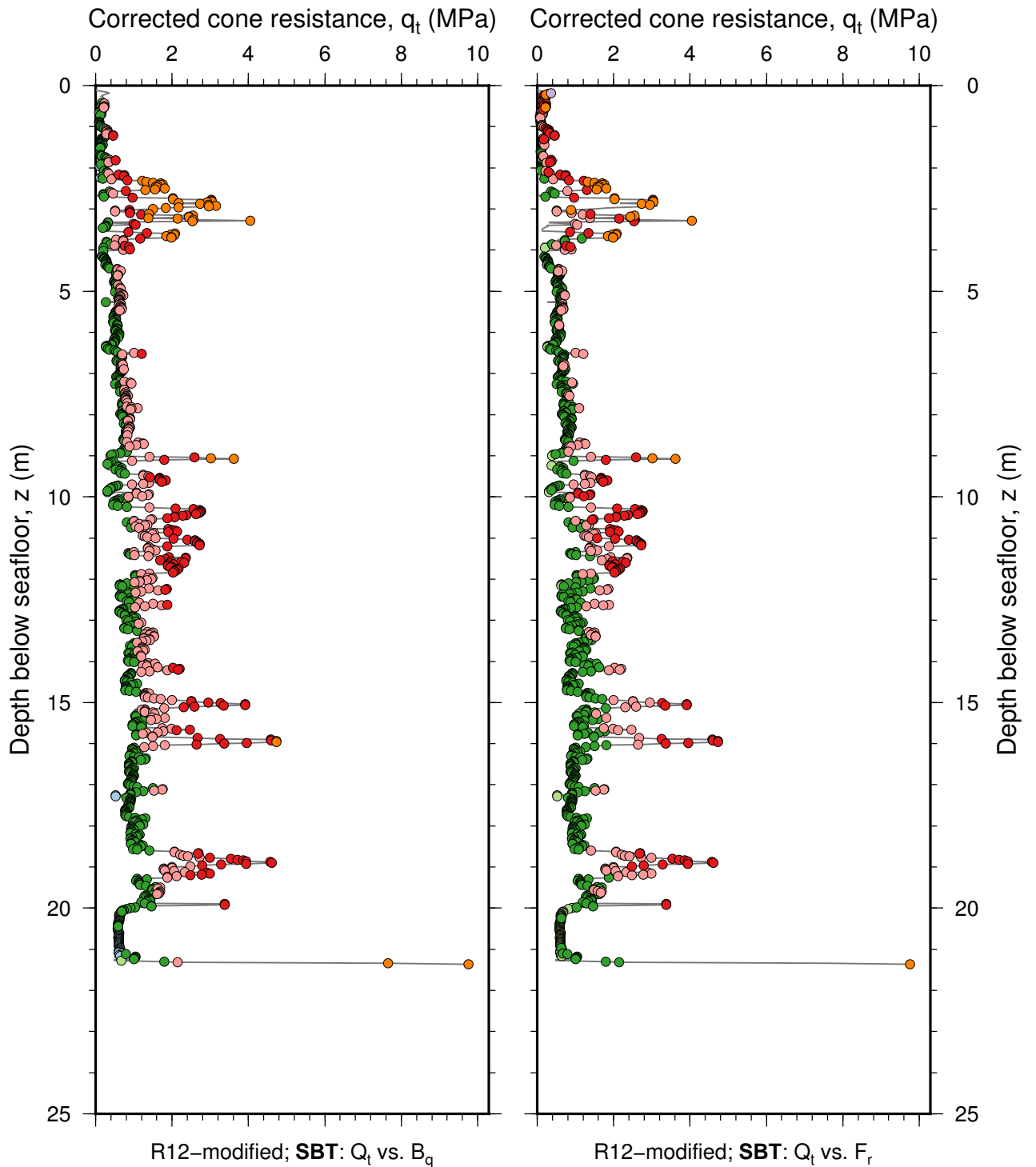
SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



- | | | |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1: Sensitive, fine grained | 5: Clayey silt to silty clay | 9: Sand |
| 2: Organic material | 6: Sandy silt to clayey silt | 10: Gravelly sand to sand |
| 3: Clay | 7: Silty sand to sandy silt | 11: Very stiff fine grained* |
| 4: Silty clay to clay | 8: Sand to silty sand | 12: Sand to clayey sand* |
- SBT according to Robertson et al., 1986** *Overconsolidated or cemented

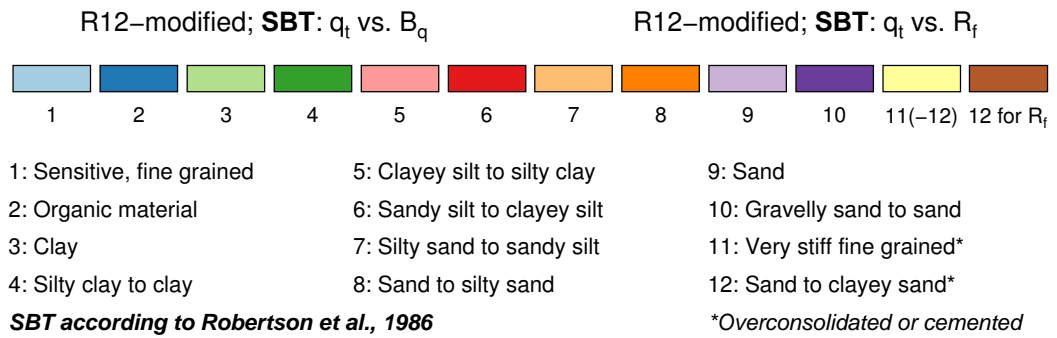
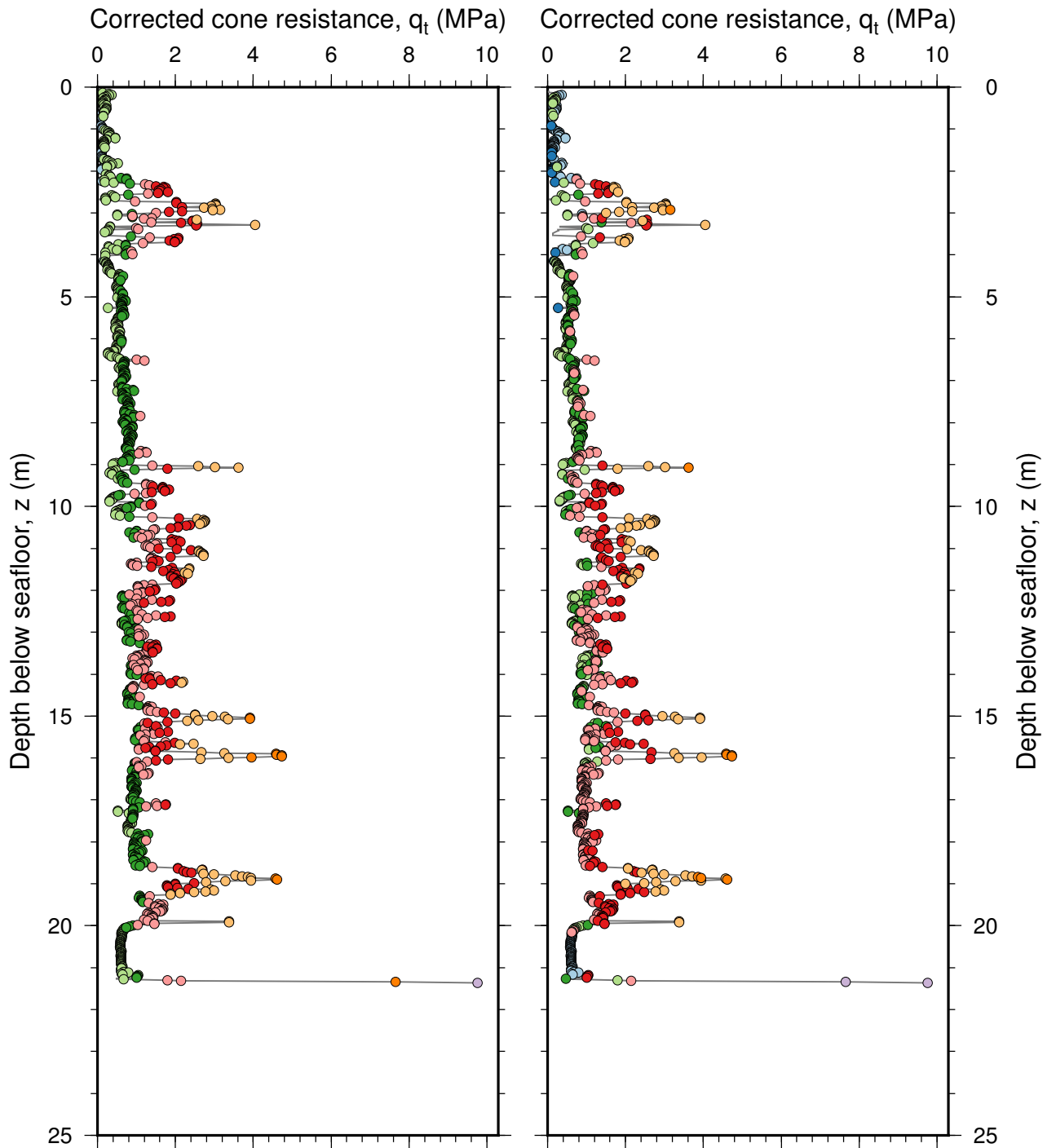


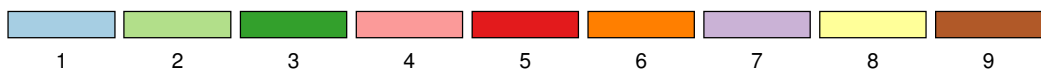
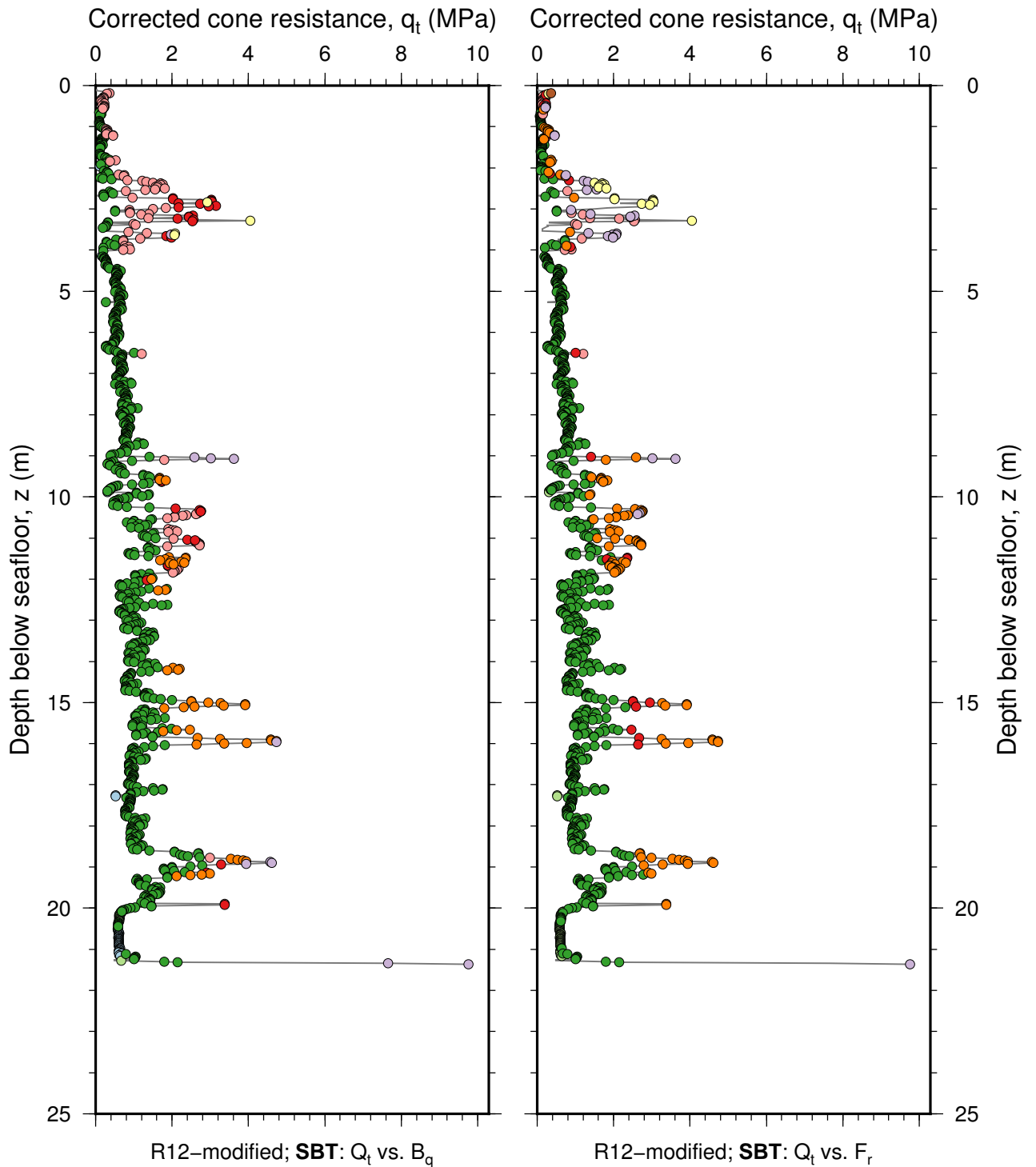


- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained

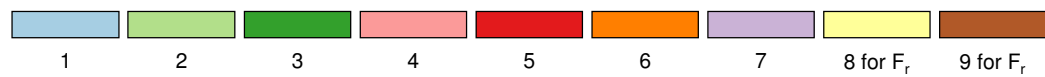
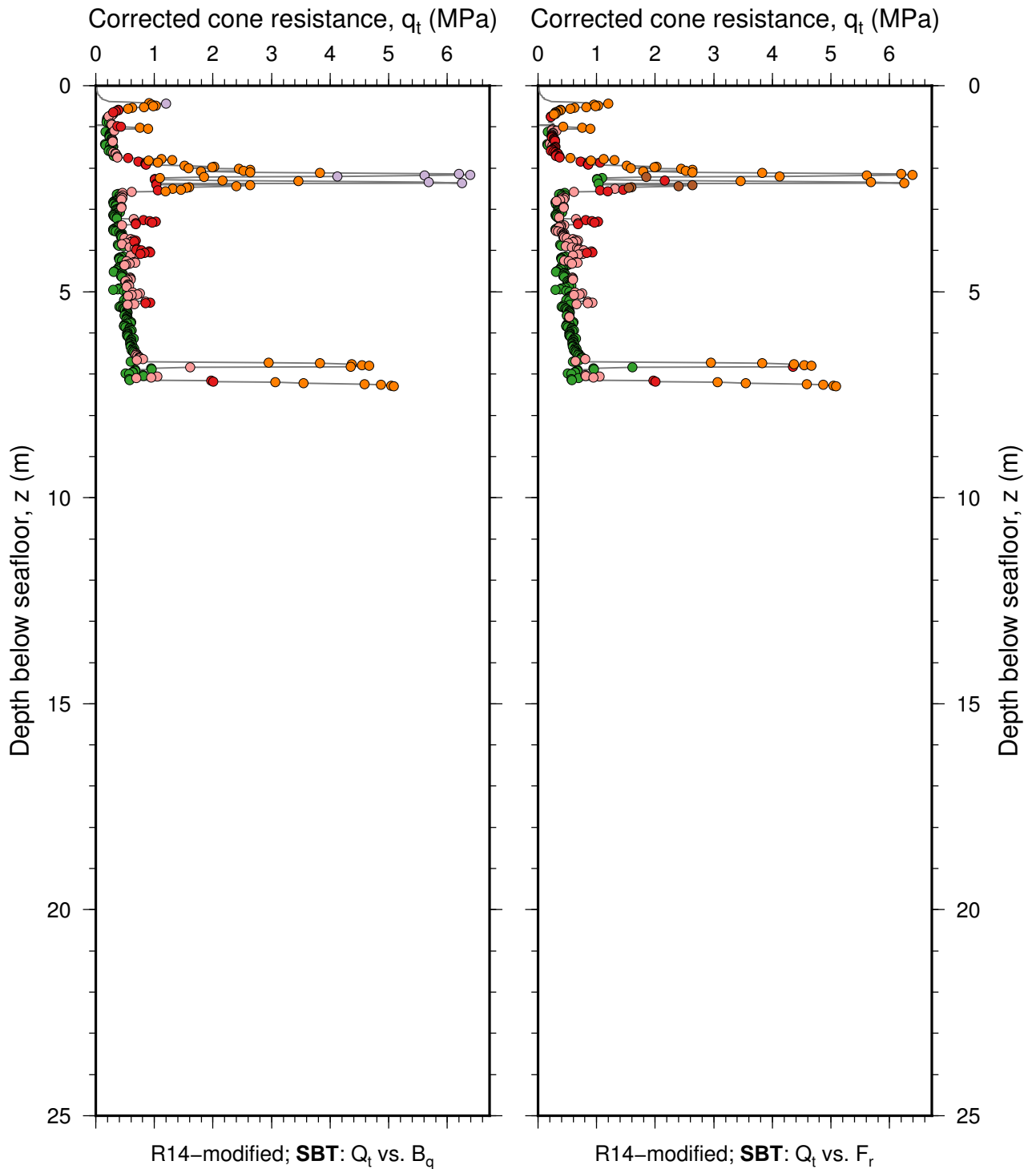




- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_v/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_v/p_0' > 1$)

SBT according to Ramsey, 2002

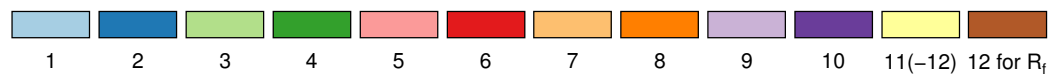
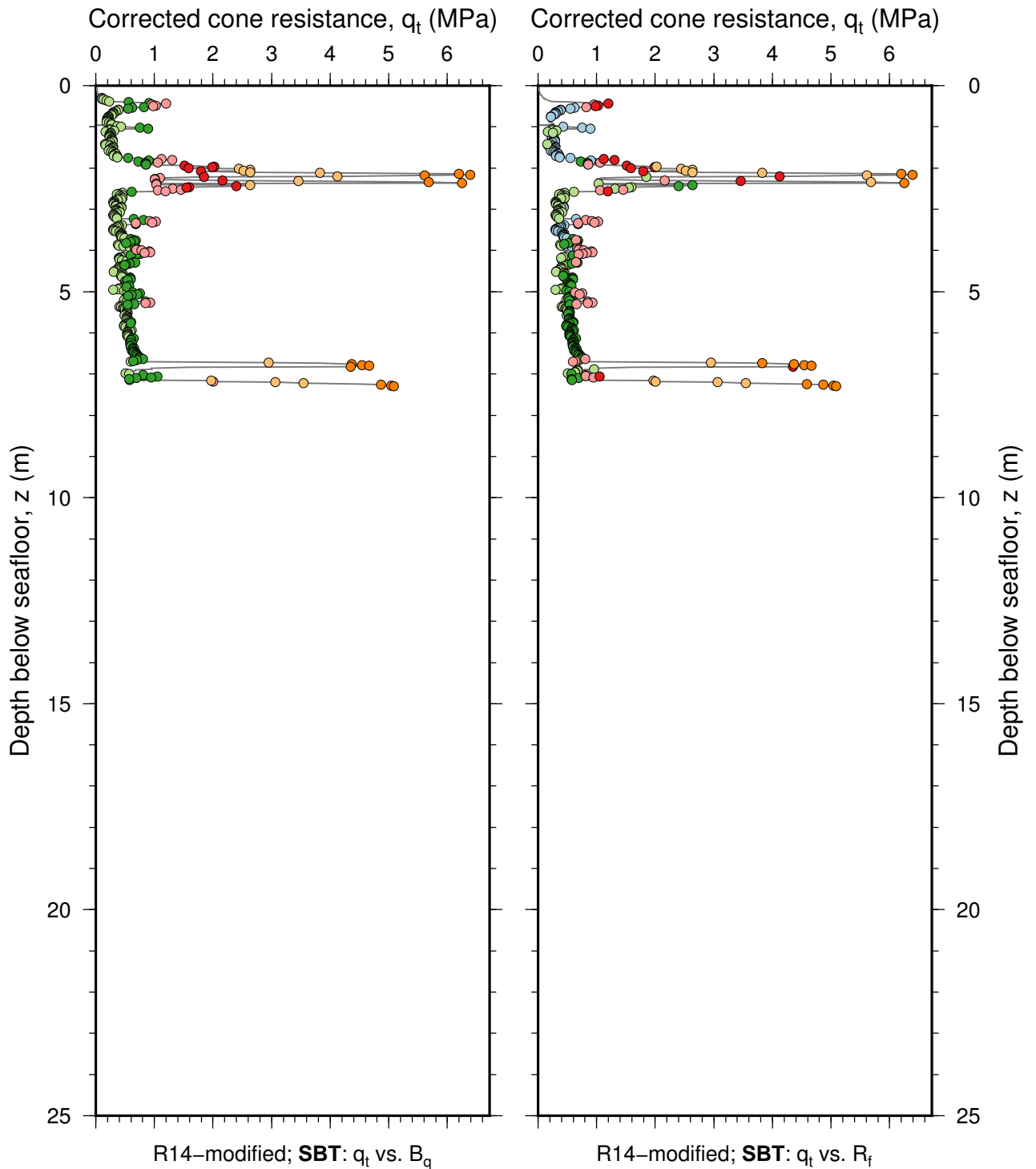
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel



- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



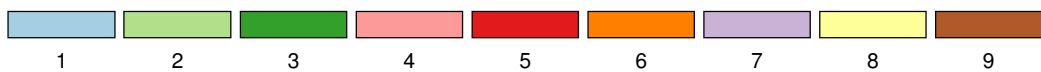
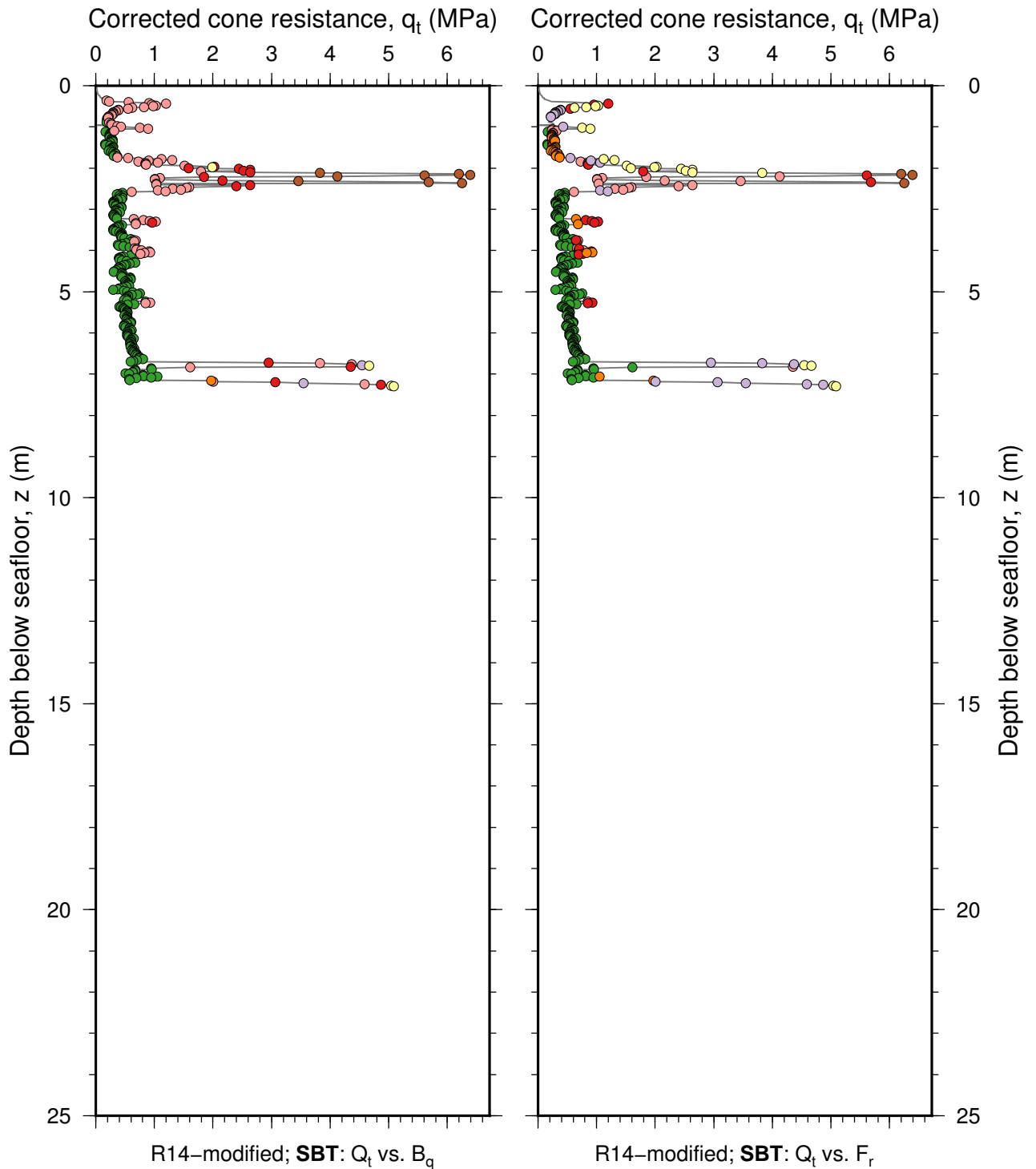
- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic material
- 3: Clay
- 4: Silty clay to clay

- 5: Clayey silt to silty clay
- 6: Sandy silt to clayey silt
- 7: Silty sand to sandy silt
- 8: Sand to silty sand

- 9: Sand
- 10: Gravelly sand to sand
- 11: Very stiff fine grained*
- 12: Sand to clayey sand*

SBT according to Robertson et al., 1986

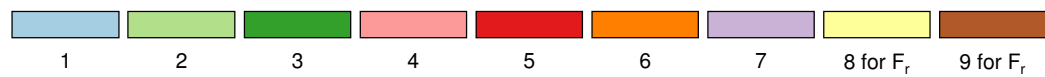
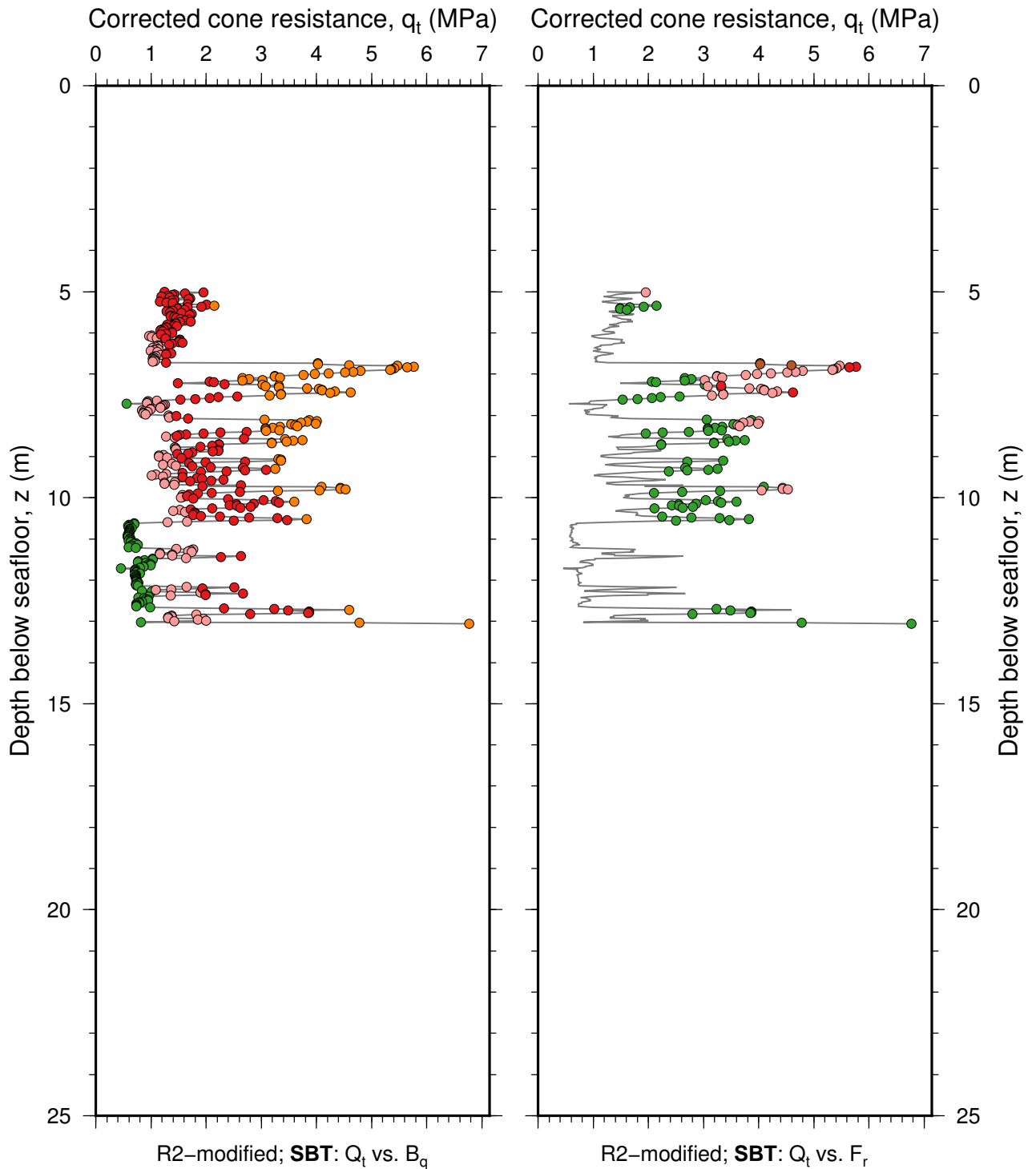
*Overconsolidated or cemented



- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_v/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_v/p_0' > 1$)

SBT according to Ramsey, 2002

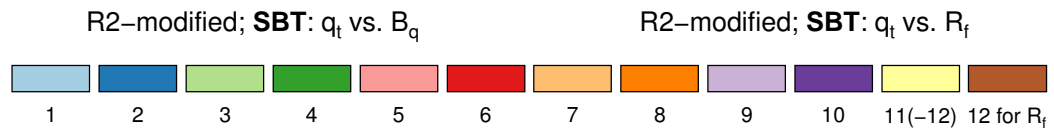
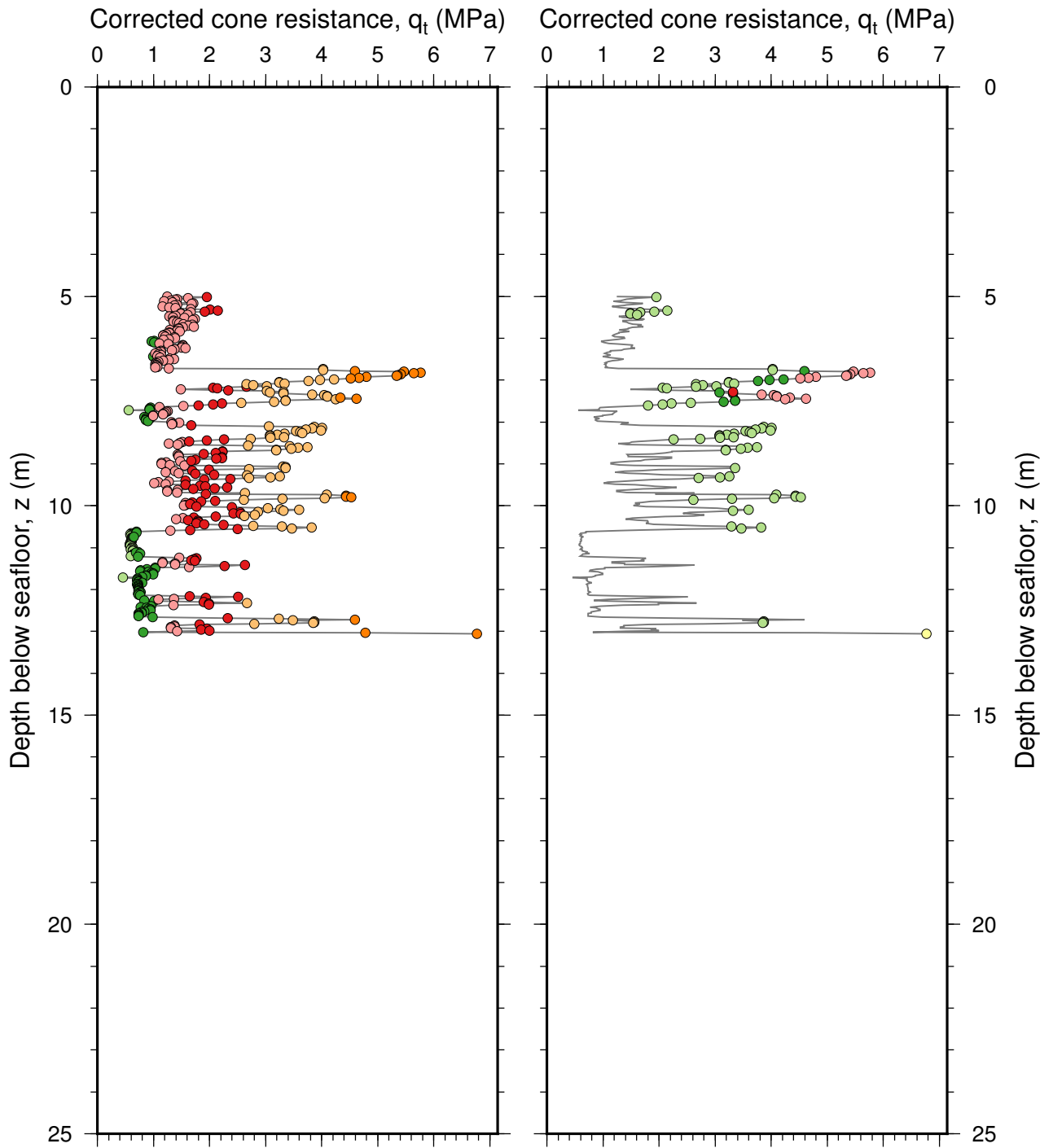
- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel



- 1: Sensitive, fine grained
- 2: Organic soils, peats
- 3: Clays; Clay to silty clay
- 4: Silt mixtures; Clayey silt to silty clay

SBT according to Robertson, 1990

- 5: Sand mixtures; Silty sand to sandy silt
- 6: Sand; Clean sand to silty sand
- 7: Gravelly sand to sand
- 8: Very stiff sand to clayey sand
- 9: Very stiff fine grained



1: Sensitive, fine grained

2: Organic material

3: Clay

4: Silty clay to clay

5: Clayey silt to silty clay

6: Sandy silt to clayey silt

7: Silty sand to sandy silt

8: Sand to silty sand

9: Sand

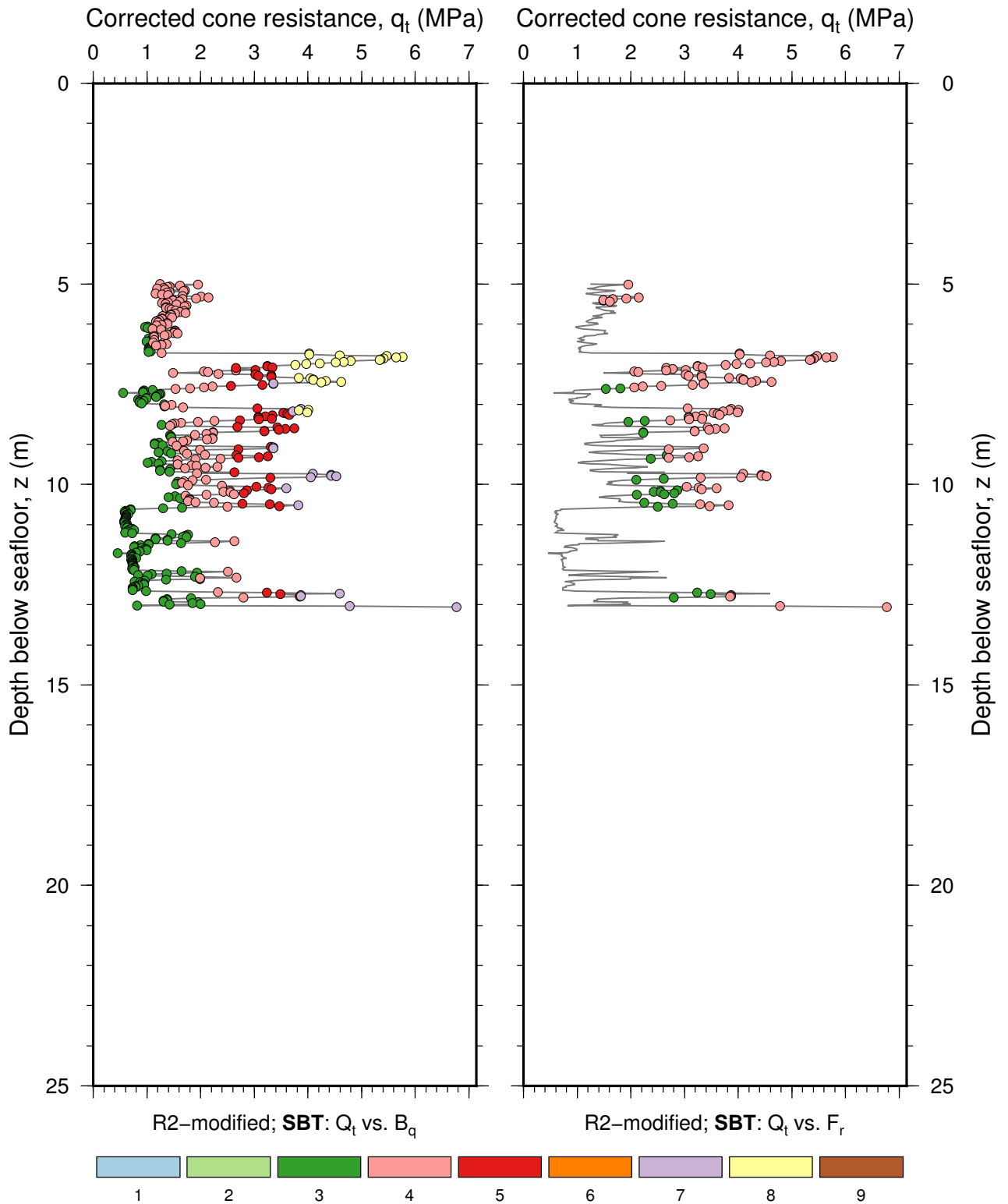
10: Gravelly sand to sand

11: Very stiff fine grained*

12: Sand to clayey sand*

SBT according to Robertson et al., 1986

*Overconsolidated or cemented



- 1: Extra sensitive clay
- 2: Organic clay and peat
- 3: Clay ($s_v/p_0' \leq 1$)
- 4: Clay ($s_v/p_0' > 1$)

SBT according to Ramsey, 2002

- 5: Clayey sand
- 6: Sandy very clayey silt
- 7: Sandy silt
- 8: Silty sand
- 9: Clean to slightly silty sand/gravel

Vedlegg C - Tolkning av lagringsfasthet (Dr %)

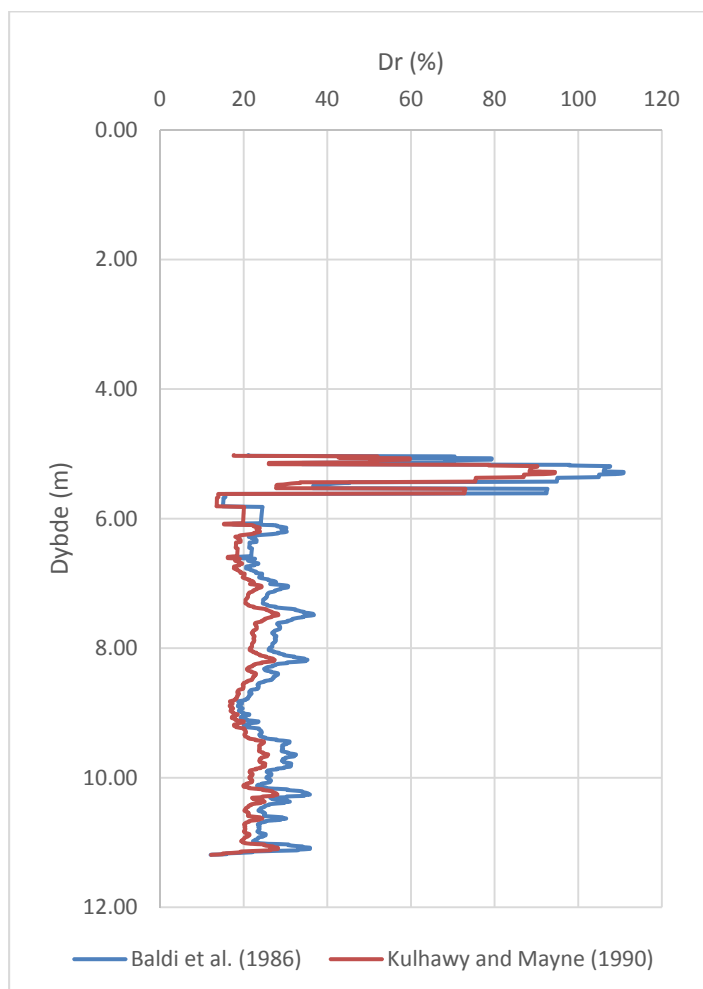
Innhold

Tolkning av lagringsfasthet fra CPTU data i borepunkt 2, 3, 7, R2, R10 og R12 etter ref. (1 og 2).

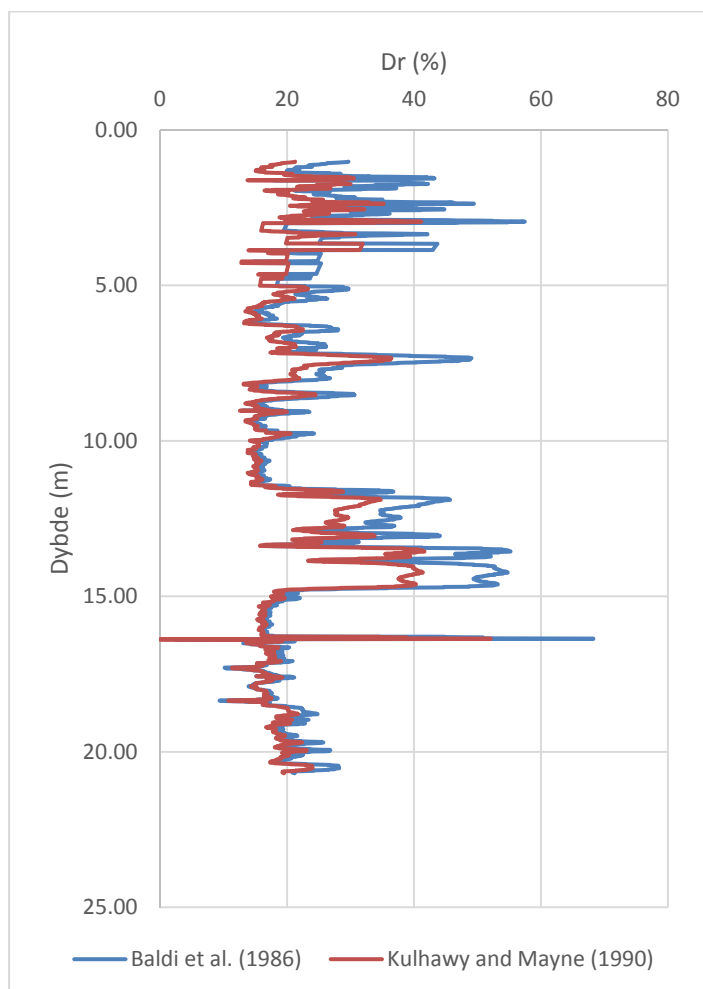
Referanser

1- Baldi, G., Bello tti, R., Ghionna, V., Jam iolkowski, M. and Pasqualini, E. 1986. Interpretation of CPT' s and CPTU' s. Part 2, drained penetration of sands. 4th International Geotechnical Seminar, Field Instrumentation and In Situ Measurements, Singapore, pp. 143-156.

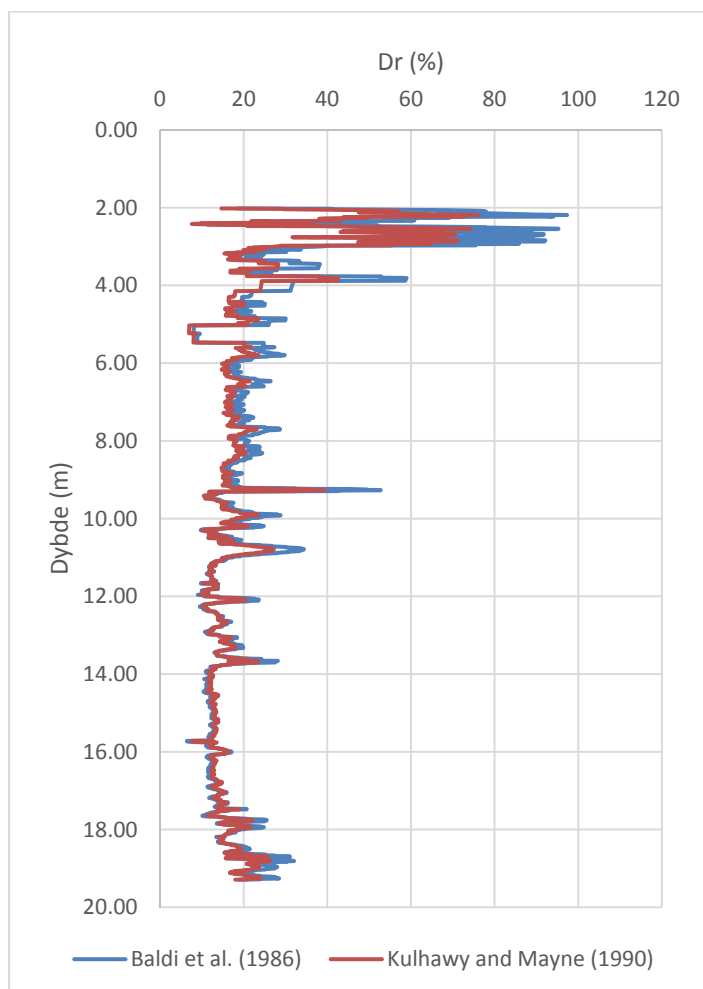
2- Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W. (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design. *Report EL-6800*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, 306 p.



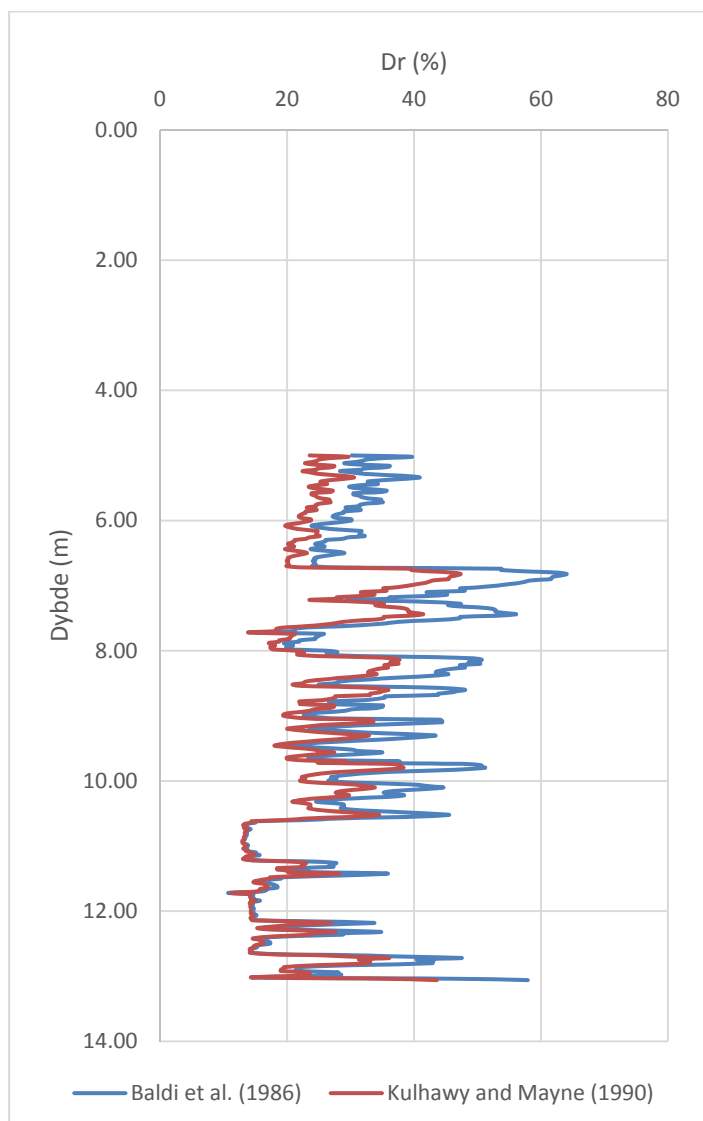
Figur 1: CPTU-2



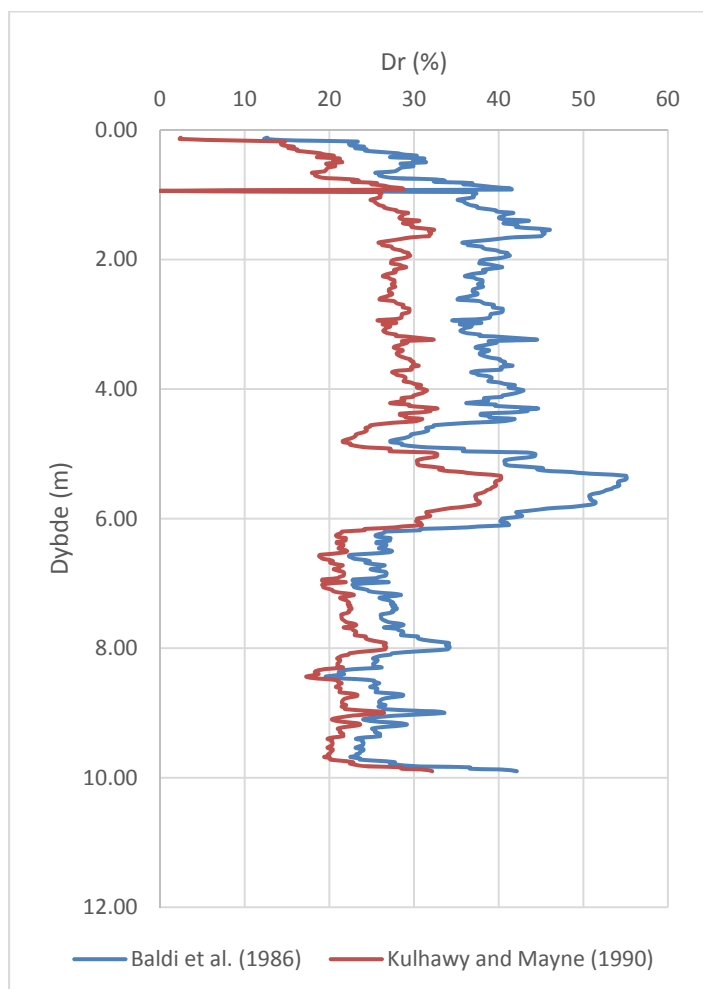
Figur 2: CPTU-3



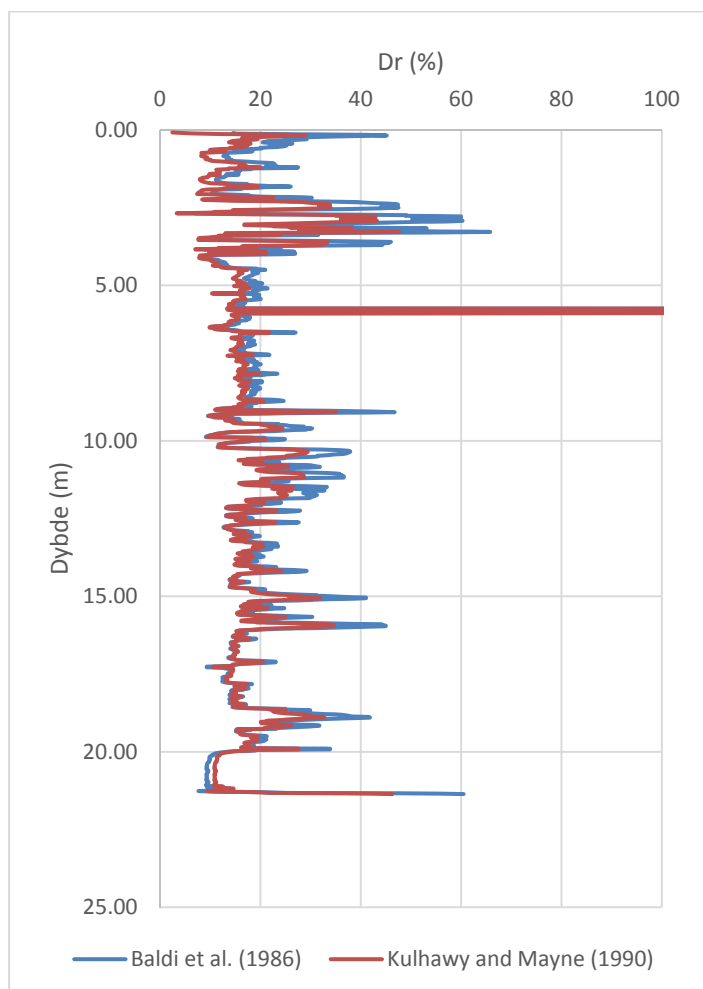
Figur 3: CPTU-7



Figur 4: CPTU-R2



Figur 5: CPTU R10



Figur 6: CPTU-R12

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title NIFS NN-6.7.1 Nord Statland – Grunnforhold og skredmorfologi				Dokumentnr./Document No. 20140347-01-TN	
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 4. desember 2014	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0	
Oppdragsgiver/Client NVE					
Emneord/Keywords Morfologi, refleksjonsseismikk, grunnforhold, skred, kvikkleire					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Nordland				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Namdalseid				Feltnavn/Field name	
Sted/Location Nord Statland				Sted/Location	
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	JSL	JSL RMo	RMo	
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 4. desember 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager Ragnar Moholdt	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Sluppen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 / IBAN NO26 5096 0501 281
Org.nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg.No. FS 32989

VEDLEGG B

Til: NIFS NN-6.7.1
v/: Stein Are Strand
Kopi til:
Dato: 4. desember 2014
Rev. nr./ Rev. dato: 0
Dokumentnr.: 20140347-02-TN
Prosjekt: Utredning av teknisk årsak til skredet ved Nord – Statland
29.01.2014
Utarbeidet av: Sylfest Glimsdal og Jean-Sebastien L'Heureux
Prosjektleder: Ragnar Moholdt
Kontrollert av: Finn Løvholt og Carl B. Harbitz

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Utløp og flodbølge

Innhold

1	Innledning	2
2	Befaring og vannivå	3
3	Beskrivelse av flodbølgen	6
	3.1 Oppskyllingshøyder	6
	3.2 Ødeleggelser	6
4	Utløpsmodellering	8
	4.1 Numeriske modell: BING	8
	4.2 Inngangsdata i BING	9
	4.3 Resultater	12
5	Flodbølgeberegninger	15
	5.1 Inngangsdata for flodbølgeberegninger	17
	5.2 Bølgeutbredelse	18
	5.3 Oppskylling	19
6	Oppsummering	24
7	Referanser	24

Vedlegg A: foto fra befaring

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Skredet som gikk 29.01.2014 ved Nord - Statland i Namdalseid kommune har forårsaket store materielle og andre skader, men ingen alvorlige skader på mennesker eller tap av menneskeliv har oppstått. I Meld.St 15 (2011-2012) er det lagt opp til at det etableres en ordning for systematiske undersøkelser etter flom- og skredendelser av en viss størrelse.

NGI deltar i en granskningsgruppe sammen med representanter fra NTNU, NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Oppdraget utføres i regi av etatsprogrammet NIFS, "Naturfare – Infrastruktur – Flom – Skred", delprosjekt 6.

NVE ønsker på sikrest mulig grunnlag å avklare bruddmekanismen og sannsynlig årsakssammenheng ved det inntrufne skredet. Herunder ønskes sannsynliggjort hvilke tekniske forutsetninger/omstendigheter som førte til bruddet. Usikkerhet og/eller tvil av betydning må belyses/kvantifiseres (om mulig).

Det er avtalt at NGI skal utarbeide notater med beregninger og vurderinger av følgende tema som delleveranser til arbeidsgruppa:

- Refleksjonsseismiske undersøkelser og morfologisk analyse
- Utløpsanalyser og modellering av flodbølge
- Rystelser fra vibrovals
- Stabilitetsanalyse og effekt av sprøbrudd, inkl. parametertolkning

Som følge av skredet ved Statland ble det dannet en flodbølge som slo inn over land opptil 10 m over det aktuelle havnivået som var forut for hendelsen. I dette notatet presenteres beregninger av flodbølgen, og resultatene sammenholdes med beskrivelser fra selve hendelsen og målte oppskyllingsberegninger. Effekten av forskjellige mulige skredforløp blir også sannsynliggjort. På eget initiativ gjorde NGI befaring av oppskyllingsområdene den 31.01.2014. Dette notatet er derfor supplert med registreringer fra denne befarings; oppskyllingslinjer med tilhørende høyde, ødeleggelse, samt viktige øyenvitnebeskrivelser for å sikre flest mulig informasjon for å forstå hendelsesforløpet best mulig.

I flodbølgeberegningene har vi undersøkt effekten av flere mulige hendelsesforløp. Sammenlignet med observasjonene av bølgene i sjøen (øyenvitner) og oppskyllingen innover tørt land (målt under befaringsen) vil et initialt skred hvor fronten går ut etterfulgt av et større kvikkleire-skred være det hendelsesforløpet som gir best samsvar.

I dette notatet brukes betegnelsen overflatehevning som vannivået målt ut fra likevekt (urørt vann), mens begrepet oppskyllingslinje viser hvor langt inn over land vannet har beveget seg.

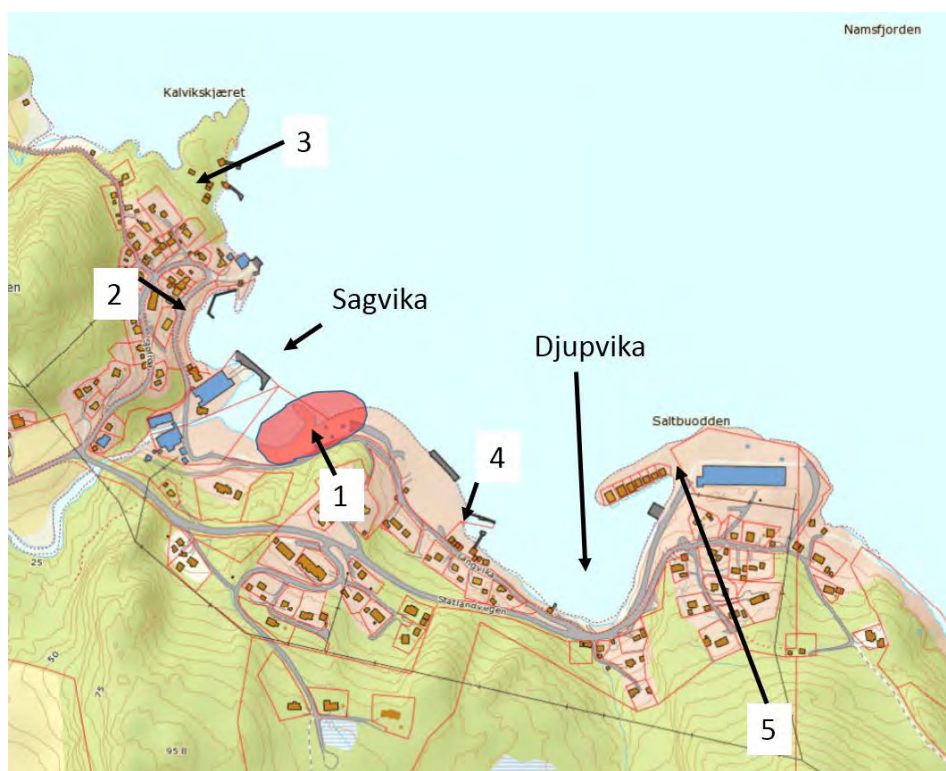
2 Befaring og vannivå

NGI var på befaring fredag 2014-01-31 ved Nord-Statland mellom kl. 0900 og 1400. Hensikten med befaringen var i første rekke å kartlegge oppskyllingen av flodbølgen, men også å få beskrevet hva øyenvitner opplevde av bølgene etter skredet på Nord-Statland.

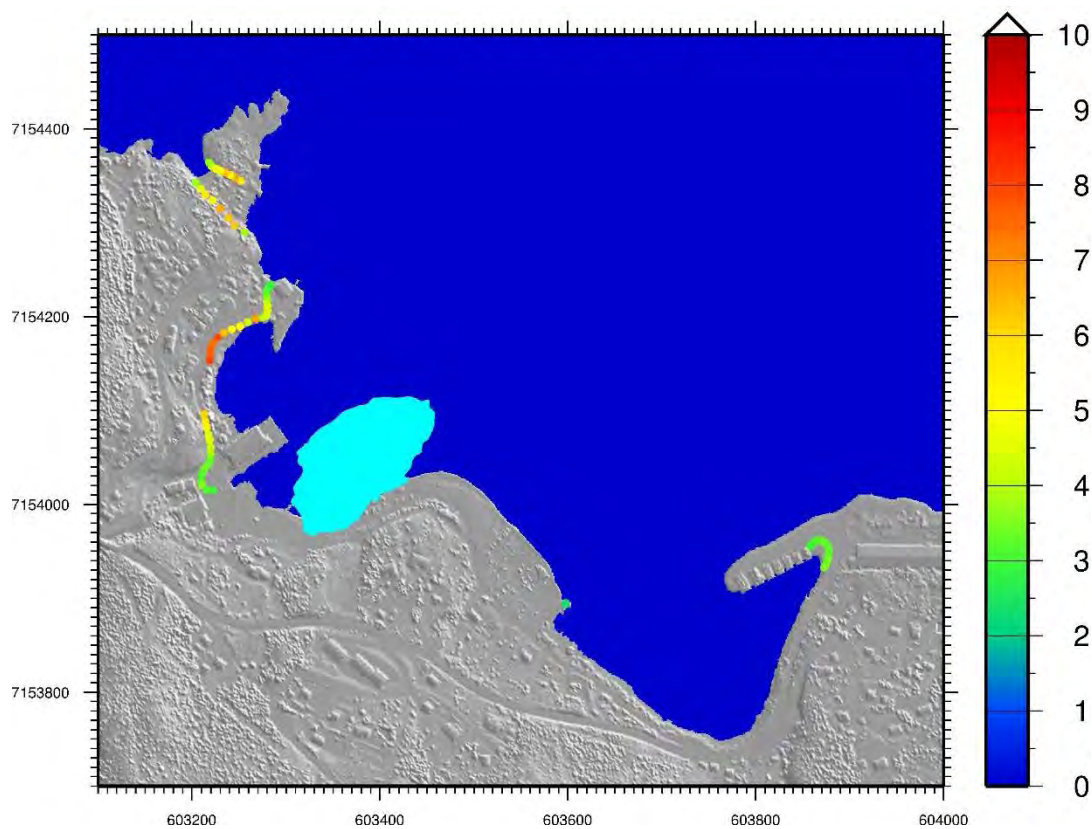
Under befaringen ble oppskyllingslinjene (hvor langt innover land vannet trengte) registrert. Høyest nådde vannet ved punkt 2 i Figur 1. Her gikk vannet opptil 10 m høyere enn vannstanden på det aktuelle tidspunktet. I Figur 2 vises de registrerte oppskyllingslinjene og hvor høyt denne ligger over NN1954 (referansehøyde i landkart).

Hendelsen inntraff på fjære sjø omtrent på laveste astronomiske tidevann (LAT). I følge politiloggen ble politi varslet kl. 1631. På *sehavniva.no* var havnivået da beregnet til å være 1.58 m under NN1954. Det vil si at oppskylling under 3 m var umulig å avdekke under befaring siden denne høyden vil ligge i sonen for tidevannet og at det derfor var vanskelig å skille mellom flodbølgen og tidligere høyvann dagene før. Det punktet hvor vannet nådde høyest ligger ca. 8.5 m over NN1954. Vannivået under befaringen varierte fra ca. -0.1 m (ut fra NN1954) via +0.9 m ca. kl 1200 til ca +0.1 m kl. 1400.

Bilder fra befaring er vist i vedlegg A.



Figur 1: Kart over Nord-Statland ved Namsfjorden, Namdalseid kommune. 1: skredområde, 2: størst oppskylling 8-9 m, 3: flere naust totalt ødelagt ved Kvalvikskjæret, 4: vann strømmet ut som en elv etter første bølgetopp, liten pil markerer hvor vannet så vidt slo over molo, 5 (Saltbuodden): flere brygger ødelagt og båter kastet rundt. Settefiskanlegget ligger øst for bryggene/rorbuene ved Saltbuodden. Snekkeriet ligger midt i Sagvika (blå bygning på kartet lengst ned mot sjøen).



Figur 2: Fargede punkt viser oppskyllingslinjer og høyden på disse. Verdiene viser høyde i meter over NN1954. Vannivået i fjorden da bølgen slo inn var 1.6 m lågere enn NN1954. Reell oppskyllingshøyde er derfor 1.6 m høyere enn vist i figuren. Oppskyllingshøyder som ikke nådde høyere enn normalt høyvann lot seg ikke registrere (høydene her kan ha vært opp mot 3 m).

3 Beskrivelse av flodbølgen

3.1 Oppskyllingshøyder

Etter at skredet (se område 1 i Figur 1) gikk ut i fjorden, skylte bølgene opp mot husbebyggelsen og butikken (område 2). Total oppskylling her var opptil 10 m over vannivået i fjorden på aktuelt tidspunkt. Oppskyllingen var noe lavere ved odden hvor butikken ligger (mellom punkt 2 og 3). Videre nordover skylte bølgene 5-6 m opp ved Kvalvikskjæret (3). Sørøstover mot Djupvika ble det først observert en bølge som var høyest mellom molo (4) og ytre del av molo (5), med avtagende høyde innover i bukta og utover mot fjorden. Ca. 1 minutt seinere kom bølgedalen og i løpet av et nytt minutt ble Djupvika nærmest tømt for vann. Ødeleggelser ble kun observert ved rorbuer som ligger på molo (5) øst i Djupvika (brygger og båter). Oppskyllingshøyden var her ca. 4.5 m ut fra havnivået på aktuelt tidspunkt (det vil si 3 m over NN1954, punkt 5 i Figur 1).

3.2 Ødeleggelser

Under beskrives observasjoner og øyenvitnebeskrivelser.

3.2.1 Ved skredet

Det kunne observeres en bratt (også overhengende) bruddkant. Innerst i bukta ved skredområdet gikk også vannforsyning til settefiskanlegget (ved 5). Det var to rør på 63 cm hver. Disse ble revet løs, og det ble sagt av øyenvitner at det var endene av disse som kunne sees flytende 100-200 m ut i fjorden. Det var lite tegn til oppskylling inn over land ved selve skredområdet. Nedenfor bolighus sørvest for den indre delen av skredområdet, beskrev øyenvitner at det har vært observert vannlekkasjer (is på veien) som ikke tidligere har vært der. Et annet øyenvitne forteller også om mye vann i ledningsnett (eller til settefiskanlegget?) som har vært på avveie.

3.2.2 Sagvika

Det var et øyenvitne ved butikken ved Sagvika (vest i området) som rett forut for skredet observert en stripe i vannet ut mot settefiskanlegget. Det kunne se ut som en oljestrife/forurensning med rolig vann i midten og noe skum på hver side av denne (kommentar: kan det være noe med vannledningen han observert, at ledningene allerede hadde røket av? Vannledningen lå nemlig i samme område.). Han dro over til settefiskanlegget for å sjekke om det kunne være kjemikalier fra settefiskanlegget som hadde lekket ut da han ser bølgen komme.

Innerst i Sagvika ligger det et snekkerverksted (stor blå bygning). Nordvest for dette lå det fem naust. Videre nordover lå det en småbåthavn (flytebrygge). Snekketiet hadde ingen tegn til ødeleggelser på siden mot skredet, men var kraftig ødelagt på vestsiden. Øst for dette bygget nådde vannet litt over terrenghøyde. En person i snekkerverkstedet ble lettere skadet da han ble skylt over ende og slept bortover 7-8

m. Han anslo vannhøyden til å være mellom 0.5 og 1 m inne i bygget. Alle naust nordøst for snekkeriet ble totalt ødelagt. Skadene til snekkeriet ser også ut til å være påført av kaia som lå utenfor snekkeriet og som ble skylt i land ved naustene. Flytebyggene var revet løs og var delvis skylt på land ved butikken (enden av veien nordøst for markering 2). Det var også en person i andre etasje over butikken i Sagvika som opplevde at huset fikk vann rundt seg på alle kanter under oppskyllingen. Huset hadde ingen synlige tegn til skader (anslått strømningsdybde 0-1 m). Høyeste oppskylling i Sagvika nådde over kote 8 (målt fra NN1954), dvs. totalt ca. 10 m over vannivå i fjorden på aktuelt tidspunkt.

3.2.3 *Kvalvikskjæret*

Her lå i alt 7 naust. Alle ble totalt ødelagt, bortsett fra det ene som stod lengst mot nordvest (som ble delvis ødelagt). Ett av naustene ble skylt over odden (mot nordvest) og ut i fjorden på andre siden. I tillegg var det ytterligere et naust som ble skylt på sjøen østover. Ved det naustet som lå lengst ut mot spissen av skjæret er det observert en stor stein på ca. 1 tonn som er skylt opp av bølgene (steinen har skjell på seg som kun lever på dypere vann). Oppskyllingen er anslått til opp mot 5 m over NN1954 (6-7 m over havnivået på det aktuelle tidspunktet). Et øyenvitne forteller videre at den ytterste delen av Kvalvikskjæret (lengst nord) ble blankskurt i det bølgene dro over svaberget, og steiner som ble dratt med vannmassene ripet opp berget som om det var katter som kvasset klørne.

3.2.4 *Mot Djupvika*

Mellom skredet og markering 4 i Figur 1 kunne det ikke sees at vannet hadde nådd høyere enn normalt høyvann. Det vil si at høyden her kunne være på opp mot 3 m (forskjell på flo og fjøre). Innerst på moloen (se liten pil ved punkt 4) gikk vannet akkurat over, dvs. ca. 3.5 m over NN1954 (og ca. 5 m over havnivået på det aktuelle tidspunktet).

3.2.5 *Saltbuodden og Djupvika*

Her ligger det sju rorbuer, med tilhørende kaianlegg mot sør-øst (i Djupvika). Fire av kaiene/bryggene ble ødelagt. Flere båter fikk også skader og minst en båt sank etter skadene den ble påført. Øyenvitner beskriver at det kom en bølge på 4-5 m med avtagende høyde inn mot land og ut mot fjorden, og at det tok ca. 1 min («vanskelig å anslå») før det roer seg ned og vannet begynner å strømme ut i strie strømmer. Et øyenvitne observerte at en båt som lå til kai var i kontakt med bunnen når vannivået var på det laveste. Dypet er anslått til å være ca. 6 m (fra NN1954) der båten lå, det vil si at vannivået kunne vært 4.5 m lavere enn havnivået på det aktuelle tidspunktet. Et øyenvitne anslår at vannet i vika kom tilbake til tilnærmet opprinnelig nivå i løpet av ytterligere et minutt etter at vannet begynte å strømme ut. Under hendelsen opplever flere vitner voldsom lyd og store virvler i bukta («som Namsen i storflom»). Båter kastes rundt og kaianleggene rives i stykker (bygget i tre).

3.2.6 Nordvest for Kvalvikskjæret

Ved utløp av bekken lå restene av naust fra Kvalvikskjæret som var blitt skylt i land. Det var mye drivgods, og oppskyllingen her var begrenset (vurdert til å være ca. 1.5 m over NN1954).

4 Utløpsmodellering

Utløpsmodellering av skredmassene (dvs. fra initial brudd til avsetning av skredmassene på fjord bunnen) er utført for å øke forståelsen av skredets bevegelse og for å skape input til flodbølgesimuleringer. Alle simuleringene er utført vha. BING og beskrevet herunder.

4.1 Numeriske modell: BING

BING (Imran m.fl., 2001) er en kvasi-2D numerisk modell som ble utviklet for debris flows basert på Herschel–Bulkley (HB) reologi. Modellen er tidligere blitt brukt i flere NGI-prosjekter for beregning av bevegelsen til undersjøiske skred. Flere varianter av den opprinnelige modellen til Imran m.fl., (2001) ble utviklet i sammenheng med EU-prosjektet COSTA og simuleringen av Storegga-skredet i Ormen Lange-prosjektet (De Blasio mfl., 2003, 2004, 2005). Den opprinnelige versjonen av BING er også nylig blitt brukt for å simulere Rissa-skredet i 1978 (L'Heureux mfl., 2012) og undersjøiske skred utenfor Lofoten og Vesterålen (L'Heureux mfl. 2013). BING tar hensyn til oppdriftseffekter, noe som gjør at modellen også kan simulere undersjøiske skred. Det er likevel viktig å være klar over at BING-modellen ikke tar hensyn til viskøst drag, som er viktig for undersjøiske skred. Dermed kan BING overestimere hastigheten (De Blasio mfl., 2003) og at dette kan ha implikasjoner for bølgegenereringen (Løvholt et al. 2014).

HB reologimodellen er definert som:

$$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

hvor τ er skjærspenningen i skredet (kPa), τ_y er flytespenningen (eller skjærstyrken) i skredmaterialet (kPa), $\dot{\gamma}$ er skjærraten (dvs. hastighetsgradient normalt på glideflaten; s^{-1}) og n er en materialavhengig HB eksponent (-). Uttrykket gjelder kun dersom skjærspenningen overskrider flytespenningen ($\tau > \tau_y$). For lavere spenninger (dvs $\tau < \tau_y$) deformeres ikke skredet ($\dot{\gamma} = 0$). Parameteren K i ligning (1) er definert som:

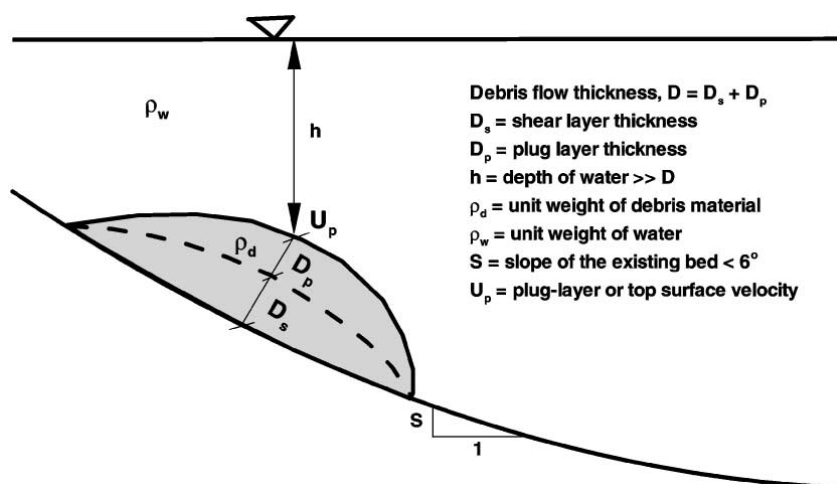
$$K = \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}_r^n} \quad (1)$$

hvor $\dot{\gamma}_r^n$ er en referanseskjærrate der det viskøse bidraget til skjærspenningen er like stort som flytespenningen τ_y . Referanseskjærraten er definert som:

$$\dot{\gamma}_r^n = \frac{\tau_y}{\mu_{HB}} \quad (1)$$

hvor μ_{HB} betegnes som HB-viskositeten. Bingham-reologi er et spesialtilfelle av HB-reologi med en lineær sammenheng mellom skjærraten og skjærspenningen (for skjærspenninger som overskrider skjærstyrken), dvs. $n = 1$.

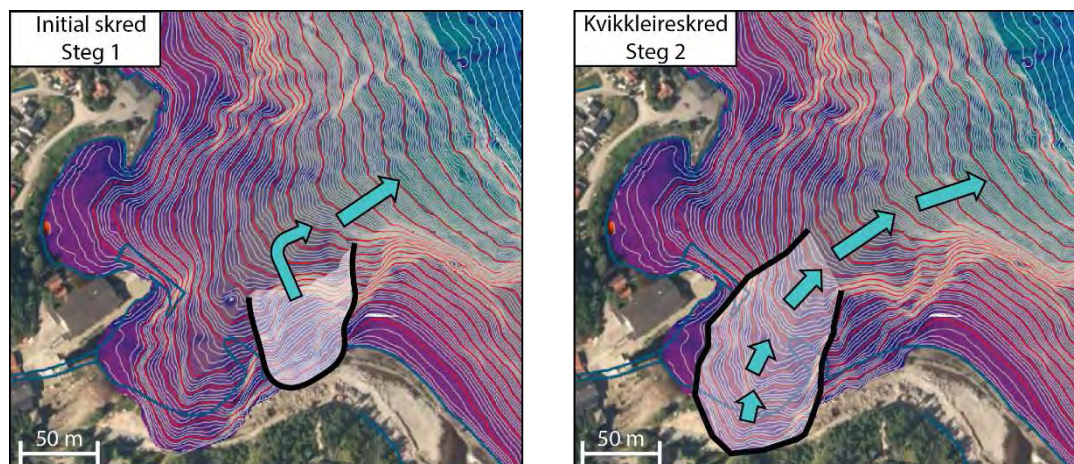
I den opprinnelige BING-versjonen som brukes her, antas det at lengdesnittet av skredet har parabolisk form fra start (Figur 3). Et skred beskrevet ved HB-reologi uten kohesjon og skjærspenninger på overflaten vil danne en pluggstrøm uten deformasjoner (der skjærspenningen er mindre enn skjærstyrken) over en skjærstrøm (Dette er skjematisk antydnet i Figur 3).



Figur 3: Skjematisk visning av (undersjøisk) skred av visko-plastisk materiale

4.2 Inngangsdata i BING

BING er brukt til å simulere 2 forskjellige scenarier i dette studiet. For det første scenariet antas at hele skredet løsnet samtidig (dvs. 400 000 m³). I det andre scenariet antas det at skredet foregår i to steg (dvs. initial-skredet – steg 1, og kvikkleireskredet – steg 2; se Figur 4 og Tabell 1). Dette scenariet er basert på den morfologiske tolkningen av sjøbunnen presentert i NGI (2014a).



Figur 4: Illustrasjon som viser en to-delning av skredet. Initial-skredet går først i steg 1 og kvikkleireskredet følger deretter i steg 2.

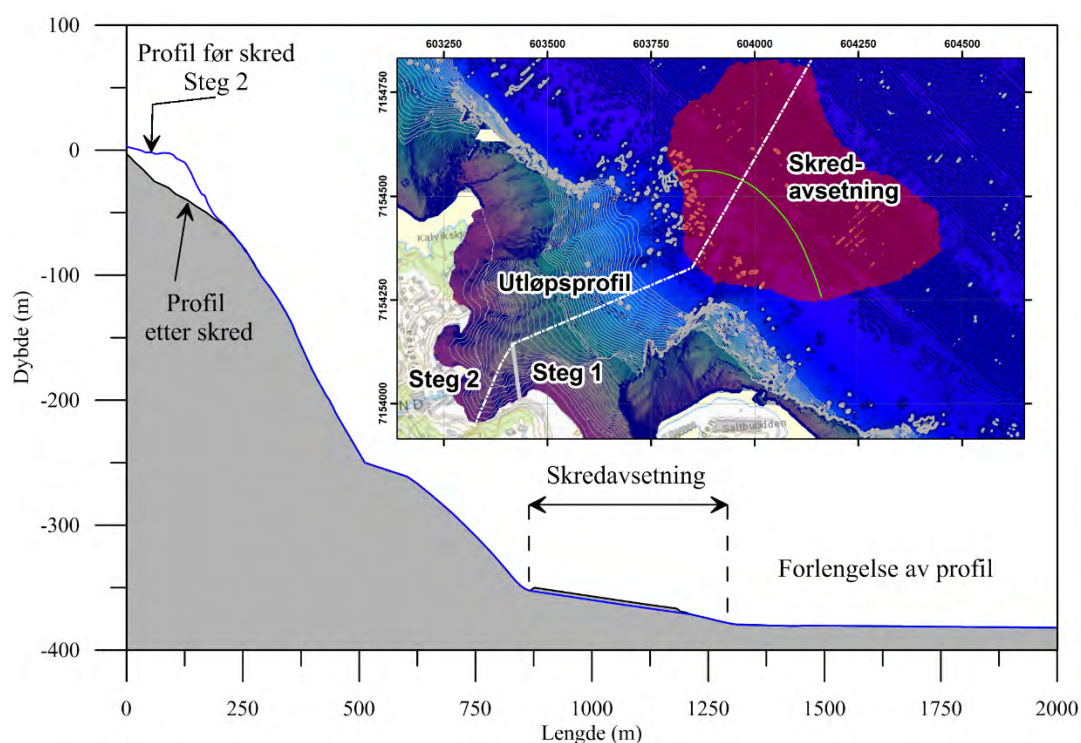
Inngangsdata til BING er den opprinnelige lengden og den maksimale tykkelsen av skredmassene (Tabell 1). I denne studien ble Bingham-reologien ($n = 1$) og Herschel–Bulkley-reologien med $n = 0,5$ (som gjenspeiler skjærtynnet leire) benyttet for skredene (Imran 2001). Skredmassenes tetthet ble satt til 1800 kg/m^3 i alle simuleringene.

Verdiene for τ_y og μ_{HB} ble justert for å gjenskape de observerte utløpsdistanse for alle skredscenarier (Tabell 2).

Tabell 1: Geometriske skredparametere. Det er kun den maksimale skredtykkelsen og den opprinnelige skredlengden som er direkte geometriske inngangsdata i BING i tillegg til baneprofilen.

Skred scenarier	Skreddimensjoner					
	Skred Areal (m^2)	Max skred-tykkelse (m)	Opprinnelig skredlengde (m)	Volum (m^3)	Utløpsdistanse (m)	Fall høyde (m)
Initial / Steg 1	8000	20	80	160 000	900	377
Kvikkleireskredet / Steg 2	12000	20	100	240 000	1300	380
Hele skredet	20000	20	200	400 000	1300	380

For simuleringene med BING ble baneprofiler beregnet mest mulig normalt på gradienten ved å kombinere digitale terrengmodeller før og etter skredet (Figur 5).



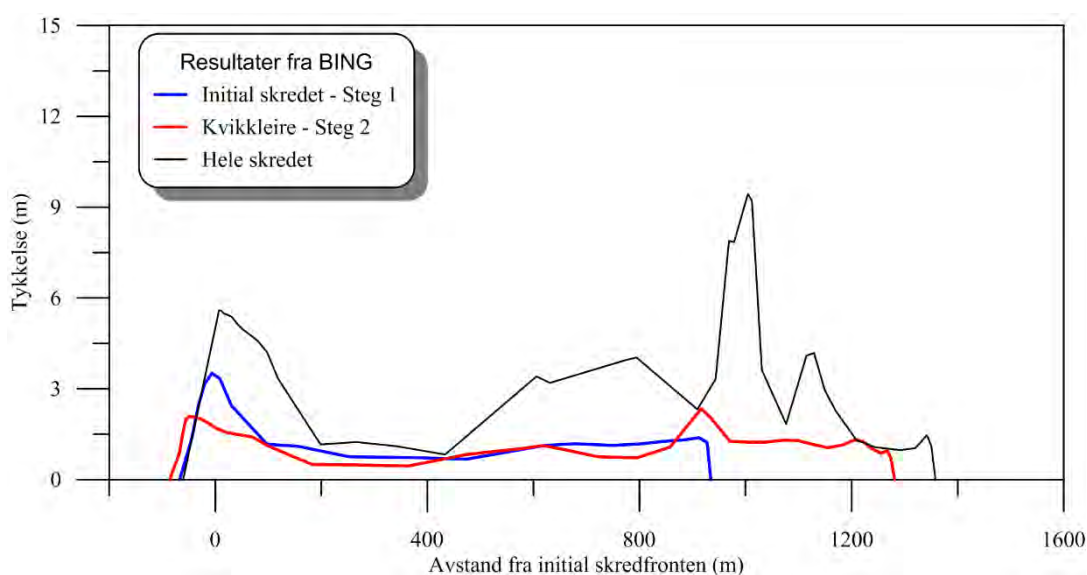
Figur 5: Baneprofil (før og etter skred) brukt som inngangsdata i BING for modellering av steg 2. Skredavsetningene vist på kartet kommer fra tolkning av seismiskrefleksjonsdata i NGI (2014a). Den grønne linjen på kartet viser lengste utstrekning for avsetningene til initial-skredet (steg 1).

Tabell 2: Reologiske parameterverdier som gjenspeiler de observerte utløpsdistanser ved bruk av BING.

Skred scenarier	Input i BING			Resultater i BING		
	τ_y (Pa)	$\dot{\gamma}_r^n$	μ_{HB} (Pa·s)	Utløpsdistanse (m)	Tykkelse – skredavsetning (m)	V_{max} (m/s)
Initial / steg 1	3500-5000	100	3,5-5,0	785-1130	1-2	36
Kvikkleire-skredet / steg 2	2000	100	2,0	1280	1-2	33
Hele skredet	6000	100	5,0	1358	1-10	39

4.3 Resultater

Først ble det gjort en simulering hvor hele skredet antas å løsne samtidig (se "Hele skredet" i Tabell 2). I dette tilfellet ble initiell maksimal sedimenttykkelse satt til 20 m mens skredlengden ble satt til 200 m (total volum ca. 400 000 m³). Resultatene viser at det er vanskelig å oppnå observert skredmorfologi og utløpsdistanse hvis hele volumet på 400 000 m³ løsner samtidig. Særlig tykkelsen av skredavsetningene blir feil i forhold til det som kan ses fra seismiske refleksjonsdata (NGI 2014, Figur 6). Derimot tilsier BING-simuleringene at skredet besto av to faser (dvs. initial skredet – steg 1 og kvikkleireskredet – steg 2).



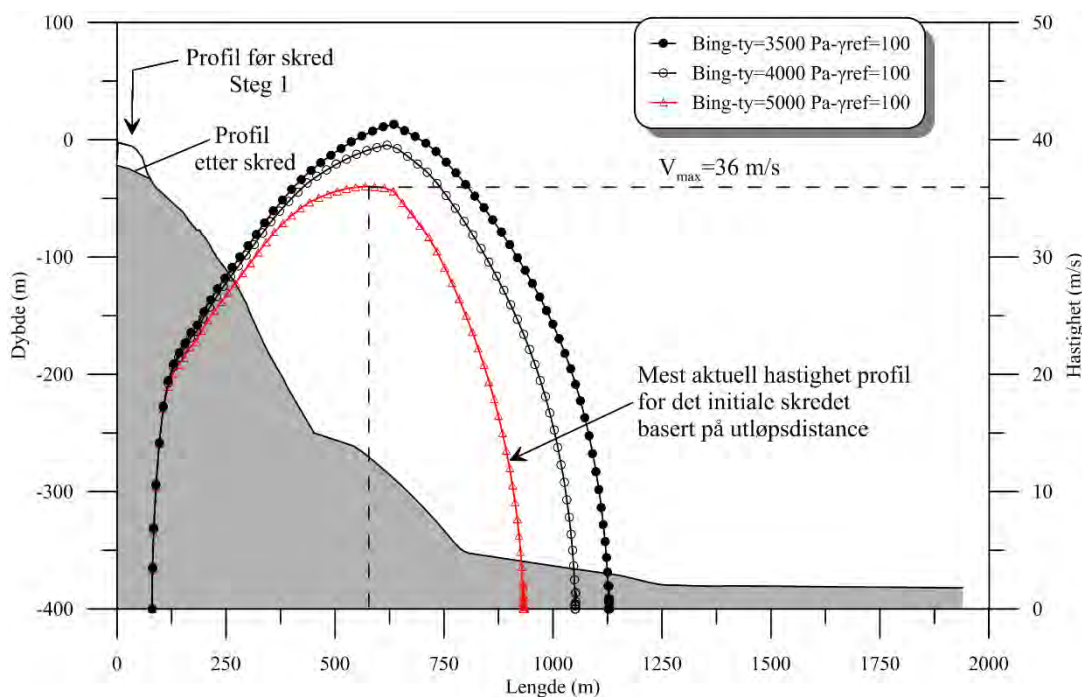
Figur 6: Lengdesnitt gjennom skredavsetning simulert i BING for: 1) Initial skred – Steg 1; 2) Kvikkleireskredet – Steg 2; og 3) Hele skredet.

Tolkning av refleksjonsseismiske profiler i NGI (2014a) viser at skredavsetningene fra Steg 1 har nådd opptil 900 m fra Sagvika og dette stemmer overens med BING modellering av initial skredet (blå linje i Figur 6). Seismiskedata presentert i NGI (2014a) viser at skredmaterialet fra Steg 2 strekker seg opptil 1300 m over sjøbunnen og at disse må ha løpt over de fra Steg 1. Verdiene for τ_y og μ_{HB} ble justert i flere steg til de gjenskapte utløpsdistanse for steg 1 og steg 2 (se Tabell 2). Til sammen er tykkelsen av skredavsetninger observert i felt på sjøbunnen i Namsfjorden 2-3 m (NGI, 2014). Dette samsvarer med BING resultatene som oppnås ved å summere modellert tykkelse fra Steg 1 og 2.

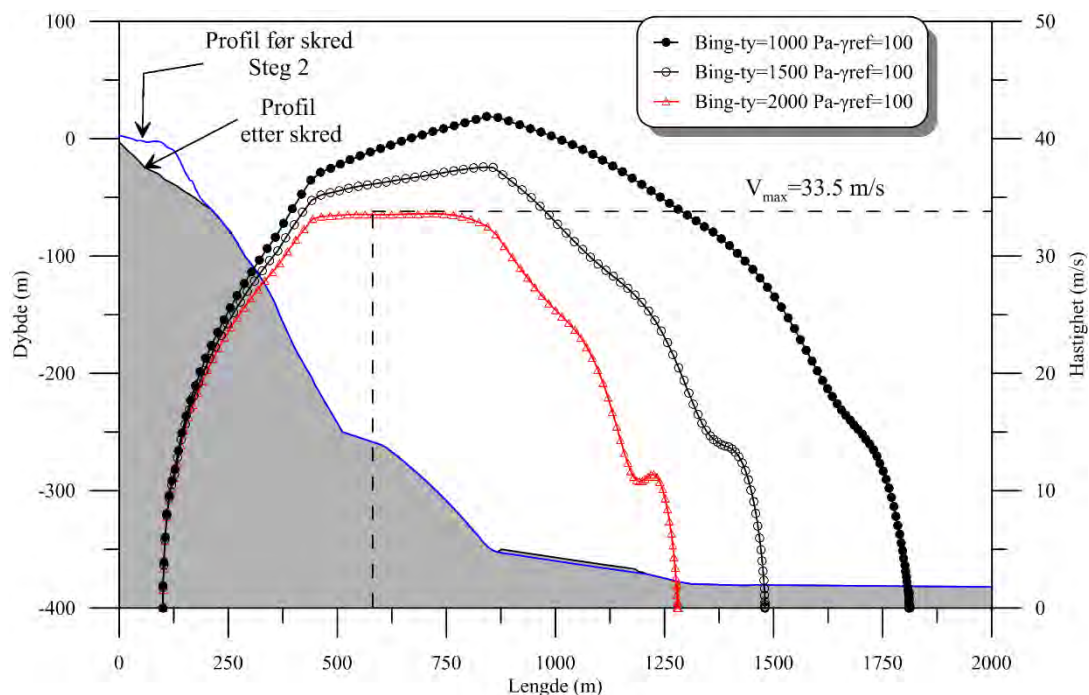
Den bratte skråningen i Sagvika og lengre ut mot Namsfjorden (ca. 30 °) gir skredmassene stor akselerasjon. I alle simuleringene akselererer skredmassene veldig raskt til maksimale verdier 33-40 m/s (Figur 7 og Figur 8). Retardasjonen begynner ca. 600 m utenfor Sagvika på 250 m vanddyb. Resultatene fra simuleringene viser at steg 1 (initial-skredet) sannsynligvis har hatt høyere maksimal hastighet enn steg 2 (Figur 7 og Figur 8). Det er igjen viktig og nevne at BING sannsynligvis

overestimerer hastigheten av skredet med 20-25% pga modellen ikke tar hensyn til f. eks. viskøst drag (De Blasio mfl., 2003). I tillegg gir BING for høy startakselerasjon, siden skredet innledningsvis har stor tykkelse (drivkraft) og liten intern friksjon (bevegelsesmotstand).

For å oppnå en utløpsdistanse som stemmer med observasjonene for det initiale skredet (steg 1) er det nødvendig å bruke en yield-styrke (τ_y) rundt 5000 Pa. Denne verdien er høyere enn det som forventes for den sensitive leira i området og for en omrørt silt/sand. Den relativ høye verdien av τ_y brukt i BING kan forklares med at den representerer en gjennomsnittsverdi for sedimentene. Dette kan også skyldes at BING antar 100 % omrøring i starten av skredhendelsen, men i virkeligheten vil denne variere. For steg nr. 2 oppnås den best tilpassede utløpsdistansen med $\tau_y = 2000$ Pa.



Figur 7: Hastighetsprofil i front av det antatte initialscredet (steg nr. 1). Den røde linja viser hastighetsprofilen som gir best tilpasning til observert utløpsdistanse.

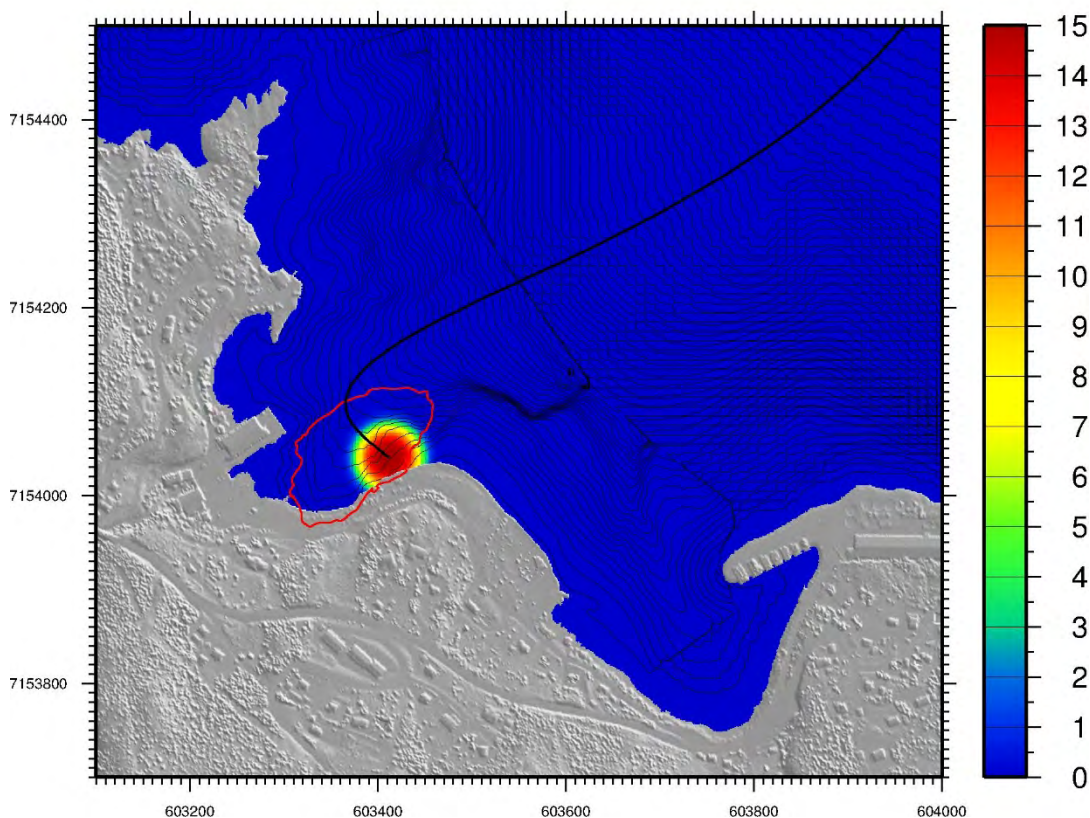


Figur 8: Hastighetsprofil i front av kvikkleireskred (steg nr. 2).
 Den røde linja viser det mest sannsynlige hastighetsprofilet som gir best tilpasning til observasjonene.

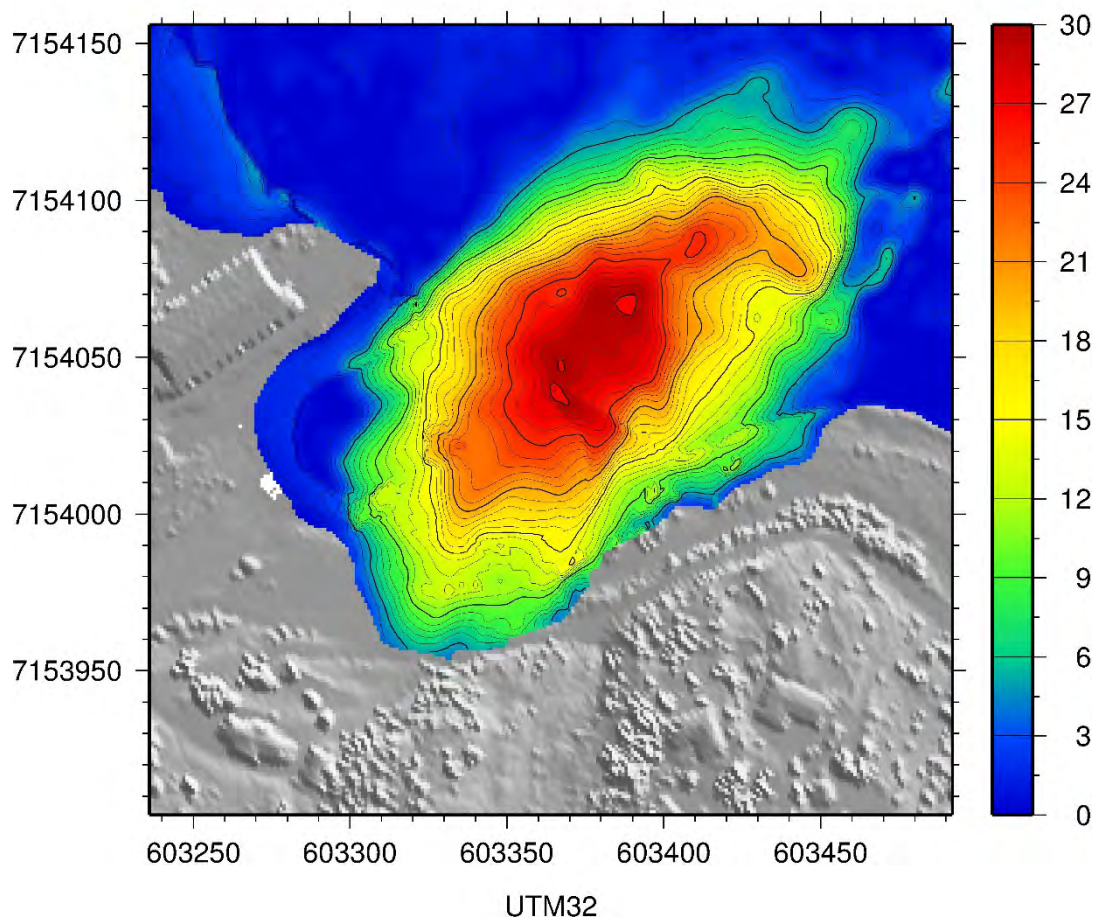
5 Flodbølgeberegninger

Ved hjelp av flodbølgeberegninger kan vi forstå bedre hvordan skredet har utviklet seg. Vi diskuterer her mulige forklaringer på hvordan bølgen kan ha blitt dannet, og sammenholder dette med registrerte observasjoner.

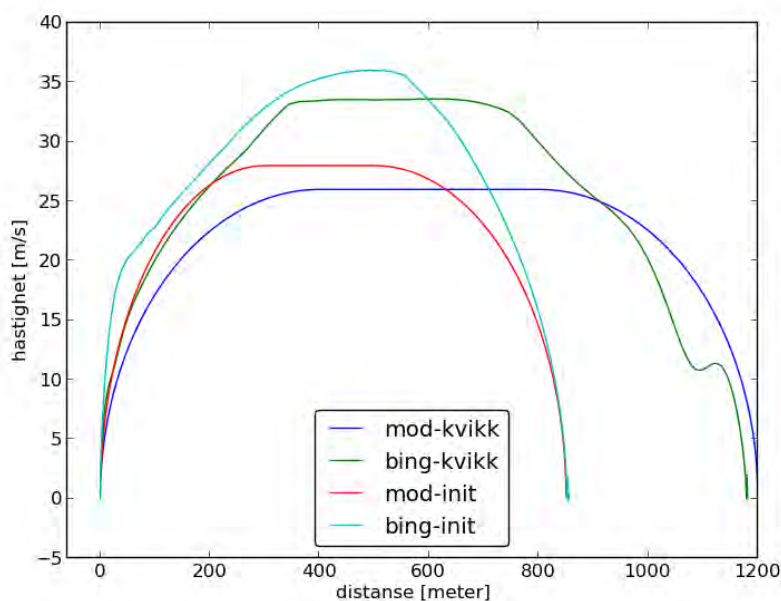
En flodbølge går grovt sett gjennom tre faser. Første fase er genereringen av bølgene (i dette tilfellet et skred som beveger seg langs fjordbunnen som er årsaken til bølgene), andre fase er bølgeutbredelsen, og tredje fase oppskylling innover tørt land. Disse tre fasene modelleres hver for seg ved hjelp av forskjellige modeller, med overføring av informasjon mellom hver fase.



Figur 9: Modellering av det initiale skredet, skredbane (svart linje) og omriss av massene som skled ut (rød linje).



Figur 10: Differansen mellom skanning av sjøbunnen før (2010) og etter (2014) viser skredmassene slik de lå før de skled ut. Totalt volum er ca. 400.000 m³.



Figur 11: Hastighetsforløpet for det initiale skredet (linje merket 'mod-init') og kvikkleireskredet ('mod-kvikk') som er brukt i flodbølgeberegningene sammenlignet med hastighetene fra BING (se utløpsmodelleringen over).

5.1 Inngangsdata for flodbølgeberegninger

Her beskrives hvordan informasjonen fra utløpsberegningene over blir tilpasset og gitt som inngangsdata for beregningene av flodbølgen. For å komme fram til hvordan skredforløpet har vært (se utløpsanalysene i kapittel 4), har vi også benyttet andre skredforløp i de numeriske bølgemodellene og sammenlignet resultatene med de registrerte oppskyllingshøydene. Skredforløpene tar utgangspunkt i analysene i kapittel 4, men er tilpasset for å oppnå samsvar med bølgeobservasjoner.

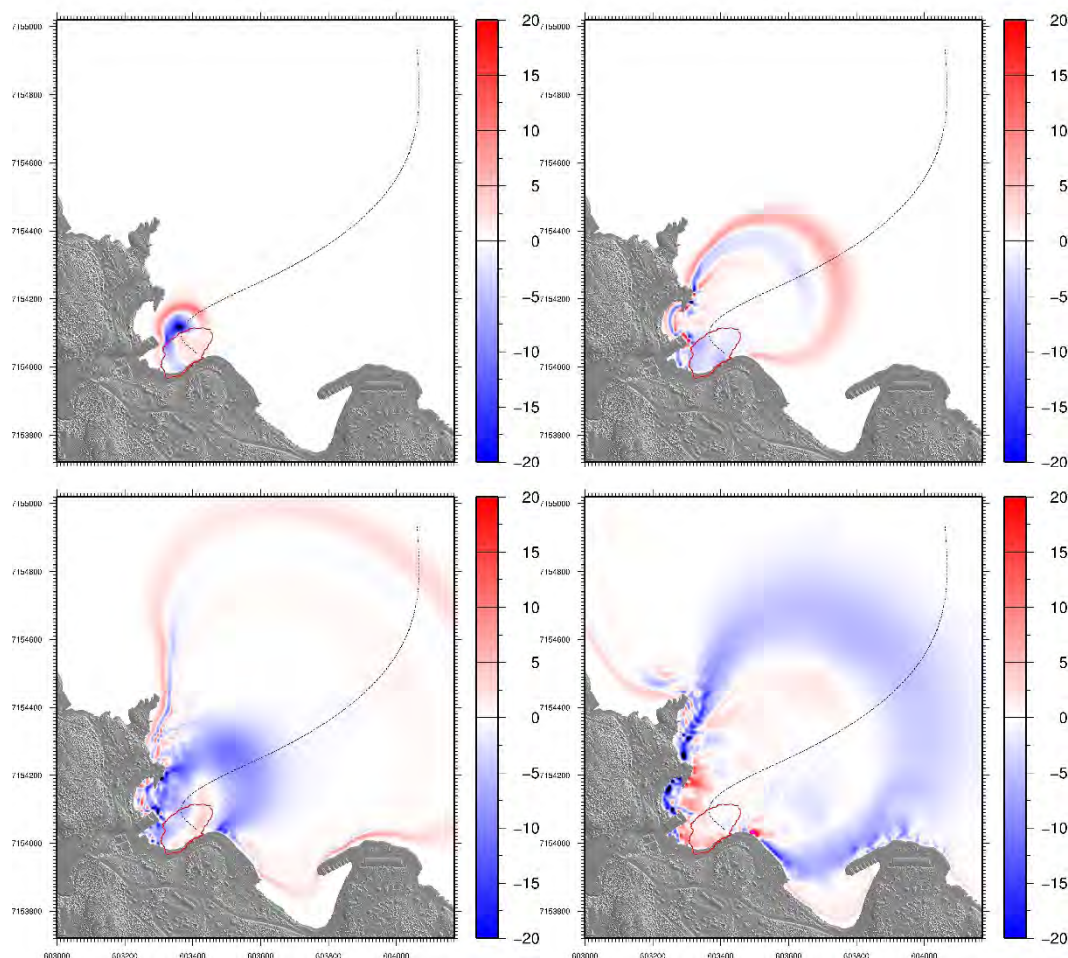
Best samsvar her oppnås ved å dele skredet i to deler og la det initiale skredet først bevege seg litt mot nord før det svinger mot NØ (følger terrenget), se Figur 4 og Figur 9 (dersom hele skredet går ut samtidig og forenklet beveger seg langs en rett linje mot NØ vil vi få for liten oppskylling i Sagvika). Videre ble det observert sterk tilbaketrekning av vannet i Djupvika. I modelleringen er det ikke mulig å gjenskape dette uten at en større del av skredet (kvikkleireskredet) går ut samlet, og at bakre del av dette strekkes utover i skredforløpet. Skredmassene slik de lå før utglidning er vist i Figur 10. For bølgemodelleringen beskrives de forskjellige delene av skredet ved hjelp av idealiserte former. Det initiale skredet er i våre beregninger formet som en gaussisk klokke med høyde 15 m, se Figur 9. Vi antar at skredet starter rett utenfor der vibrovalsen jobbet og s klir først nordover før det svinger mot NØ. I modelleringen beveger skredet seg uten å endre høyde eller form. Skredet antas derfor å gi noe for høye bølger et stykke ut i forløpet. Kvikkleireskredet følger i praksis nesten samme linje som det initiale skredet etter at det har svingt ut mot NØ

(forskjellen er at kvikkleireskredet beveger seg hele tiden langs en rett linje). Hastighetsforløpet som er brukt for initial- og kvikkleireskredet er vist i Figur 11. Hastigheten fra BING er redusert med 20% og det er valgt en analytisk hastighetsprofil for å unngå den høye startakselerasjonen BING gir (ufysikalsk). Kvikkleireskredet er modellert som en boks (som følger terrenget), med lang glatt front og bakre del. Maksimal høyde er 20 m, og bakre del av skredet avtar fra 20 m ned til 0 m over en lengde på ca. 200 m.

Det hersker usikkerhet rundt hvor lang en eventuell tidsforsinkelse mellom utløsningen av steg 1 og steg 2 kan ha vært. I modelleringen antar vi at kvikkleireskredet løsner samtidig som det initiale skredet svinger ut mot NØ etter ca. 10 s, slik at kvikkleireskredet i praksis blir modellert som en boks med avtagende høyde i bakkant slik at initial- og kvikkleireskredet i praksis henger sammen. Når et skred beveger seg utover i fjorden blir det en oppstuvning av vann over fronten av skredet og en bølgedal over bakre del. Mer oppstuvning for høyere front og høye akselerasjon. Om det er større tidsforsinkelse mellom steg 1 og steg 2 vil den maksimale oppskyllingen sannsynligvis ikke påvirkes i noe særlig grad siden kvikkleireskredet sannsynligvis ikke genererer bølger like effektivt som det initiale skredet (som har en brattere front, har en større akselerasjon, og beveger seg raskere). I modelleringen har vi altså kombinert de to stegene på følgende måte: 1) I de første 10 s er det bare det initiale skredet som beveger seg. 2) Etter 10 s slippes kvikkleireskredet løs. Herfra bidrar nå kun effekten av fronten av det initiale skredet og bakre del av kvikkleireskredet til bølgegenereringen. På denne måten får vi en front som er relativt bratt og som genererer krappere bølger og en påfølgende gradvis avtagende bakre del som genererer en lengre bølgedal. I flodbølgeberegningene er volumet av initial-skredet ca. 50.000 m³ og kvikkleireskredet ca. 350.000 m³.

5.2 *Bølgeutbredelse*

Videre benyttes resultatene fra skredmodelleringen som input til bølgemodellen GloBouss (se Løvholt m.fl., 2010 og Pedersen og Løvholt, 2008). Denne modellen beregner bølgene i fjorden under og etter generering, men tillater ikke vannet å strømme inn over land (sees ved at bølgene stoppes av en tilsynelatende vertikal vegg på strandlinja). I Figur 12 vises overflatehevning for denne delen av modelleringen. Etter 20 s ser vi at bølgene som går sør-østover har høyde ca. 5 m. Dette stemmer bra med øyenvitnebeskrivelsen over. Etter 40 s ser vi at en lengre bølgedal med dybde 6-10 m er på vei inn i Djupvika. Dette stemmer også bra med øyenvitnebeskrivelsen beskrevet over hvor det ble anslått at etter at de første bølgene kom inn i Djupvika gikk det ca. 1 min til vannet ble trukket ut, og vannivået ble opptil 5-6 meter lavere det neste minuttet. Oppløsningen til gitteret i modellen er 8 m.



Figur 12: Bølgeutbredelsen etter 10 s (fra øverst til venstre), 20 s, 30 s, og 40 s. Legg merke til den lange bølgedalen som er på vei inn mot Djupvika i figuren nederst til høyre (40 s). Skredbanen for det initiale skredet er stiplet i svart og skredomrisset er lagt inn med rød linje.

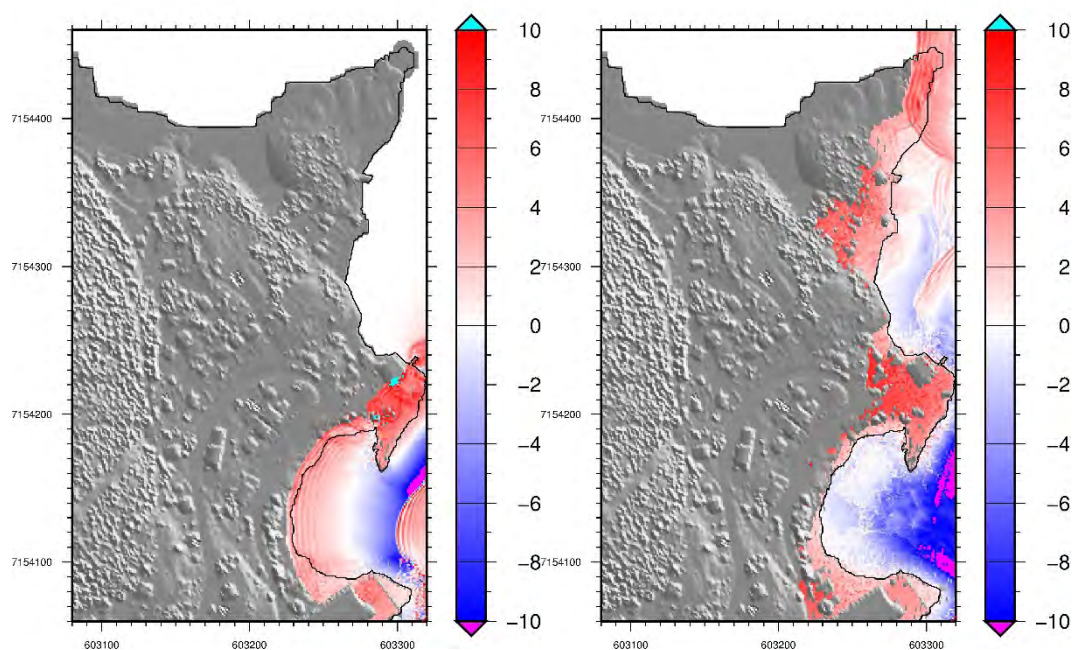
5.3 Oppskylling

For å beregne oppskyllingen innover tørt land, bruker vi MOST modellen (Titov og Gonzalez 1997). Denne modellen kan beregne bølger i grunne områder nært strandlinjen og hvordan vannmassene beveger seg videre innover tørt land. I vårt tilfelle har vi brukt et gitter som har en romlig oppløsning på 1 m. MOST leser data fra bølgemodellen GloBouss som er beskrevet i forrige avsnitt. På denne måten brukes løsningen fra GloBouss til å foreskrive innkommende bølger (bølgehøyde og partikkelhastighet) over rendene til beregningsområdet i MOST modellen. MOST beregner bølgene på tre forskjellige nivåer hvor oppløsningen vanligvis økes for hvert nivå samtidig som området som dekkes på hvert nivå blir mindre og mindre. Utfordringene i modelleringen er den korte avstanden fra skredområdet til oppskyllingen, siden beregningsområdet for MOST må være utenfor skredområdet. Dette blir løst ved å legge beregningsområdet for MOST så tett inn til skredet som

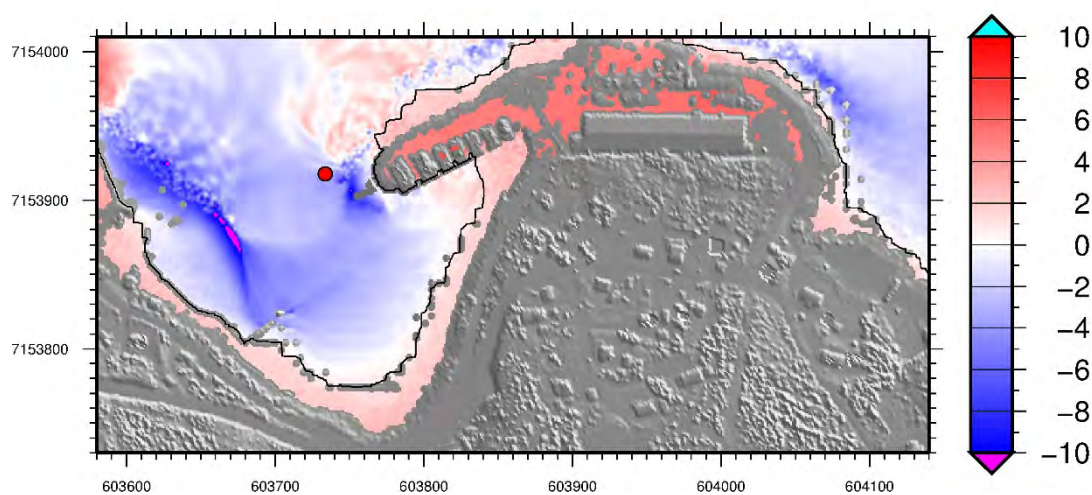
mulig, og å bruke tre identiske gitter med 1 m gitteravstand. Dette er mulig siden oppløsningen for bølgemodellen er på 8 m og spranget over til 1 m derfor ikke blir for stort. I Figur 13 vises et øyeblikksbilde av oppskyllingen fra Sagvika og nordover etter henholdsvis 15 s og 30 s. Etter ca. 15 s er nærmer oppskyllingen seg maksimal høyde i nordlige del av Sagvika. Etter 30 s beveger vannet seg over odden sør for Kvalvikskjæret. I Figur 14 er et tilsvarende øyeblikksbilde av bølgedalen som er på vei inn i Djupvika (48 s etter skredutløsningen). En tidshistorie av overflatehevingen i Djupvika er vist i Figur 15. Den dypeste delen av bølgedalen passerer her den ytre delen av brygga ved Saltbuodden. I Figur 16 og Figur 17 sammenlignes oppskyllingslinjer og maksimale oppskyllingshøyder med det som er registrert under befaringen.

Modelleringen gir bra samsvar for den maksimale oppskyllingen i Sagvika (punkt 2 i Figur 1), ved butikken derimot (mellom punkt 2 og punkt 3 i Figur 1) gir modelleringen for høye verdier. Selv om den grunnleggende skredbevegelse er ivaretatt, kan det se ut som detaljerte bevegelser, spesielt nær Sagvika, ikke er fanget opp av modellen. Oppskyllingen stemmer bra for området videre nord for butikken, se sammenligning av oppskyllingslinjer i Figur 16 (fargede punkter er registrert oppskyllingslinje og heltrukken svart linje er modellert oppskyllingslinje). Det er også bra samsvar vestover i Djupvika/ved Saltbuodden hvor oppskyllingen i modellene ligger 0.5-1 m over det som var registret, det vil si et avvik på mindre enn ca. 20 %.

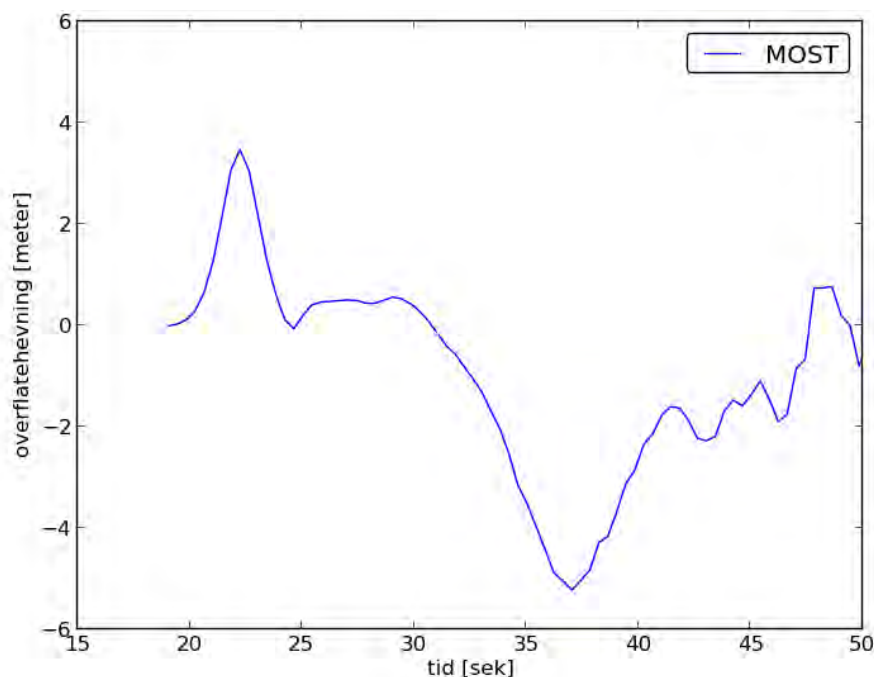
Etter at det initiale skredet er løst ut, løsnet kvikkleireskredet på grunn av avlastning i fronten. Modelleringen viser at den observerte uttrekkingen av vannet i Djupvika kan forklares ved hjelp av et sammenhengende kvikkleireskred. Skredet kan likevel ha vært retrogressivt, men i så fall med kort tidsforsinkelse mellom hver avskalling slik at skredet etter omrøring henger sammen. Det er godt samsvar mellom det som er modellert og det som ble registrert under hendelsen når det gjelder bølgedalen inn mot Djupvika.



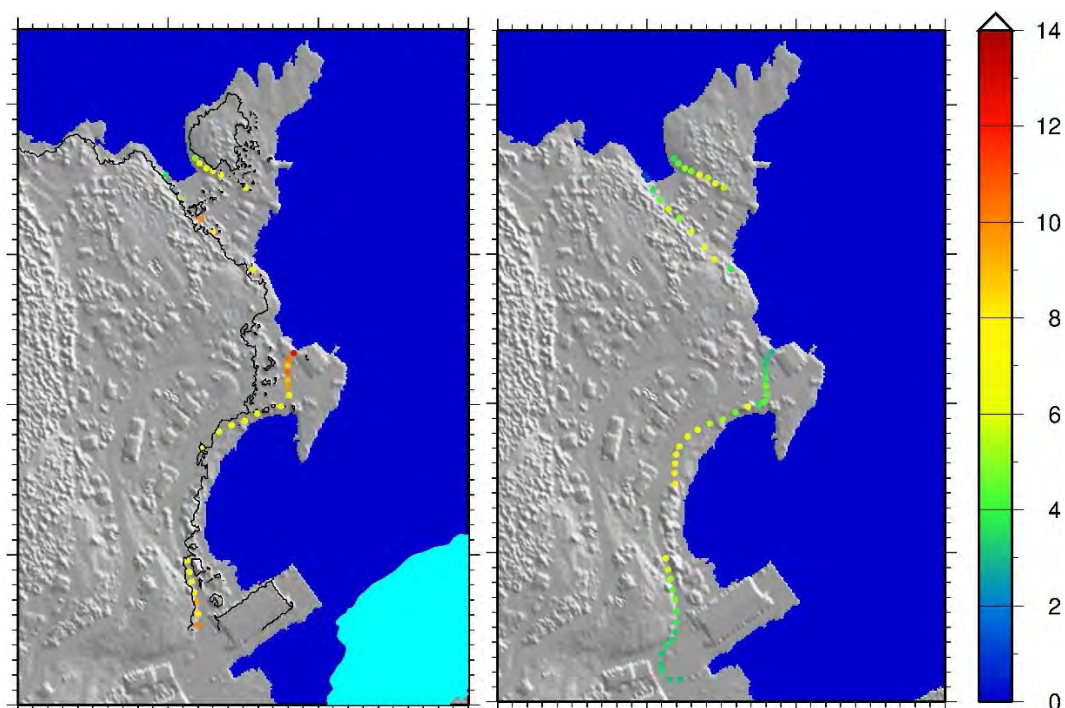
Figur 13: Øyeblikksbilde av vannoverflaten vest for skredområdet etter 15 s (venstre delfigur) og 30 s.



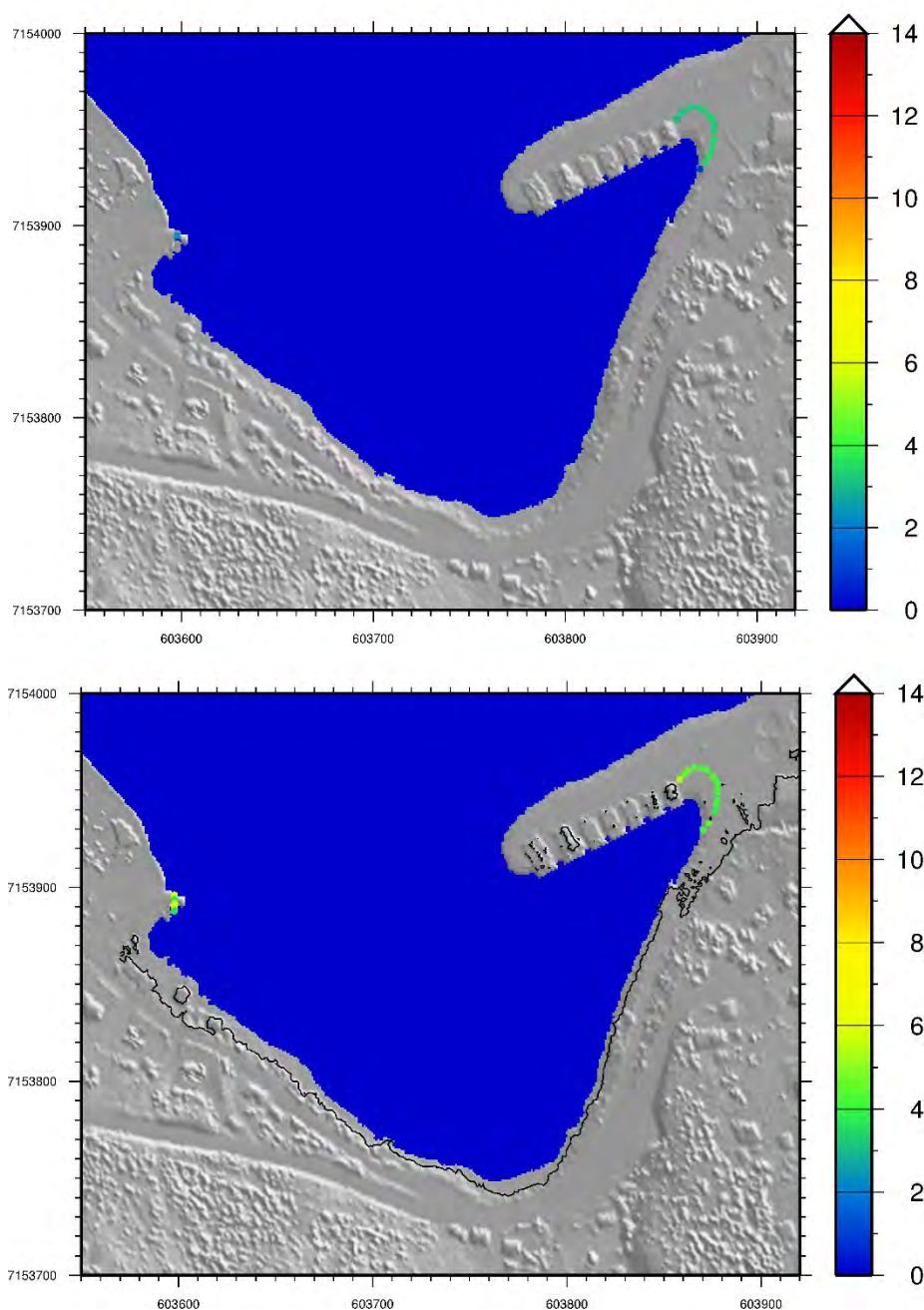
Figur 14: Øyeblikksbilde av vannoverflaten i Djupvika etter 48 s. Bølgedalen som er generert av kvikkleireskredet er på tur inn. Rødt punkt viser hvor tidsserien fra Figur 15 er målt.



Figur 15: Tidsserie av overflateheving i Djupvika, fra oppskyllingsmodellen. Lokaliseringen er vist i Figur 14.



Figur 16: Modellert oppskylling for Sagvika og nor dover (venstre figur). Oppskyllingslinje i modelleringen er trukket med en svart linje, mens maksimalt vannnivå langs samme punkter som oppskyllingslinjen registrert rett etter hendelsen (høyre figur) vises i de fargede punktene/linjer. Fargen i begge delfigurene viser høyde i meter over NN1954.



Figur 17: Registrert (øverst) og modellert oppskylling i Djupvika. Modellerte oppskyllingshøyder ligger 0.5 til 1 m over registrerte verdier. Ved Saltbuodden skyller bølgen inn over hele området, mens det kun var registrert vann på land øst for rekke med brygger/rorbuer. Se Figur 16 for forklaring.

6 Oppsummering

Fra flodbølgeberegningene er det gjort to viktige funn. For det første må sannsynligvis deler av skredet ha beveget mot nord før det svinger ut i fjorden mot NØ. En slik skredbane kan virke nødvendig for å gi samsvar for området med høyeste oppskylling nord i Sagvika uten samtidig å få for stor oppskylling for eksempel lenger nord mot Kvalvikskjæret. Modelleringen viser videre at den observerte uttrekkingen av vannet i Djupvika kan forklares ved hjelp av et sammenhengende kvikkleireskred, det vil si at det omfatter hele eller store deler av skredmassen og utløses mer eller mindre samtidig. Ut fra modelleringen kan skredforløpet være sammensatt av flere enkelthendelser (i tillegg til de to elementene nevnt over), men det er usikkert om disse er utløst tilnærmet samtidig eller om de har en større tidsforsinkelse mellom seg. I denne sammenheng er en hypotese at et eventuelt initialskred løsnet først, etterfulgt av et større kvikkleireskred i etterkant.

For området nord for skredet samsvarer modellert og registrert oppskyllingslinje meget bra, bortsett fra området ved butikken. Her overestimerer modellen bølgene. Oppskyllingen i Djupvika samsvarer også veldig bra, med ca. 20% avvik mellom modellerte og registrerte oppskyllingsverdier. Det ble observert 4-5 m lavere vann etter første bølgetopp inne i Djupvika. Dette ble anslått til å vare ca. 1 min til vannet var på tilnærmet normalt nivå igjen. Resultatene fra modelleringen viser godt samsvar med disse observasjonene.

Det er også verdt å merke seg at hendelsen skjedde på fjære sjø, tilnærmet laveste astronomiske tidevann (LAT). Ødeleggelsene ble på denne måten minimalisert med hensyn på tidevannet. Ved sterk flo ville bølgen kunne gått 3 m høyere i hele området.

7 Referanser

- De Blasio, F. V., Issler, D., Harbitz, C. B., Ilstad, T., Bryn, P., Lien, R., and Løvholt, F. (2003). Dynamics, velocity and run-out of the giant Storegga slide. *In: Locat, J., and Mienert, J. (eds.), Submarine Mass Movements and Their Consequences.* Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp. 223–230.
- De Blasio, F. V., Elverhøi, A., Issler, D., Harbitz, C. B., Bryn, P., and Lien, R. (2004). Flow models of natural debris flows originating from overconsolidated clay materials. *Mar. Geol.* 213, 439–455.
- De Blasio, F. V., Elverhøi, A., Issler, D., Harbitz, C. B., Bryn, P., and Lien, R. (2005). On the dynamics of subaqueous clay-rich gravity mass flows—the giant Storegga slide, Norway. *Marine Petrol. Geol.* 22, 179–186.
- Imran, J., Harff, P., and Parker, G. (2001). A numerical model of submarine debris flow with graphical user interface. *Comp. Geosci.* 274, 717–729.
- L'Heureux, J.S., Vanneste, M., Rise, L., Brendryen, Forsberg, C.F., Nadim, F., O. Longva, S. Chand, H. Haflidason, Kvalstad, T.J. 2013. Stability, mobility and failure mechanism for landslides at the Upper Continental Slope off Vesterålen, Norway. *Marine Geology* 346: 192-207.

- L'Heureux, J.-S., Eilertsen, R. S., Glimstad, S., Issler, D., Solberg, I.-L., and Harbitz, C. B. 2012. The 1978 quick clay landslide at Rissa, mid-Norway: subaqueous morphology and tsunami simulations. *In: Y. Yamada et al. (eds.), Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research 31*, Springer Science+Business Media B.V., pp. 507–516.
- Løvholt F., Pedersen G., og Glimsdal S. (2010). Coupling of dispersive tsunami propagation and shallow water coastal response, *Open Oceanography Journal, Caribbean Waves Special Issue, Vol 4*, 71-82, doi: 10.2174/1874252101004020071, available online from <http://www.bentham.org/open/tooceaj/openaccess2.htm>
- Løvholt, Finn; Harbitz, Carl Bonnevie; Vanneste, Maarten; De Blasio, Fabio V; Urgeles, Roger; Iglesias, Olaia; Canals, Miquel; Lastras, Galderic; Pedersen, Geir Kleivstul og Glimsdal, Sylfest (2014). Modeling Potential Tsunami Generation by the BIG'95 Landslide, *In S. Krastel; J.H. Behrmann; D. Völker; Michael Stipp; C. Berndt; R. Urgeles; J. Chaytor; K. Huhn; M. Strasser & Carl Bonnevie Harbitz (ed.), Submarine Mass Movements and Their Consequences: 6th International Symposium. Springer. ISBN 978-3-319-00971-1. VII. s 507 – 515*
- NGI (2014a) NGI teknisk notat 20140347-01-TN.
- NGI (2014b) NGI teknisk notat 20140347-03-TN.
- Pedersen, G. og Løvholt, F. (2008). Documentation of a global Boussinesq solver, Preprint Series in Applied Mathematics 1, Dept. of Mathematics, University of Oslo, Norway,
URL: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-27775>
- Titov, V.V. og Gonzalez, F.I. (1997). Implementation and testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) model. *NOAA. Technical Memorandum ERL PMEL-112*, 11 pp



Dokumentnr.: 20140347-02-TN
Dato: 2014-12-04
Rev.nr.: 0
Vedlegg A, side 1

Vedlegg A - Foto fra befaringen



Figur 1: Bilde av Sagvika mot NØ fra før hendelsen (tatt fra Google).



Figur 2: Oversikt over skredområdet og østre del av Sagvika. Oppskyllingen på den flate plassen utenfor snekkeriet kan lett sees foran maskinene i nedre del av bildet (mørk grus).



Figur 3: Skredområdet sett mot øst. Vannlekasje kan sees som is på veien.



Figur 4: Skredkanten sett mot vest. Snekkeriet til høyre. I bruddkanten kan vanntilførselen til settefiskanelgget sees (ved rødt rør).



Figur 5: Pumpehus som kan se ut som den østlige begrensningen av skredkanten. Bildet tatt mot nord



Figur 6: Ødelagte naust vest for snekkeriet.



Figur 7: Ved snekkeriet i Sagvika. Det var stort sett tydelig å se hvor det har vært vann og ikke. På plassen utenfor snekkeriet videre ned veien har det vært vått men ikke på hele plassen. Det kunne se ut som om det var begrenset med vann som skylte opp fra østsiden av snekkeriet.



Figur 8: Sagvika med snekkeriet (blått bygg), ødelagte naust, og flytebryggene til småbåthavna som er avsatt på land. Bildet tatt fra butikken mot sørøst.



Figur 9: Odden utenfor butikken nord i Sagvika. Legg merke til at bordet lengst til venstre og søppelkasse står. Må ha vært begrenset strømningsdyp der. Bildet er tatt mot nord.



Figur 10: Ødelagte naust ved Kvalvikskjæret NV for Sagvika.



Figur 11: Tang i trærne på Kvalvikskjæret. Naust i bakgrunnen er delvis dratt ut i sjøen. Det var ved dette naustet det var observert en ett tonn tung stein som flodbølgen hadde dratt med seg opp på grunnere vann.



Figur 12: Kvalvikskjæret. I forgrunnen ser man hvor disse naustene tidligere stod. Et naust som stod i mellom disse tre, ble skjøvet videre over odden og ut i fjorden på andre siden.



Figur 13: Mellom skredet (pumpehus sees i bakgrunnen) og Djupvika, bildet tatt mot Kvalvikskjæret. Ingen tegn til oppskylling (d.v.s. <math>< 3\text{ m}</math>).



Figur 14: Vann slo så vidt over molo i Djupvika (punkt 4), rorbuene og settefiskanlegget sees i bakgrunnen. Selve vika ligger inn til høyre i bildet.



Figur 15: Denne båten lå 5-6 m dypere enn den gjør på dette bildet.



Figur 16: Rorbuene ved Saltbuodden hvor fire av bryggene ble totalt ødelagt. Kai i betong som ligger på motsatt side av rekken av rorbuer sees helt i venstre bildekant.



Figur 17: Oppskylning innerst, lengst øst på Saltbuodden. Rorbuer/kaier ligger til venstre. Snekkeriet (sees så vidt til høyre for nærmeste rorbu, blått bygg), butikken (bygg lengst til høyre ned mot fjorden) og Kvalvikskjæret (videre til høyre) sees i bakgrunnen i midten av bildet.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information						
Dokumenttittel/Document title Utløp og flodbølge			Dokumentnr./Document No. 20140347-02-TN			
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 2014-12-04		
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0 /		
Oppdragsgiver/Client NIFS NN-6.7.1						
Emneord/Keywords Skred, kvikkleire, flodbølge, rystelser, komprimering, oppfylling						
Stedfesting/Geographical information						
Land, fylke/Country, County Norge, Nord - Trøndelag				Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality Namdalseid				Feltnavn/Field name		
Sted/Location Nord – Statland				Sted/Location		
Kartblad/Map 1623-1 Jøssund				Felt, blokknr./Field, Block No		
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N7153850 E603732						
Dokumentkontroll/Document control						
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001						
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision		Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument		SGL 	CH 		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release			Dato/Date 4. desember 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager Sylfest Glimsdal 	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Sluppen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org.nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg.No. FS 32989

VEDLEGG C

Til: NIFS
v/: Einar Lyche
Kopi til:
Dato: 4. desember 2014
Rev. nr./ Rev. dato: 0
Dokumentnr.: 20140347-03-TN
Prosjekt: Utredning av teknisk årsak til skredet ved Nord – Statland
29.01.2014.
Utarbeidet av: Jörgen Johansson og Christian Madshus
Prosjektleder: Ragnar Moholdt
Kontrollert av: Christian Madshus

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Vurdering av innvirke av rystelser fra vibrokomprimering og sprengning på skråningsstabilitet

Innhold

1	Innledning	2
2	Metode og antakelser	2
	2.1 Beregning av rystelser i Comsol	3
3	Vurdering av antall lastsykler fra vibrovalsen	11
4	Syklisk styrke i et jordelement	12
5	Område i skråningen som går til syklisk brudd	13
6	Vibrasjoner fra sprengning	18
7	Sammendrag og konklusjoner	19
8	Referanser	20

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Skredet som gikk 29.01.2014 ved Nord - Statland i Namdalseid kommune har forårsaket store materielle og andre skader, men ingen alvorlige skader på mennesker eller tap av menneskeliv har oppstått. I Meld.St 15 (2011-2012) er det lagt opp til at det etableres en ordning for systematiske undersøkelser etter flom- og skredendelser av en viss størrelse.

NGI deltar i en granskningsgruppe sammen med representanter fra NTNU, NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Oppdraget utføres i regi av etatsprogrammet NIFS, "Naturfare – Infrastruktur – Flom – Skred", delprosjekt 6.

NVE ønsker på sikrest mulig grunnlag for å avklare bruddmekanismen og sannsynlig skredteknisk årsakssammenheng ved det inntrufne skredet. Herunder ønskes sannsynliggjort hvilke tekniske forutsetninger/omstendigheter som førte til bruddet. Usikkerhet og/eller tvil av betydning må belyses/kvantifiseres (om mulig).

Det er avtalt at NGI skal utarbeide notater med beregninger og vurderinger av følgende tema som delleveranser til arbeidsgruppa:

- Refleksjonsseismiske undersøkelser og morfologisk analyse
- Utløpsanalyser og modellering av flodbølge
- Rystelser fra vibrovalse
- Stabilitetsanalyse og effekt av sprøbrudd, inkl. parametertolkning

I området der skredet skjedde pågikk det utfylling av steinmasser, og komprimering av massene med en tung vibrovalse. Dagens komprimeringsarbeid var avsluttet ca. to timer før skredet gikk. Dette notatet omhandler utførte vurderinger av virkningen rystelser fra vibrovalsvibrovalsen kan ha hatt på skråningstabilitet og utløsning av skredet. Dynamiske analyser er utført som grunnlag for å vurdere utstrekningen av det område som kan forventes å være påvirket av rystelsene og hvor sterk påvirkningen kan ha vært.. Det påvirkete området gis en redusert styrke i statiske stabilitetsberegninger for å tallfeste hvor stor virkning rystelsene kan ha hatt på å redusere stabiliteten. Stabilitetsberegningene er beskrevet i teknisk notat 20140347-04-TN. Usikkerhet er kvantifisert ved å utføre sensitivitetsstudier for sentrale inngangsparametere.

I forbindelse med utbyggingsarbeidene i området ble det også utført bergsprengning. Disse arbeidene ble imidlertid avsluttet ca. ½ år før skredhendelsen. Notatet gir likevel en kortfattet vurdering av rystelsene fra disse sprengningene.

2 Metode og antakelser

For å vurdere virkningen av rystelser fra vibrovalsen på skråningstabiliteten, har vi først vurdert om de sykliske spenningene og tøyingene som rystelsene påfører massene kan lede til poretrykksoppbygging, syklisk nedbryting og brudd i løsmassene som inngikk i øvre del av skredet.

Det er etablert en beregningsmodell ved hjelp av Finite-Element programvaren ComsolMultiphysics. Her er den dynamiske lasten fra vibrovalsen modellert som en stripelast som hviler på et løsmasseprofil. Dette profilet er basert på data fra tilgjengelige geotekniske rapporter (se teknisk notat 20140347-04-TN og der i referanser). Med denne modellen beregner vi størrelsen på dynamiske (sykliske) spenninger og tøyninger i løsmassene. Disse spenningene og tøyningene er avhengig av geometri, lagdeling og jordparametere i profilet, av amplitude og frekvens av den dynamiske lasten fra vibrovalsen. Også hvor valsen befinner seg på fyllingen er av betydning for påkjenningene. Ved et samspill mellom lagtykkelser, dybde til berg, materialparametere for løsmassene vibrasjonsfrekvensen kan det oppstå resonanssvingninger i jordprofilet. Påkjenningen blir betydelig større for frekvenser hvor resonans oppstår. Dette er vist i modellen og vi har fokusert på disse frekvensene.

Vi har vurdert påkjenningene som rystelsene påfører løsmassene gjennom å sammenligne de syklisk påkjenningene med løsmassenes sykliske styrke. Den sykliske styrken til løsmassene er etablert på basis av NGI's erfaringer med lignende jordtyper og på informasjon som er tilgjengelig i litteraturen. Det aktuelle jordprofilet inneholder en hel del sagflis og lignende som er rester fra sagbruket som var i drift på stedet på 1800-tallet. Det finnes lite informasjon om effekten av sagflis på statisk og syklisk oppførsel av jord og vi har valgt å basere oss på egenskaper for løst lagret ordinær siltig sandjord som generelt er følsom for rystelser.

Resultatene av beregningene er presentert i form av soner i løsmasseprofilet som kan forventes å gå til brudd på grunn av de sykliske påkjenningene fra vibrovalsen. Disse sonene gis en sterkt redusert styrke (residualstyrke) i stabilitetsberegningene for å tallfeste hvor mye rystelsene reduserer stabiliteten .

Nedenfor følger en beskrivelse av de forskjellige stegene i beregningene

2.1 Beregning av rystelser i Comsol

2.1.1 Beregningsverktøy og modell

En to-dimensjonal beregningsmodell er etablert i programvaren Comsol Multiphysics (se Figur 2.4). Beregning av rystelsene er utført som frekvensdomeneanalyse.. Det innebærer at eksitasjon fra vibrovalsen og utbredelsen av rystelsene beregnes for én frekvens av gangen gjennom hele det aktuelle frekvensområdet. I beregningene er modulen ”Structural Mechanics” i Comsol brukt. Materialeegenskapene er antatt lineært elastiske, tilnærmet med en sekantmodul og en hysteressedemping. Inndata er C_p (utbredelseshastighet for p-bølger), C_s (utbredelseshastighet for skjærbølger), hysteressedemping og ρ (massetetthet) gitt for hver enkelt sone som beregningsprofilet er inndelt i. (Se figur 3.4). I leira, benyttes en såkalt U-P formulering i Comsol for å unngå kunstig høy stivhet, som kan inntre når tverrkontraksjonstallet ν er høyt, noe som er tilfelle i vannmettet jord ($\nu \approx 0.5$).

For å ta hensyn til reduksjonen av dynamiske spenninger og tøyninger på grunn av geometrisk spredning i tre dimensjoner er resultater fra den todimensjonale beregningsmodellen multiplisert med en faktor avhengig av avstanden fra vibrovalsen til hvert jordelement.

2.1.2 Geometri og Jordparametere

Geometrien og lagdeling i beregningsprofilen er basert på profil A-A definert i tegning 300 i teknisk notat 20140347-04-TN og vist i Figur 2.2. Steinfyllingen som var under komprimering er vist i blått og massutsiftede områder i beige i toppen av profilen. Foran dette (til venstre i Figur 2.2, ovenfor blå stiplet linje) er det en gammel fylling med diverse materialer som inneholder blant annet trematerialer. Øvrige materialer uten farge er løsmasser som er beskrevet i teknisk notat 20140347-04-TN.

Etter at beregningsmodellen var etablert ble det konkludert at profil C-C er det profilen som er mest kritisk mht statisk stabilitet. Grunnet begrenset tilgjengelig tid i prosjektet ble det valgt at fortsette med den dynamisk beregningsmodellen basert på profil A-A. Siden profil A-A er ganske lik profil C-C anser vi at resultater og vurderinger basert på profil A-A å være gyldige også for profil C-C.

Skjærbølgehastighet i utsiftede masser og i fyllmasser er basert på NGI's erfaring med lignende materialer. Skjærbølgehastigheten i det øverste 30 cm har redusert til 50%, med tilsvarende økning i dempningen for å modellere at vibrovalsen utsetter dette materialet for store dynamiske spenninger.

Skjærbølgehastighet og lagdeling i sand, silt og leirmassene er basert på tolkning av CPT data fra CPT-7. Tolkningen støtter seg også på CPT-2 og CPT-3. Plassering av CPT-boringene er vist i Figur 2.1.

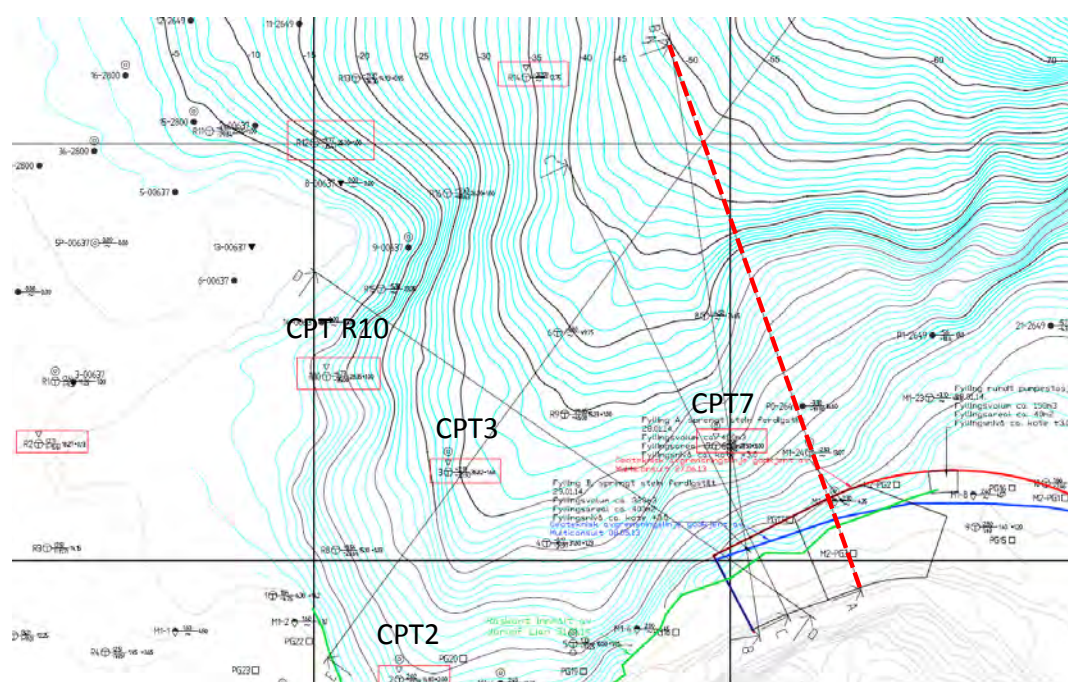
Forskjellige empiriske sammenhenger er blitt brukt for å etablere et skjærbølgehastighetsprofil. Profilen vi benytter i beregningene er basert på ligninger fra Robertson e.g. /8/, og er vist med rød linje i Figur 2.3. Vertikal akse viser dybde fra sjøbunn / bakkeoverflate. Dybde 0 tilsvarer kote -2 der CPT 7 starter. Figur 2.3 viser at skjærbølgehastigheten avtar med dybden og varierer fra over 200 m/s mellom kote -4 til -5 til omtrent 100 m/s ved kote -25.

Ut fra det CPT-baserte profilen har vi valgt å etablere et forenklet beregningsprofil med tre lag i sand, silt og leirmassene med skjærbølge hastigheter på henholdsvis 150, 120 og 100 m/s. Disse verdiene er vist med grønne linjer i Figur 2.3.

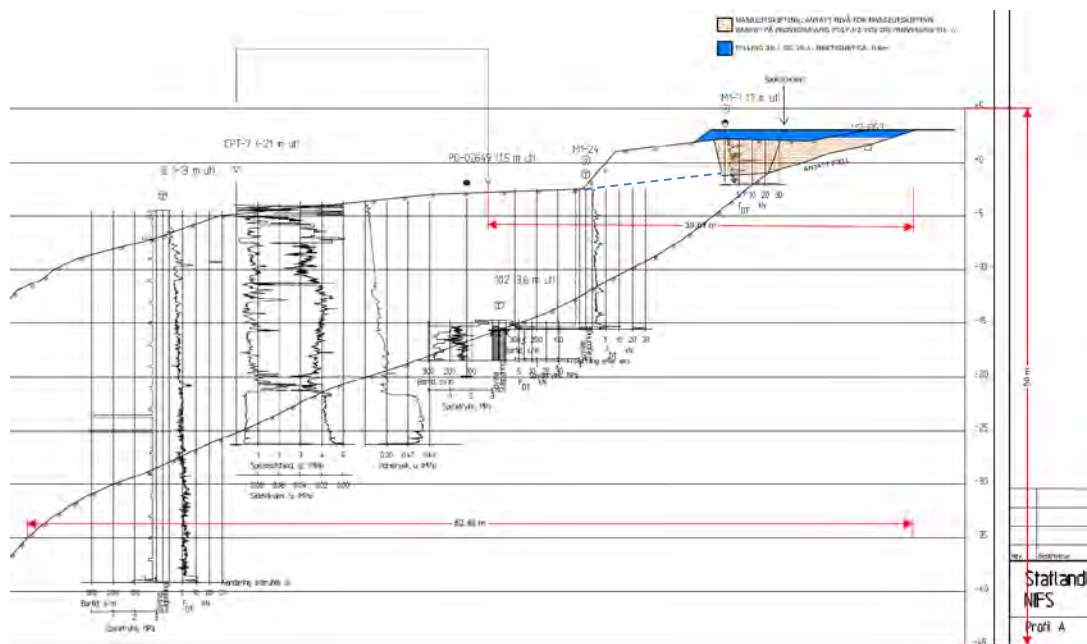
Figur 2.4 viser beregningsmodellen med resulterende lagdeling / soneinndeling. Skjærbølgehastigheter i meter per sekund er angitt med fargekode i de forskjellige sonene. (Modellen er speilvendt i forhold til tegningen av profil A-A)

I tillegg til skjærbølgehastigheten som er beskrevet i avsnittene ovenfor er trykkbølgehastigheten satt lik 1500 m/s under grunnvannsnivåen på kote 0. Dette innebærer at vi antar at disse massene er mettet. Dette fører til at Poisson's tall er svært nær 0.5. Ovenfor grunnvannsnivået er det blitt bruk Poisson's tall på noe over 0.3 i masseutskiftede materialer og nær 0.5 i det øvre laget med fyllmasse. Materialparametere er sammenstilt i Tabell 2.1

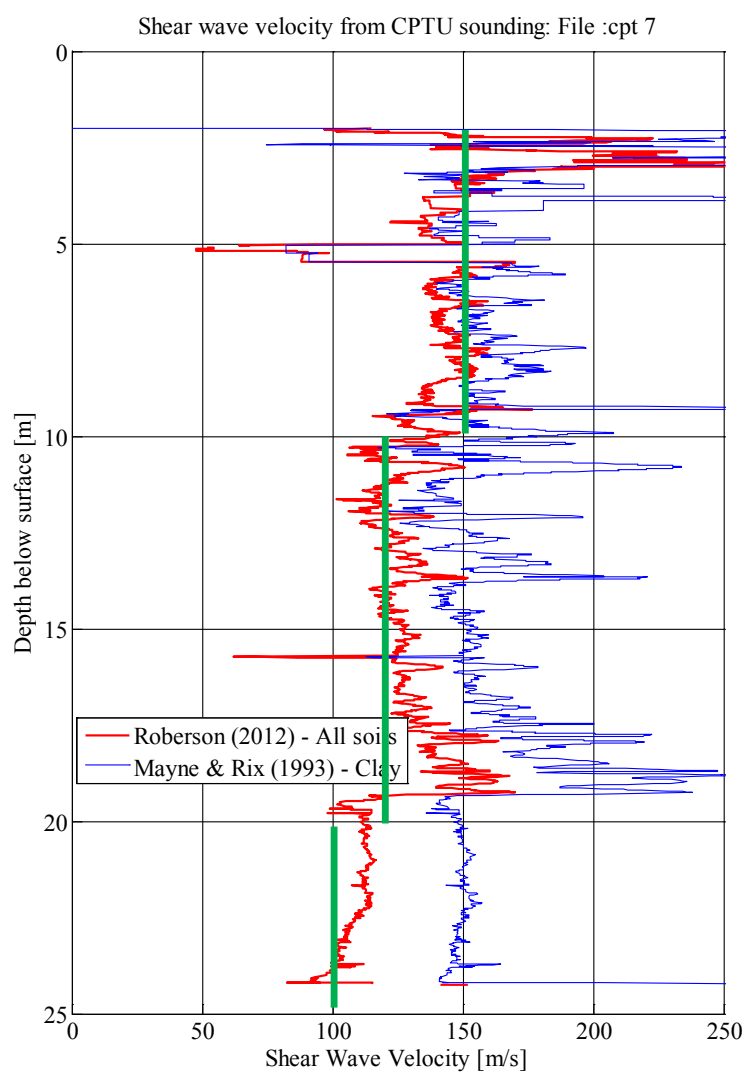
Berget er antatt stivt og sjøvannet er det ikke tatt hensyn til i den dynamiske beregningsmodellen. Ved en eventuell mer detaljert studie bør effekten av sjøvannet vurderes.



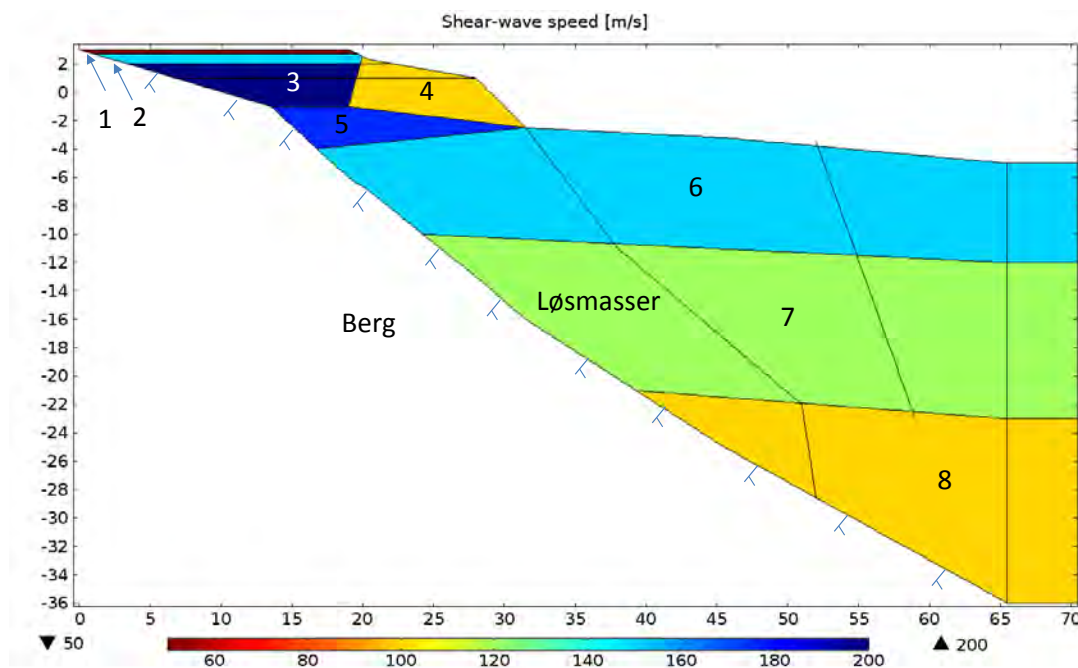
Figur 2.1 Oversiktskart med fyllingsområder og plassering av profil A-A og CPT-7.



Figur 2.2. Profil A-A som viser fylling og massutskiftede områder i toppen. Se mer beskrivelse i teksten.



Figur 2.3. Skjærbølgehastighet tolket fra data fra CPT 7 basert på empiriske formler.



Figur 2.4 Beregningsnitt med avstand i meter på horisontal akse og kote på vertikal akse. Farger viser skjærbølgehastighet i meter per sekund i løsmassene. Se tekst for beskrivelse av modellen. Hvitt område til venstre for løsmassene er berg.

Tabell 2.1 Dynamiske jordparametere benyttet i rystelsesberegningene

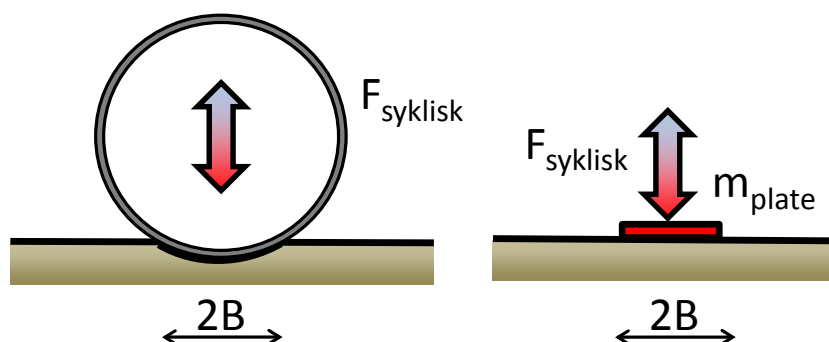
Sone nummer ifølge Figur 2.4	Kote på toppen av lag [m]	Navn på sone	Masse-tetthet [kg/m ³]	Skjærbølge-hastighet [m/s]	Poisson's tall [1]	Trykkbølge-hastighet [m/s]	Material hysteresedemping [%]
1	3	Plastified Fill	1900	50	0.44	150	5.0
2	2.7	Fill	1900	150	0.33	300	4.0
3	2	Replaced soil 200 m/s	1950	200	0.40	500	4.0
4	2.5	Old fill	1530	100	0.33	200	2.0
5	-1	Below Fill	1870	175	0.49	1500	2.5
6	-4	Silt and sand 150 m/s	1870	150	0.495	1500	2.5
7	-10	Clay 120 m/s	2000	120	0.497	1500	2.5
8	-21	Clay 100 m/s	2000	100	0.498	1500	2.5

2.1.3 Modell av vibrovals og last

Figur 2.6 viser hvordan vibrovalsen ser ut. Informasjon om trommelen er hentet fra /1/ og gjennnitt i Tabell 2.2. Trommelen er 2,134 m bred, har en diameter på 1,5 m, og en godstykkelse på 25mm. Dynamisk masse har vi beregnet til 3600 kg basert på en oppgitt nominell vibrasjonsamplitude på 1.92 mm og dynamisk last på 258 kN.

Vibrovalsen er modellert som en elastisk stålplate med bredden, $2B$ lik 0.3 m. Dynamisk, fordelt last på platen er lik $258 \text{ kN} / (2.1 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}) = 410 \text{ kPa}$. Ifølge /7/ så kan lasten holdes konstant på alle aktuelle vibrasjonsfrekvenser gjennom automatisk justering av eksentermasseavstanden. Derfor har vi benyttet samme dynamiske lastamplitude for alle frekvenser. Statisk last fra vibrovalsen er ikke tatt hensyn til siden den avtar raskt med dybden til forskjell fra den dynamiske påvirkningen som når dypere. Dynamisk medsvingende masse er satt lik massen av trommelen - 3600 kg.

For kontroll har statiske spenninger i modellen grunnet vekten av platen er blitt sammenlignet med resultater fra feltmålinger /5/ av spenninger fra lignende vibrovalser og de er av samme størrelsesorden.



Figur 2.5 Vibrovalsens trommel på jord til venstre. Trommelen er simulert i beregningsmodellen som en elastisk plate med tilpasset masse.

Tabell 2.2 Data for vibrovalsen som ble benyttet

Type	Volvo SD115 D6	
Statisk masse	11845 kg 6215 kg 5630 kg	Totalt for maskinen - Andel på valsen - Andel på gummihjulene
Vibrasjonsfrekvenser	23.3/23.8/25.8/28.3/33.8 Hz 20 Hz	Forhåndsinnstilte – Opsjon. Fra datablad Oppgitt brukt på Statland fra entreprenøren. Brukt i våre beregninger.
Antall vibrasjoner per m Kjørehastighet	40 slag/m 0 – 13.3 km/t og 0 - 5.1km/t 1.8 km/t	Oppgitt fra entreprenøren. Fra datablad Tilbakeregnet fra 40 slag/m v/ 20 Hz → 0.5 m/s = 1.8 km/t
Dynamisk last	258 kN	Uavhengig av frekvens – Eksentrisitet kompensert
Nominell vibrasjonsamplitude Dynamisk masse av trommel	1.92 mm 3600 kg	Antatt som amplitude når trommel vibrerer fritt Tilbakeregnet fra nominell amplitude, dynamisk last og frekvens
Bredde av trommel Diameter av trommel	2134 mm 1500 mm	

Det er fortsatt ikke full klarhet i vibrasjonsfrekvens. Entreprenør oppgir 20 Hz. I følge datablad fra Volvo er laveste mulige frekvens 23.3 Hz. Vi har brukt 20 Hz i beregningene og regner ikke med at en litt annen frekvens ville gitt vesentlig forskjellige resultater.



Figur 2.6 Vibrovals SD115D benyttet ved komprimering av fyllmasser (foto NVE).

3 Vurdering av antall lastsykler fra vibrovalsen

For å vurdere syklisk styrke er det nødvendig å ha et estimat på antall lastsykler som et jordelement er utsatt for i løpet av en komprimeringsprosess. Vibrovalser komprimerer fyllmaterialer gjennom å kjøre sakte over et område som skal komprimeres. Vanligvis legges materialet ut og komprimeres i flere lag. Valsen kjøres i et stripemønster og dette gjentas slik at alle områder har fått 4-6 overfarter.

NGI har ikke hatt tilgang til detaljert informasjon om vibrovalsens kjøremønster ved komprimering av fyllmasser ved Statland, mer enn at det er oppgitt at valsen har kjørt i et kryss-mønster.

Antall lastsykler med maksimal lastamplitude er estimert som følger.

Følgende antakelser er gjort for å beregne antall lastsykler

- 1) Den dynamiske lasten fra vibrovalsen har en spenningsspredning i tverretningen på 2:1 (2m ned 1m til siden), dvs spenningen avtar kvadratisk med dybden. Dette innebærer også at et jordelement "føler" rystelser også når vibrovalsen ikke er rett over jordelementet.
- 2) Vibrovalsens kjørehastighet er 0.5 m/s.
- 3) Trommelens vibrasjonsfrekvens er 20 Hz
- 4) Overlapp av trommel mellom kjørestriper er omtrent 10%, dvs effektiv trommel bredde er omtrent 2 m.
- 5) 5 overfarter langs sjøen og 5 mot eller fra sjøen. – Kryss-mønster
- 6) Massene er lagt ut og komprimert i to lag

Beregning av antall sykler for 6, og 10 m dybde:

Antakelse 1) innebærer at et jordelement på 6m dybde påvirkes av rystelser fra vibrovalsen når den beveger seg over et område på 6m x 6m på overflaten. En overfart tar $6/0.5=12$ sekunder hvilket gir $12 \times 20=240$ sykler per overfart.

For å dekke 6 m bredde trengs det $6/2=3$ kjørestriper i området (effektiv bredde er 2 m). Dvs én overfart gir 720 sykler og for 2x5 overfarter blir det 7200 sykler.

Det er to lag som er blitt komprimert (kote 1.4 m og 3 m). Grunnet usikkerheter i drenasje velger vi å beregne antall sykler basert bare på det øvre laget. Altså blir det 7200 lastsykler for et element på 6m dybde med en hvis lastamplitude. Lastamplituden er beregnet i den dynamiske analysen.

På lignende måte for et jordelement på 10m blir det 20000 sykler ($=10/0,5 \times 20 \times (10/2) \times 5 \times 2$), men med noe lavere lastamplituder.

Et antall mekanismer bidrar til at redusere antall sykler med maksimal amplitude

- 1) Dynamiske beregninger har vist at det oppstår en resonans i løsmassene og at resonansfrekvensen er avhengig av hvor vibrovalsen er, geometri av berggrunn og lagdeling, og av løsmassenes stivhet og massetetthet. Dette medfører at rystelsene ikke blir like høy på alle steder. Vi antar derfor en reduksjonsfaktor grunnet denne mekanismen på 0.1
- 2) Målinger og beregninger av rystelser på vibrovalser viser /6/ at trommelen kan begynne å hoppe og dermed blir vibrasjonsfrekvensen redusert til det halve. Vi antar en reduksjonsfaktor på 0.5 grunnet denne mekanismen.
- 3) Våre dynamiske beregninger er for "steady state". I virkeligheten tar det noen sykler for maksimal amplitude er nådd. Vi antar en reduksjonsfaktor på 0.8 grunnet denne mekanismen.
- 4) Drenasje av oppbyggede poretrykk i løsmassene påvirker styrken i løsmassene. Vurdering av drenasje er vanskelig grunnet mange forskjellige faktorer slik løsmassenes permeabilitet, fyllningsarbeidets fremdrift med oppfylling med gravemaskin, komprimering med vibrovals etc. En noe forenklet men rimelig antakelse er at løsmassene er udrenert grunnet leir og silt innhold. Derfor reduserer vi ikke antallet lastsykler grunnet drenasje.

Reduksjonen av antall lastsykler blir $0.1 \times 0.5 \times 0.8 = 0.04$. Dvs. et jordelement på 6 m dybde blir utsatt for $7200 \times 0.04 = 300$ lastsykler med maksimal amplitude. For 10 m dybde blir det 800 sykler. I tillegg føler et jordelement også et stort antall sykler på lavere amplitude enn maks amplituden.

Reduksjonsfaktorene er konservativt anslått. Det vil si at det ekvivalente antall lastsykler jordelementene er blitt utsatt for under komprimeringsarbeidet godt kan ha vært en del høyere enn det vi har tatt med i beregningene.

4 Syklisk styrke i et jordelement

Det er ikke utført noen sykliske forsøk på løsmassene ved Statland, derfor har vi estimert styrke basert på NGIs erfaringer og på litteratur. For å vurdere syklisk styrke har vi prøvd å ta hensyn til følgende faktorer

- 1) Jordtype og vanninnhold.
- 2) Effektiv overlagingsspenning
- 3) Mobiliseringsgraden (som er lik det inverse av sikkerhetsfaktoren for en ekvivalent "uendelig lang" skråning) er høy.
- 4) Antall lastsykler (beregnet i seksjon 3)
- 5) Rateavhengighet

NGIs erfaringer (/2//3/) med syklisk belastning av jord viser på et jordelement med sand og silt går til brudd etter 10 sykler dersom utsettes for syklisk skjærspenning normalisert på vertikal effektiv spenning på 0,18 (τ_{cy} / σ'_{vc}), for et vanninnhold på 30%. Brudd er definert som når skjærtøyningen blir mellom 7% og 15%. Referanse /4/ viser at jordelementer med et vanninnhold på omtrent 30% blir fullstendig "liquefied", dvs. sitter igjen med null effektivspenning, etter 15 sykler med normalisert syklisk skjærspenning på 0,15 eller lavere.

Skråningen er høyt mobilisert, dvs. at jordelementer er utsatt for høye statiske skjærspenninger. For å ta hensyn til mobiliseringsgrad har vi benyttet figur 7.2 i /3/. I forhold til et jordelement som ikke har en noen statisk skjærspenning gir en mobiliserings grad på 0.8 en en reduksjon med 50% av syklisk styrke. En mobiliseringsgrad på 0.9 gir 75% reduksjon av den sykliske styrken etc.

Lastfrekvensen på omtrent 20 Hz er høy i forhold til de frekvensene som benyttes i laboratorieforsøk. Ekstrapolering av resultater (se figur 20 i /2/) fra laboratorieforsøk til situasjonen i felt gir økning i syklisk styrke med en faktor på omtrent 2.

For å ta hensyn til antallet sykler så benyttet figur 7.2 i /3/ og figur 34 a) i /2/. Ifølge beregninger ovenfor utsettes mange jordelementer for over 300 sykler. For 300 sykler trenges omtrent to tredjedeler (2/3) så store normaliserte skjærspenninger for å nå brudd, enn ved 10 sykler. For 1000 sykler kan reduksjonen i syklisk styrke være 50%.

Til sammen gir disse faktorene en syklisk styrke (målt som normalisert skjærspenning) på 0.25 (mobiliseringsgrad=0.9) x 2 (rate effekt) x 0.5 (antall sykler= 1000) x 0,2=0,05 (τ_{cy} / σ'_{vc}).

For å ta hensyn til usikkerheter i parametere benytter vi tre forskjellige verdier på normalisert syklisk styrke på henholdsvis 0,15, 0,1 og 0,05 i våre videre analyser for å bestemme omfanget av det område i løsmassene som kan antas å gå til brudd på grunn av de sykliske lastene fra vibrovalsen.

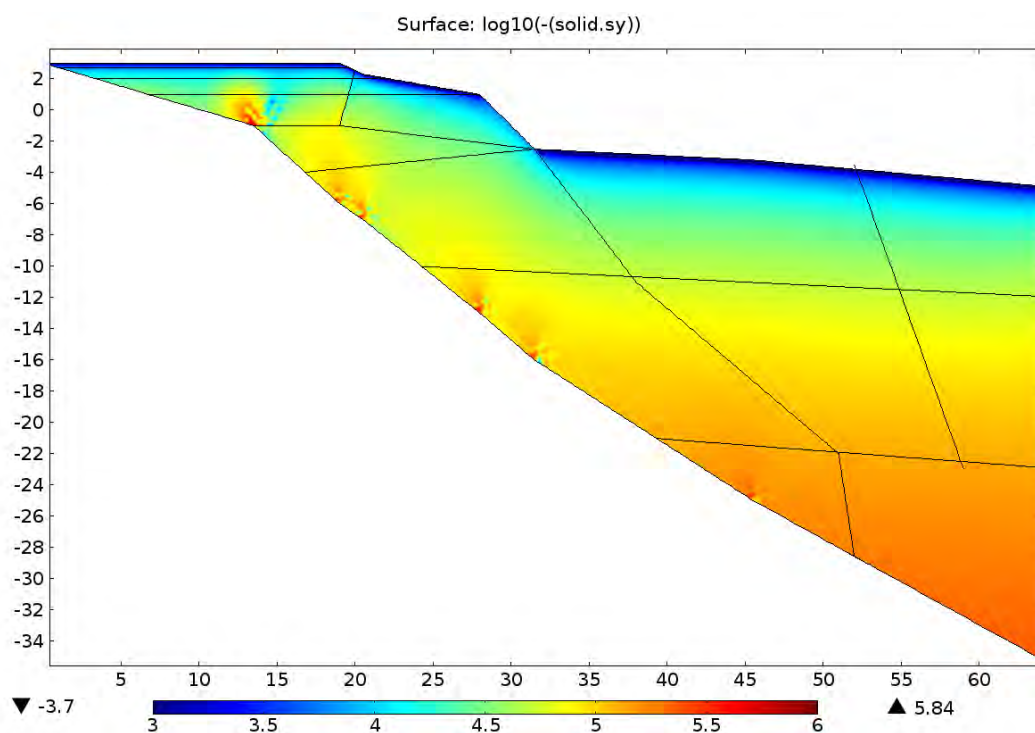
5 Område i skråningen som går til syklisk brudd

For å vurdere syklisk påkjenninger i forhold til syklisk styrke må vi etablere figurer som viser syklisk skjærspenning normalisert mot vertikal effektiv spenning.

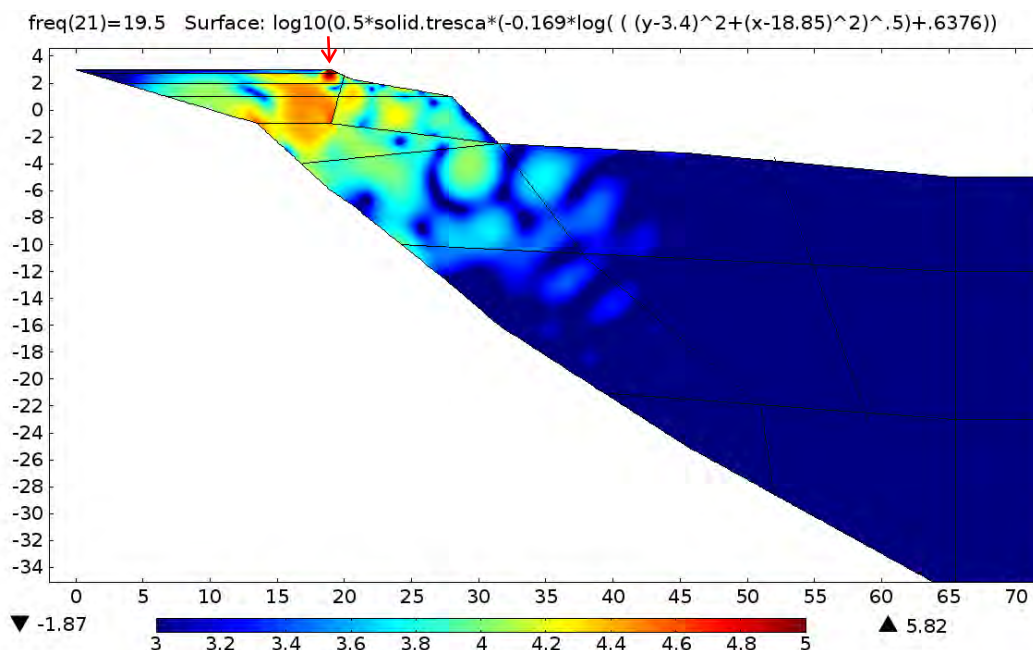
Vertikale effektivspenninger er beregnet i en separat analyse fra koblet den dynamiske analysen. Figur 5.1 viser effektiv vertikal spenning i beregningsprofilen, før rystelsepåkjenningene. Vertikal spenningene varierer mellom 1kPa i toppen til 220 kPa i bunnen av modellen. Figuren plotter spenningen i logaritmisk skala ved hjelp av farger. Noen numeriske artefakter oppstår ved randen til venstre i Figur 5.1, disse påvirker ikke vurderingen av områder som har gått til brudd og konklusjonene vi trekker.

De dynamiske beregningene viser at det oppstår en resonans for frekvenser som er i samme område som lastfrekvensen for vibrovalsen. Skjærspenninger ved slike resonanser er betydelig høyere enn når resonans ikke opptrer. Figur 5.2 viser at det opptrer sykliske skjærspenninger på opp til 10 kPa ned til kote -10m ved resonans. Rød pil i figuren indikerer hvor på overflaten vibrovalsen befinner seg.

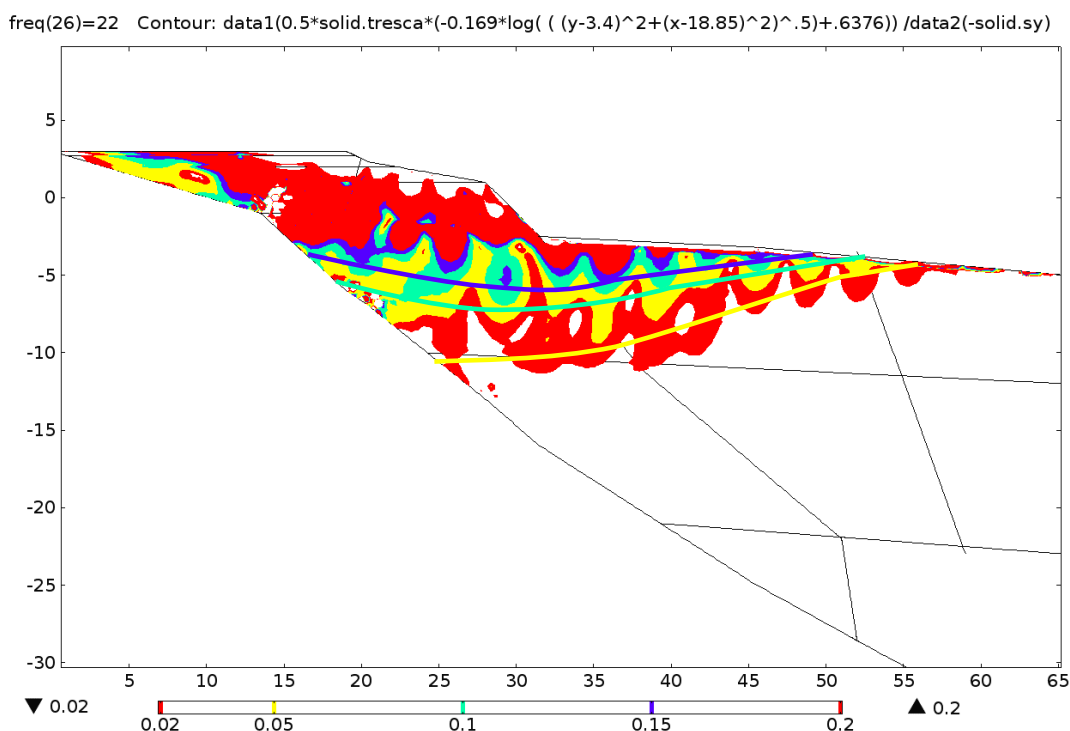
Sykliske skjærspenninger normalisert på de effektive vertikalspenningene er vist i Figur 5.3. Denne figuren er benyttet for å bestemme soner som kan forventes gå til brudd på grunn av rystelsene fra vibrovalsen. Brudd i løsmassene er antatt å skje i soner som er under grunnvannsnivå på kote -1,7m og ned til grensene som er indikert med tykke gule, grønne og blå linjer i Figur 5.3. Figur 5.4 - Figur 5.6 viser soner der løsmassene har gått til brudd for normaliserte sykliske skjærspenninger på henholdsvis 0,05, 0,1, og 0,015.



Figur 5.1 Effektiv vertikalspenninger [Pa] før rystelsepåkjenning i logartimisk fargeskala.



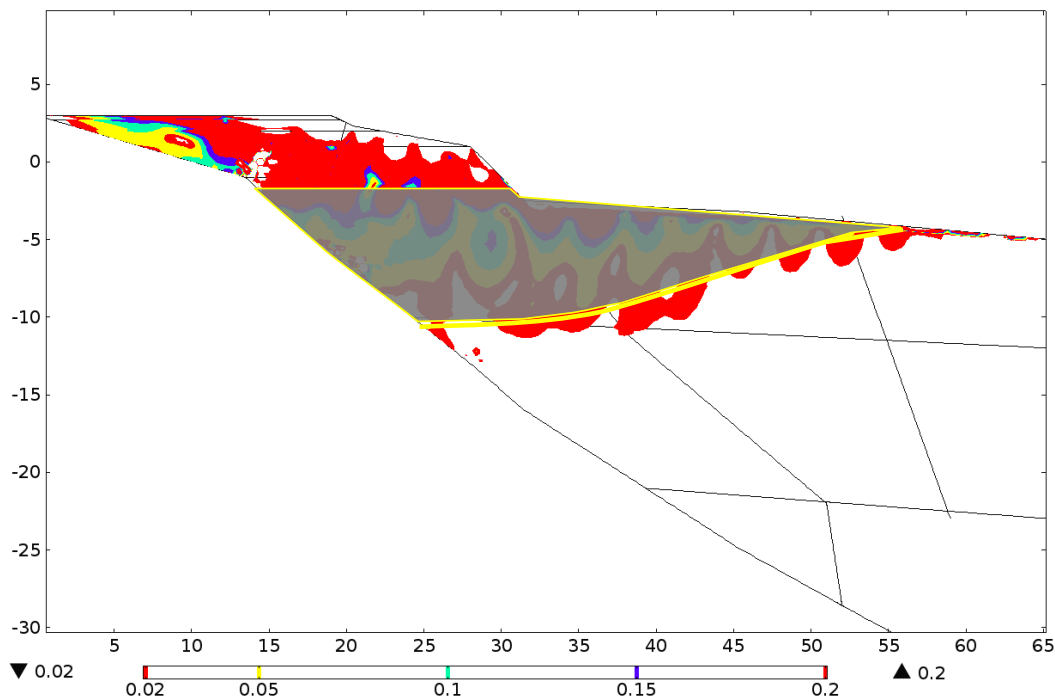
Figur 5.2 Sykliske skjærspenninger [Pa] i logaritmisk fargeskala. Rød pil indikerer hvor vibrovalsen er på overflaten.



Figur 5.3 Variasjon av sykliske skjærspenninger normalisert på vertikale effektivspenninger i skråningen utsatt for rystelser fra vibrovalsen. Farger gir størrelsen på skjærspenningene. Gul, grønn og blå linjer viser nedre grense for

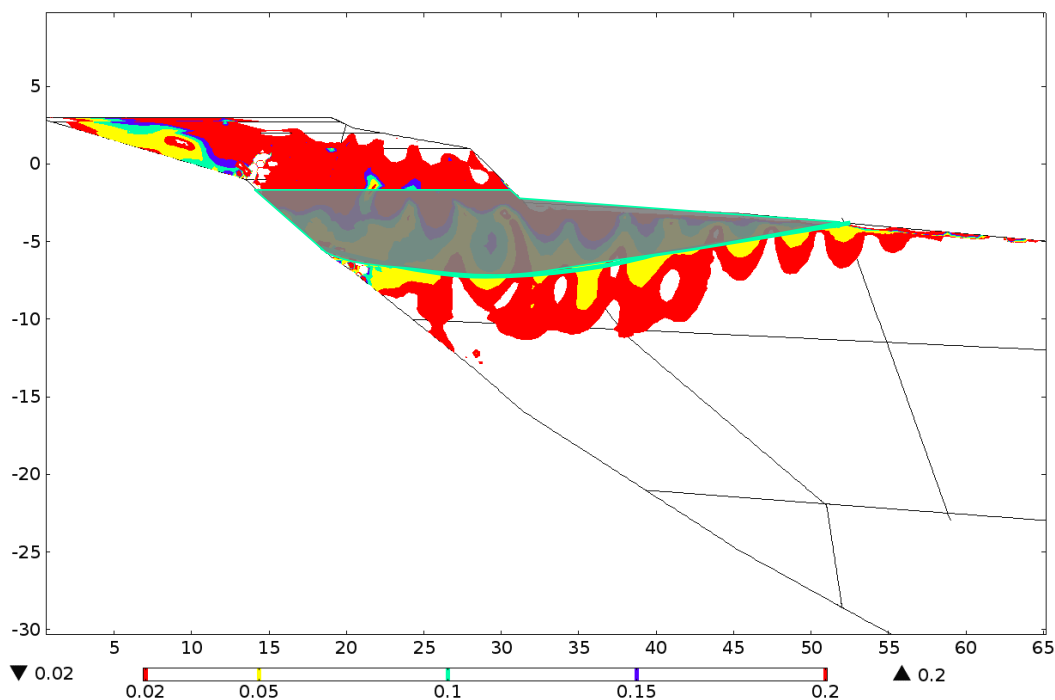
område som er antatt å gå til brudd for normalisert skjærspenninger på 0,05, 0,1 og 0,15.

freq(26)=22 Contour: data1(0.5*solid.tresca*(-0.169*log((y-3.4)^2+(x-18.85)^2)^.5)+.6376)/data2(-solid.sy)



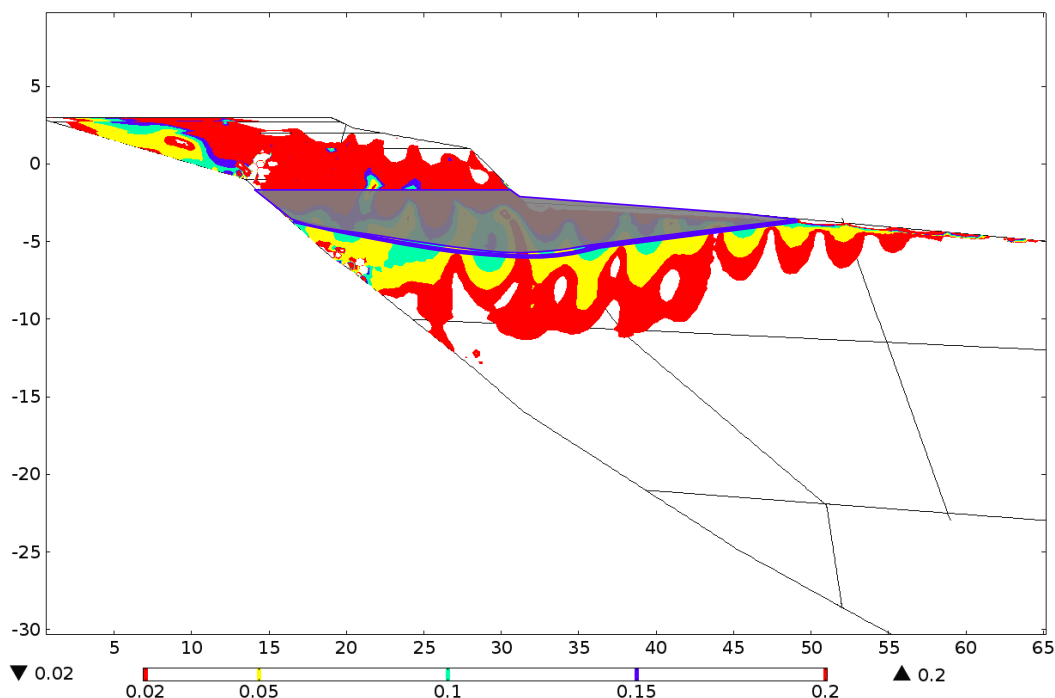
Figur 5.4 Variasjon av sykliske skjærspenninger normalisert på vertikale effektivspenninger i skråningen utsatt for rystelser fra vibrovalsen. Farger gir størrelsen på skjærspenningene. Sonen i grått med nedre tykk gul linje indikerer sone som har gått til brudd for en normalisert skjærspenning på 0,05.

freq(26)=22 Contour: data1(0.5*solid.tresca*(-0.169*log(((y-3.4)^2+(x-18.85)^2)^.5)+.6376)) /data2(-solid.sy)



Figur 5.5 Variasjon av sykliske skjærspenninger normalisert på vertikale effektivspenninger i skråningen utsatt for rystelser fra vibrovalsen. Farger gir størrelsen på skjærspenningene. Sonen i grått med nedre tykk grønn linje indikerer sone som har gått til brudd for en normalisert skjærspenning på 0,10

freq(26)=22 Contour: data1(0.5*solid.tresca*(-0.169*log(((y-3.4)^2+(x-18.85)^2)^.5)+.6376)) /data2(-solid.sy)



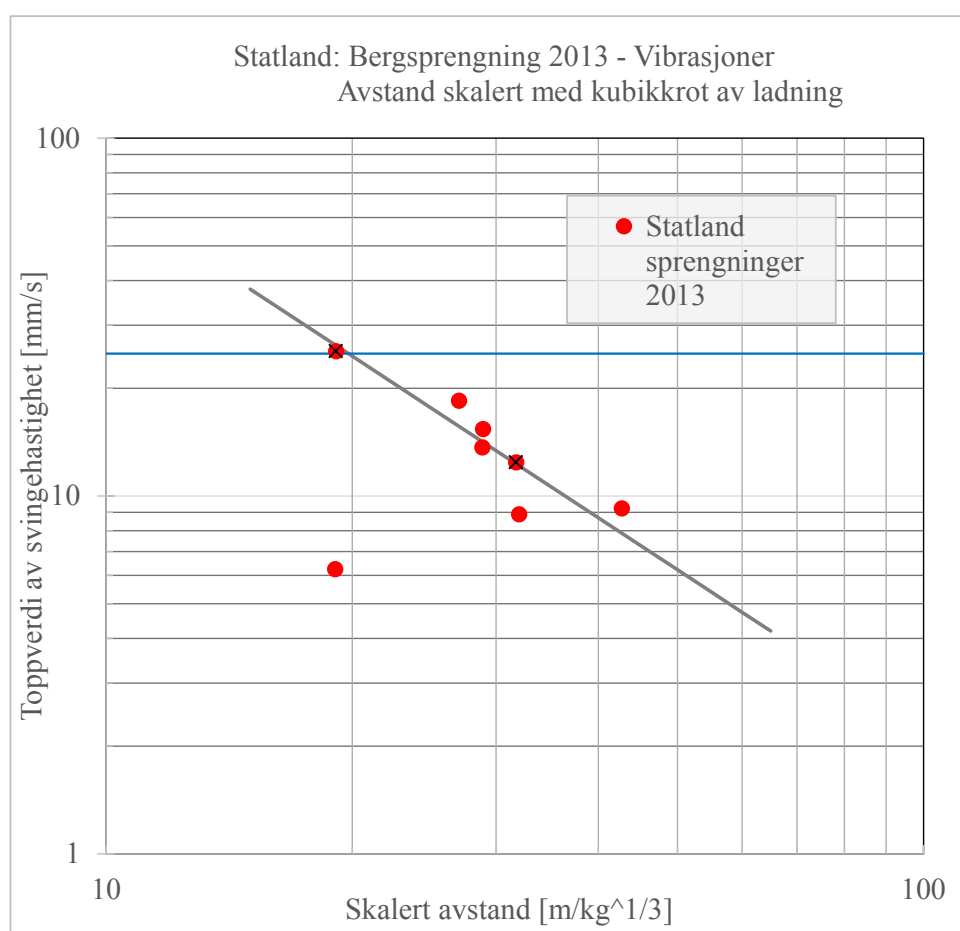
Figur 5.6 Variasjon av sykliske skjærspenninger normalisert på vertikale effektivspenninger i skråningen utsatt for rystelser fra vibrovalsen. Farger gir størrelsen på skjærspenningene. Sonen i grått med nedre tykk lilla linje indikerer sone som har gått til brudd for en normalisert skjærspenning på 0,15.

6 Vibrasjoner fra sprengning

I forbindelse med utbygging på Statland har det foregått sprengning i berget som grenser ut mot fyllingen der skredet gikk. Sprengningene pågikk i perioden fra 8/7-2013 til 20/8-2013. Sprengningene ble følgelig avsluttet nær ½-år før skredet gikk. Det skal ha blitt utført i alt 17 sprengninger, hvorav vi har mottatt salverapporter fra åtte. For seks av disse inneholder salverapportene målte vibrasjonverdier, mens vibrasjonene er estimert for to av salvene. Det ble målt rystelser under sprengningene og vi har fått tilgang til rystelsesdata og salvedata. Figur 8.1 plottet registrert toppverdi av svingehastighet for salvene, plottet mot skalert avstand fra den enkelte salven til der rystelsesmåleren står. Den skalerte avstanden er beregnet som avstanden i meter dividert med kvadratroten av største enkeltladning i kg. Avstandene for de salvene vi har fått data fra har variert fra 40m til 80m, og største ladning per tennernummer har vært mellom 4kg og 18kg. Figur 8.1 viser en sammenheng som forventet for godt berg. Det viser at samtlige salver har gått av som forutsatt. Én salve viser uventet lave vibrasjoner. Målingene viser at disse salvene har gitt vibrasjoner mellom 8.9 mm/s og 25.4 mm/s. Vi har imidlertid ikke fått informasjon om hvor rystelsesmåleren har vært plassert og hvor salvene i var lokalisert. Hvis måleverdiene er representative for de vibrasjonene løsmassene der skredet senere gikk, er vibrasjonsverdiene lavere eller helt på grensen som er oppgitt

i NS8141-3:2014 // (ps. Grenseverdien oppgitt i NS8141-3 er 43 mm/s. Dette refererer imidlertid til frekvensveide vibrasjoner. Vibrasjonsmålingene på Statland er ikke frekvensveide. Grenseverdien i NS8141-3 tilsvarer 25 mm/s i ikke-frekvensveide vibrasjoner). Grenseverdien i NS 8141-3 er satt med god margin for å sikre at vibrasjoner fra sprengninger ikke bidrar til å utløse skred i sensitive masser.

Sprengningene ble avsluttet over et halvt år før skredet gikk og de vibrasjonene som sprengningene medførte i de potensielt ustabile massene som senere raste ut, har neppe overskredet grenseverdien i NS8141-3. På denne bakgrunnen vil vi utelukke at vibrasjoner fra sprengningene kan ha bidratt til å utløse skredet 29/1-2014.



Figur 8.1 Målte og estimerte vibrasjoner fra bergsprengning på Statland i perioden 8/7-2013 til 20/8-2013. Toppverdi av uveid svingehastighet plottet mot avstand skalert mot kubikkrot av ladning. Innlagt grenseverdi fra NS 8141-3:2014

7 Sammendrag og konklusjoner

Basert på de analysene som er beskrevet ovenfor trekker vi følgende konklusjoner:

Grunnet resonanseffekter har vibrovalsen utsatt skråningen for store sykliske påkjenninger med flere hundre sykler, minst ned til kote -10m.

Det er meget sannsynlig at rystelser fra vibrovalsen har forårsaket poretrykksoppbygging og brudd i løsmassene ned til kote -5 eller dypere, siden brudd oppstår i sone ned til kote -5 som vist i Figur 5.6 for den høyeste bruddstyrken med normalisert skjærstyrke på 0,15.

Posisjonen av vibrovalsen endrer resonansfrekvensbildet noe og dette er tatt hensyn til i beregningene gjennom å redusere antall lastsykler med maksimal amplitude.

For å ta hensyn til usikkerheter i parametere har vi benyttet tre forskjellige verdier på normalisert syklisk styrke, henholdsvis 0,15, 0,1 og 0,05 for å bestemme soner som kan forventes å gå til brudd. De sonene som kan antas å gå ha gått til syklisk brudd vil stå igjen men en sterkt redusert statisk reststyrke (residualstyrke)

Effekten på skråningsstabilitet av redusert statiske styrke i sonen som har gått til syklisk brudd er videre analysert og beskrevet i teknisk notat 20140347-04.

Rystelser fra sprengningsarbeider som er avsluttet et halvt år før skredet inntraff har ikke bidratt til å utløse skredet.

8 Referanser

- /1/ Volvo Construction Equipment – Datablad for SD115 vibrovalse.
- /2/ Andersen, K.H. (2009), Bearing capacity under cyclic loading — offshore, along the coast, and on land. The 21st Bjerrum Lecture presented in Oslo, 23 November 2007, Canadian Geotechnical Journal, 2009, 46:513-535, 10.1139/T09-003
- /3/ Andersen, K.H. (2004), Invited Keynote Lecture: International Conf. on "Cyclic Behaviour of Soils and Liquefaction Phenomena", CBS04, Bochum, Germany. 2004. Proc. p. 371 – 387, A.A.Balkema Publishers, Ed Th. Triantafyllidis.
- /4/ Polito, C. and Martin II, J. (2001). "Effects of Nonplastic Fines on the Liquefaction Resistance of Sands." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(5), 408–415.
- /5/ R.V. Rinehart and M.A. Mooney, "Measurement depth of vibratory roller-measured soil stiffness", Géotechnique, Volume 59, Issue 7, 01 September 2009 , pages 609 –619.
- /6/ White D. J. and Vennapusa, P. KR., A review of roller-integrated compaction monitoring technologies for earthworks, Final Report ER10-04, Earthworks Engineering Research Center (EERC), Department of Civil Construction and Environmental Engineering, Iowa State University, April 1, 2010
- /7/ Nils Johansen, personlig kommunikasjon, Volvo lastvagnar



Dokumentnr.: 20140347-03-TN
Dato: 2014-12-04
Rev. nr.: 0
Side: 21

/8/ Robertson, P. (2010). "Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 136(6), 842–853.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Vurdering av innvirke av rystelser fra vibrokomprimering og sprengning på skråningsstabilitet				Dokumentnr./Document No. 20140347-03-TN	
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 2014-12-04	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0	
Oppdragsgiver/Client NIFS					
Emneord/Keywords Rystelser, vibrovals, sprengning, skråningsstabilitet, resonansfrekvens					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge, Nord-Trøndelag				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Namdalseid				Felt navn/Field name	
Sted/Location Statland				Sted/Location	
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:
0	Originaldokument, rystelser	JJo <i>J</i>	CM <i>U</i>		
0	Originaldokument, sprengning	CM <i>U</i>	JJo <i>J</i>		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 4. desember 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager <i>Ragnar Moholdt</i> Ragnar Moholdt	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Sluppen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org.nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg.No. FS 32989

VEDLEGG D

Til: NIFS NN-6.7.1
v/: Stein Are Strand
Kopi til:
Dato: 4. desember 2014
Rev. nr./ Rev. dato: 0
Dokumentnr.: 20140347-04-TN
Prosjekt: Utredning av teknisk årsak til skredet ved Nord – Statland
29.01.2014
Utarbeidet av: Ragnar Moholdt
Prosjektleder: Ragnar Moholdt
Kontrollert av: Kjell Karlsrud

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Stabilitetsberegninger inkl. parametertolkning

Innhold

1	Innledning	3
2	Datagrunnlag	3
2.1	Geotekniske undersøkelser	3
3	Lagdeling og jordartsparemetere	4
3.1	Lagdeling	4
3.2	Poretrykk	5
3.3	Jordartsparemetere – "in-situ" fasthet	6
3.4	Jordartsparemetere – "syklisk" skjærfasthet	7
3.5	Udrenert skjærfasthet i lag nr. 2; sand, silt og leire ("static liquefaction")	12
4	Stabilitetsberegninger	13
4.1	Beregningsprogrammer	13
4.2	Kritiske profiler	13
4.3	Resultater for situasjonen før utbygging	13
4.4	Resultater for situasjonen etter masseutskifting og oppfylling	16
4.5	Resultater av beregninger med påvirkning fra rystelser	17
5	Oppsummering - stabilitetsberegninger	17
6	Referanser	19



Tegninger

- Tegning 001 Oversiktskart, M=1:50 000.
- Tegning 100 Borplan med koter fra 2010, M=1:500.
- Tegning 101 Borplan med koter fra 2014, M=1:500.
- Tegning 200 Profil C. Tolket lagdeling fra boringer, M=1:250.
- Tegning 201 Profil E. Tolket lagdeling fra boringer, M=1:250.
- Tegning 300 Stabilitet – før utfylling – Profil C – beregningsforuts. (1), M=1:250.
- Tegning 301 Stabilitet – før utfylling – Profil C – beregningsforuts. (3) , M=1:250.
- Tegning 302 Stabilitet – før skred – Profil E, M=1:250.
- Tegning 303 Stabilitet – etter utfylling – Profil C – "drenert i lag 2", M=1:250.
- Tegning 304 Stabilitet – etter utfylling – Profil C – "udrenert i lag 2", M=1:250.
- Tegning 305 Stabilitet – etter utfylling – Profil C – "syklisk styrke (1)", M=1:250.
- Tegning 306 Stabilitet – etter utfylling – Profil C – "syklisk styrke (2)", M=1:250.

Vedlegg

- Vedlegg A Tolkning av laboratorieforsøk
- Vedlegg B Tolkning av CPTU-sonderinger

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Skredet som gikk 29.01.2014 ved Nord - Statland i Namdalseid kommune har forårsaket store materielle og andre skader, men ingen alvorlige skader på mennesker eller tap av menneskeliv har oppstått. I Meld.St 15 (2011-2012) er det lagt opp til at det etableres en ordning for systematiske undersøkelser etter flom- og skredendelser av en viss størrelse.

NGI deltar i en granskningsgruppe sammen med representanter fra NTNU, NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Oppdraget utføres i regi av etatsprogrammet NIFS, "Naturfare – Infrastruktur – Flom – Skred", delprosjekt 6.

NVE ønsker på sikrest mulig grunnlag å avklare bruddmekanismen og sannsynlig skredteknisk årsakssammenheng ved det inntrufne skredet. Herunder ønskes sannsynliggjort hvilke tekniske forutsetninger/omstendigheter som førte til bruddet. Usikkerhet og/eller tvil av betydning må belyses/kvantifiseres (om mulig).

Det er avtalt at NGI skal utarbeide notater med beregninger og vurderinger av følgende tema som delleveranser til arbeidsgruppa:

- Refleksjonsseismiske undersøkelser og morfologisk analyse
- Utløpsanalyser og modellering av flodbølge
- Rystelser fra vibrovals
- Stabilitetsanalyse og effekt av sprøbrudd, inkl. parametertolkning

Dette notatet omhandler utførte stabilitetsanalyser og vurdering av effekt av sprøbrudd, inkl. parametertolkning. Analysene er utført som grunnlag for å vurdere stabilitetsforholdene i situasjonen før og etter masseutskifting, oppfylling og komprimering. Beregningene gir for det første en indikasjon på hvor nær brudd skråningen var før anleggsarbeidene tok til. Videre gir beregningene en pekepinn på hvor stor effekt det må ha vært fra ytre påvirkninger og sprøbrudd. Usikkerhet er kvantifisert ved å utføre sensitivitetsstudier av sentrale inngangsparametere.

2 Datagrunnlag

2.1 Geotekniske undersøkelser

Kummeneje, NGI, Multiconsult AS og NTNU har tidligere utført grunnundersøkelser i området. Undersøkelsene er presentert og beskrevet i følgende notater og rapporter:

Kummeneje: Rapport nr. 0.637 (1967) - Statlandbruket. Grunnundersøkelse for nytt masselager.

Rapport nr. 0.2649 (1978) - Namsen drivstofflager, Nord-Statland.



Rapport nr. 0.2792 (1978) - Grunnundersøkelse for småbåthavn, Nord-Statland.

Rapport nr. 0.2800 (1978) - Grunnundersøkelse i "Almenningen".

Digitale data mottatt fra NVE av boringer utført etter skredet (R1 – R7, R18-R23).

NGI: Rapport nr. 78068-1 (1979) - Stabilitetsvurdering Djupvika.

Multiconsult: Notat nr. 411976-1 (2006) - Reguleringsplan Nord-Statland. Vurdering av geotekniske forhold.

Rapport nr. 412561-1 (2007) - Utbyggingsområde, Nord-Statland, Namdalseid. Grunnundersøkelse. Geoteknisk vurdering.

Rapport nr. 412561-2 (2008) - Utbyggingsområde, Nord-Statland, Namdalseid. Miljøgeologisk undersøkelse. Fyllmasser.

Rapport nr. 414432-RIG-RAP – 001 rev. 00. (2012) - Sagvika gjestehavn, Nord Statland, Grunnundersøkelser. Datarapport

Digitale data mottatt fra NVE av boringer utført etter skredet (R8 - R16). Foreløpige plott av laboratorieundersøkelser i pkt. R8 og R12.

NTNU: Rapport 2014-04 Statland. Grunnundersøkelser. Datarapport.

NGU: Digitale data fra seismiske undersøkelser, mai 2014.

3 Lagdeling og jordartsparemetere

3.1 Lagdeling

Det er utført en rekke boringer i og i nærheten av skredgrova. Beliggenheten av borpunktene er vist på Tegning 100-101. Total- / dreietrykksonderinger er utført i alle borpunktene. Disse boringene gir stort sett grunnlag for tolkning av fyllmassetykkelse, samt dybde til fast grunn / fjell. Overganger mellom masser dominert av silt og leire fremgår av prøveserier og kan tolkes fra CPTU-sonderinger. Disse undersøkelsene er derfor av stor betydning, jf. Tabell 1.

Tabell 1 Oversikt – sentrale borpunkter

Metode	Borpunktnummer
Prøveserie	2, 3, 5, 7, M1-3, M1-4, M1-5, M1-7, M1-24, R8, R12, 5-O637, 9-O637
CPTU	7, 3, 2, R2, R10, R12 og R14

Løsmassene består av 4 fremtredende lagpakker med ulike geotekniske egenskaper:

1. Fyllmasser (flis/sagflis, sand og grus)
2. Sand, silt og leire
3. Kvikkleire / sensitiv leire
4. Glasiomarin leire med grus – markert høyere motstand

Generelt er det en god del data fra lag nr. 1 og 2, mens det er lite data fra leira i lag 3. og 4. Dette har sammenheng med at leira ute i sjøen ligger dypt.

Tolket lagdeling i Profil C og E er vist på Tegning 200 og 201. For beskrivelse av geologi, utbredelse av kvikkleire og tolkning av jordarter fra CPTU henvises det til ref. (1).

Det er også en utpreget stratigrafi og lagdeling innenfor de enkelte lagpakkene, men dette antas å være av mindre betydning for det geotekniske egenskapene.

3.2 Poretrykk

Det er lite data angående "in-situ" poretrykksforhold, og målinger er kun utført i ett punkt (to nivåer), jf. Tabell 2.

Tabell 2 Piezometer-måling, pkt. 5

Terreng kote	Dybde (m)	Kote (m)	Jordart	Avlesning (m)	Poretrykk - u_0 (kPa)	Økning Du/Dd (kPa/m)
+1.3	5 m	-3.7	Fyllmasse	1.26	37.4	10.1 *
+1.3	10 m	-8.7	Silt, sand	0.44	95.6	11.6

*Antatt grunnvannstand kt. 0

Observert vannstand i Rørvik er korrigert med en omregningsfaktor på 0,99 og en tidskorreksjon på -10 minutter. Iht. nedlastet tabell fra Statens kartverk var det lavvann, kt. -1,6, på det aktuelle tidspunktet da skredet ble utløst (mellom kl. 16 og 17).

Stabilitetsberegningene er utført med poretrykk som omtrent tilsvarer det som er målt i punkt 5:

- | | |
|------------------------|--|
| 1. Fyllmasser | Hydrostatisk trykk fra grunnvannsnivå (målt) |
| 2. Sand, silt og leire | Poreovertrykk, 12 kPa/m (målt) |

3. Kvikkleire / sensitiv leire Poreovertrykk, 12 kPa/m (antatt)
4. Glasiomarin leire med grus – Poreovertrykk, 12 kPa/m (antatt)

Det er også utført stabilitetsberegninger under forutsetning om hydrostatisk poretrykk, dvs. lavere enn det som er målt (beregnet sikkerhet angitt i parentes i Tabell 12 og 13).

3.3 Jordartsparemetere – "in-situ" fasthet

Valgte jordartsparemetere benyttet i stabilitetsanalysene er vist i Tabell 3. I det etterfølgende kapittel er tolkningen av jordartsparemetere beskrevet nærmere.

Tabell 3 Oversikt over paremetere, beste estimat ut fra målinger og erfaringsverdier

Jordart	Romvekt, ρ [kN/m ³]		Skjærfasthet [kPa / °]	
	Total	Effektiv	Udrenert, s_u [kPa]	Drenert, $\phi - c'$
Masseutskifting og ny oppfylling	19	9	-	42°-0
Gammel fyllmasse	15.3	5.3	-	32° - 0
Grus	18.7	8.7	-	35° - 0
Silt, sand, leire	17.0 -18.7	5.0 - 6.7 (7.0-8.7)	-	33° - 4
Kvikkleire	20.1	8.1	a) s_u^A fra CPTU 7 b) $s_u^A = 0,3 \times p_0'$ ADP=1,0-0,65-0,33	-
Glasiomarin leire	20.1	8.1	-	30° - 0

() – tall i parentes – gjelder ved antagelse om hydrostatisk poretrykk

3.3.1 Total og effektiv romvekt

Romvekt er vurdert ut fra målte data fra aktuelle prøveserier. Det er relativt stor usikkerhet knyttet til innholdet av flis som trolig varierer en god del over området. Prøveserier nær industribygningen viser mye flis; i punkt 9 er det funnet flis ned til 14 meter dybde. På østsiden av Sagvika viser prøveseriene mindre innhold av flis. Stabilitetsberegninger er utført for ulike antagelser for å studere effekten av usikkerhet.

Effektiv romvekt har stor betydning for så vel udrenert som drenert skjærfasthet. Effektiv romvekt er vurdert med og uten poreovertrykk, hhv. med poretrykksøkning 12 kPa/m og 10 kPa/m (hydrostatisk).

3.3.2 Skjærfasthet

Ved tolkning av skjærfasthet er det lagt vekt på avanserte laboratorieforsøk (ødometer- og treaksialforsøk) og CPTU-sonderinger. Tabell 4 gir oversikt over hvor slike undersøkelser er utført. Tolkning av avanserte laboratorieforsøk og CPTU-sonderinger er presentert hhv. i Vedlegg A og B.

Tabell 4 Oversikt – avanserte laboratorieforsøk

Metode	Borpunktnummer
Treaksialforsøk	2, 3, 5, R8, R12, R22
Ødometerforsøk	2, 3, 5, R22
CPTU	7, 3, 2, R2, R10, R12 og R14

Ødometer og treaksialforsøk - tolkning

Ødometerforsøkene indikerer et lavt overkonsolideringsnivå. I dybden antas løsmassene å være tilnærmet normalkonsoliderte. Tolkningen av ødometerforsøkene stemmer også med geologien; i det aktuelle området antas det å ha vært betydelig sedimentasjon de siste århundrene. Treaksialforsøkene på leire indikerer at udrenert skjærfasthet normalisert mht. vertikal effektivspenning ligger omkring 0,3. Tolket friksjonsvinkel i leire er i størrelsesorden 30 grader. For massene av silt, sand og leire er tolket friksjonsvinkel noe høyere. Tolkede parametere fra ødometer- og treaksialforsøk er presentert i Vedlegg A.

CPTU-tolkning

CPTU-sonderingene er tolket mht. aktiv, udrenert skjærfasthet, iht. ref. (2). Kun CPTU 3, 7 og R2 er boret ned i leire. CPTU-7 ligger mest sentralt og går lengst ned i kvikkleire. Tolket skjærfasthet er lavere enn forventet ut fra erfaringsverdier for normalisert skjærfasthet og beregnet effektivspenningsnivå. Det siste kan ha sammenheng med at 1) gjennomsnittlig romvekt er lavere enn det målte romvekter tilsier, 2) poretrykket er høyere enn målingen i pkt. 5 tilsier eller 3) sedimentene er unge og har et su/p_0' – forhold som ligger lavere enn normalt. Den lave skjærfastheten kan selvsagt også forklares med en kombinasjon av 1) – 3). Tolkede s_u^A -profiler er presentert i Vedlegg B.

3.4 Jordartsparemetere – "syklisk" skjærfasthet

Syklisk skjærfasthet er tolket som grunnlag for å vurdere hvordan rystelser fra komprimering med vibrovals og sprengning kan ha påvirket stabilitetsforholdene.

Prøveseriene i området viser at massene over kvikkleirelaget (3) domeneres av sand og silt som potensielt kan tenkes å bli flytende pga. syklisk belastning (vibrering).

Syklisk styrke er vurdert ut fra forsøk utført på NGI, ref. (3), og tilbakeregnet styrke fra utglidninger pga. liquefaction på verdensbasis, ref. (4).

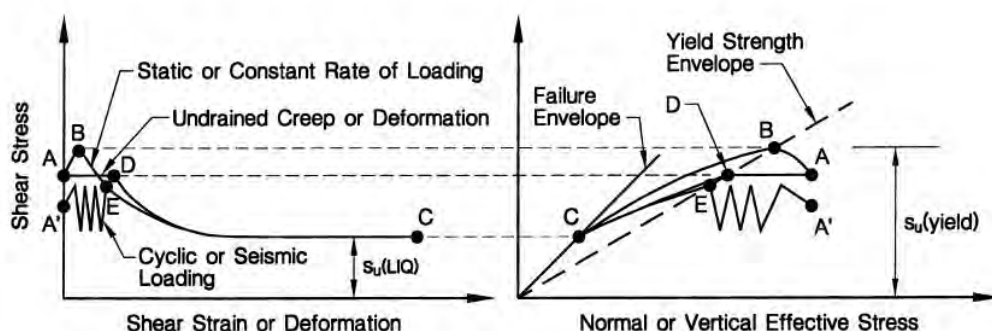
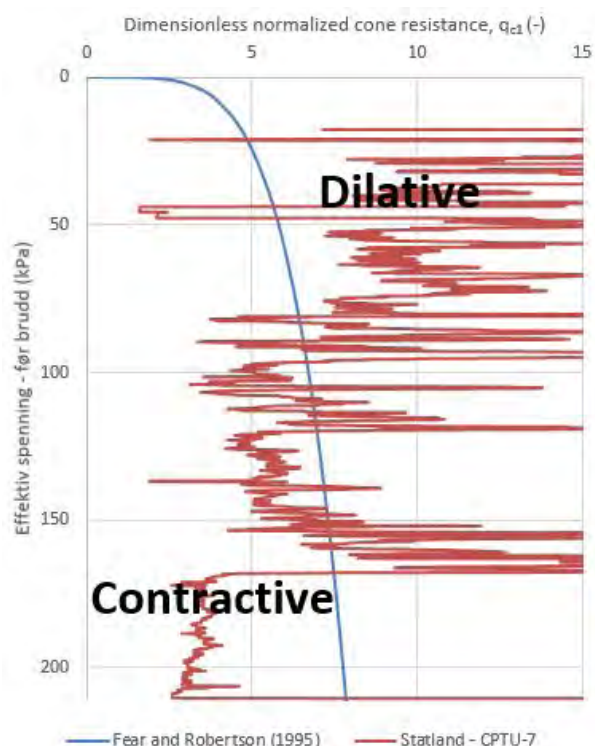


Fig. 1. Schematic undrained response of saturated, contractive sandy soil

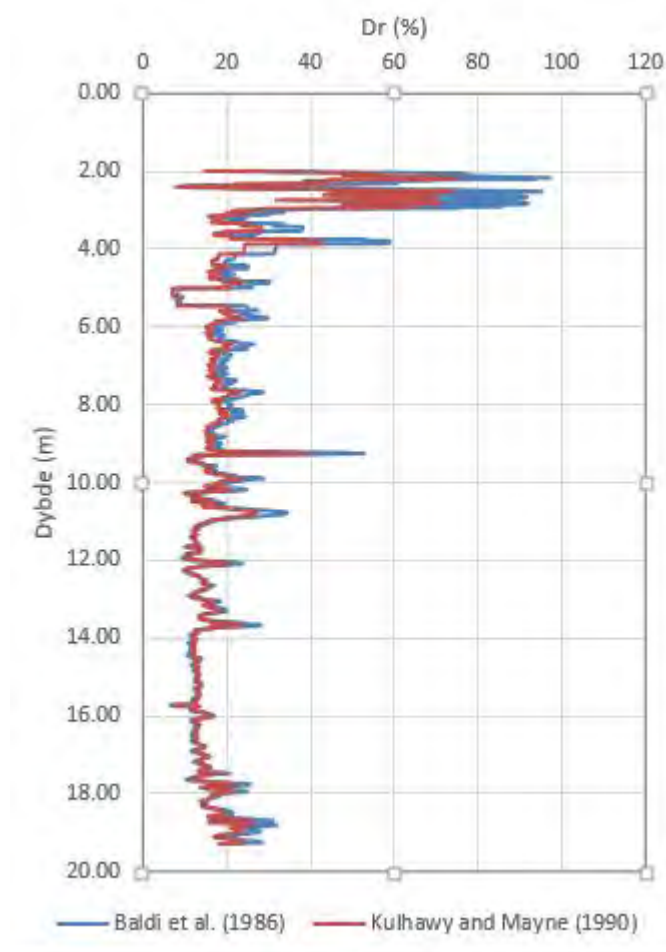
Figur 1 Prinsippskisse for udrenert oppførsel av kontraktivt sandig materiale, ref. (4)

Et løst lagret jordmateriale av sand og silt kan under udrenert vibrasjonsinduserte spenningendringer gå til syklisk brudd for en lavere skjærspenning enn ved statisk pålastning til brudd som vist på Figur 1 (direkte fra A-E i stedet for A – B – E). Etter at jordmaterialet har gått til syklisk brudd vil skjærmotstanden reduseres til en residualverdi (pkt. C).

For å studere potensialet for "liquefaction" for de aktuelle løsmassene på Statland har vi benyttet CPTU-korrelasjoner utviklet av Fear og Robertson (1995), ref. (5), Baldi et. al. (1986), ref. (6), samt Kulhawy and Mayne (1990), ref. (7).



Figur 2 Tolkning av CPTU-7 iht. Fear and Robertson, ref. (4)

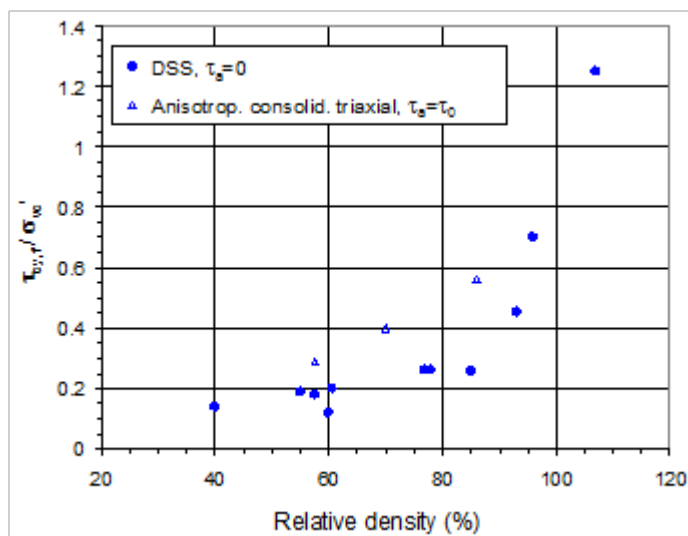


Figur 3 Tolkning relativ lagringstetthet fra CPTU-7 iht. ref. (5) og (6)

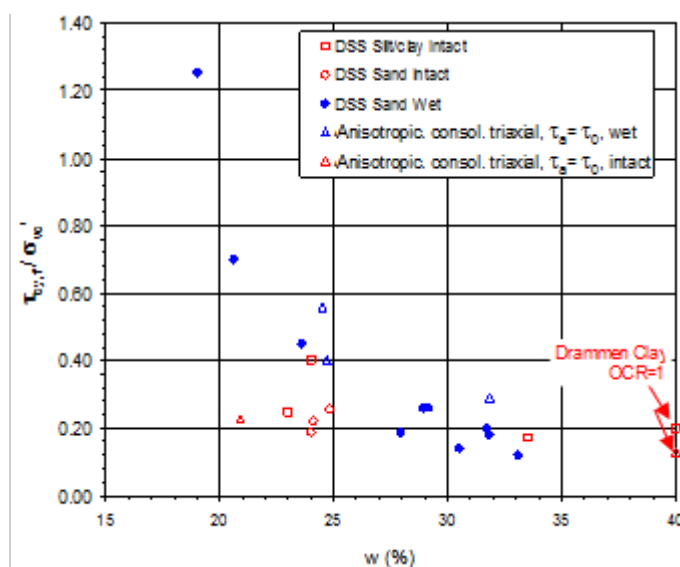
Tolkningen av CPTU-7 viser meget løst lagret sand og silt som klart faller innenfor grensene til et kontraktivt materiale. Relativ lagringstetthet ligger under 20 % på det laveste. Det interessante området mht. utløsning av skredet ligger i området 18 – 20 meter dybde. Tolkning av relativ lagringsfasthet er også presentert i ref. (1) for alle aktuelle CPTU i studieområdet.

På NGI er det utført sykliske treaksial- og direkte skjærforsøk (DSS) for å bestemme syklisk skjærfasthet (pkt. E i Figur 1). Data for syklisk skjærfasthet er normalisert mht. effektivspenning og korrelert blant annet mot relativ densitet (D_r) og vanninnhold (w), jf. ref. (3).

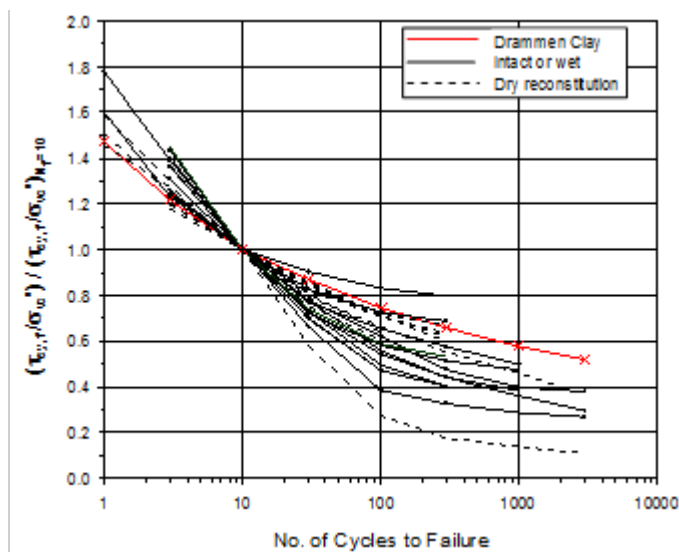
Med aktuell lagringstetthet av sand og silt, $D_r \sim 20\%$, og et vanninnhold på 30-35% indikerer Figur 4 og Figur 5 at syklisk skjærfasthet, normalisert mht. vertikal effektivspenning etter konsolidering, kan ligge i området 0,1 – 0,3 for antall lastsykler lik 10



Figur 4 Sammenheng mellom relativ lagringstetthet for sand og normalisert syklisk skjærstyrke som gir brudd etter 10 lastsykler, ref. (3)



Figur 5 Sammenheng mellom vanninnhold for sand og silt og normalisert syklisk skjærstyrke som gir brudd etter 10 lastsykler



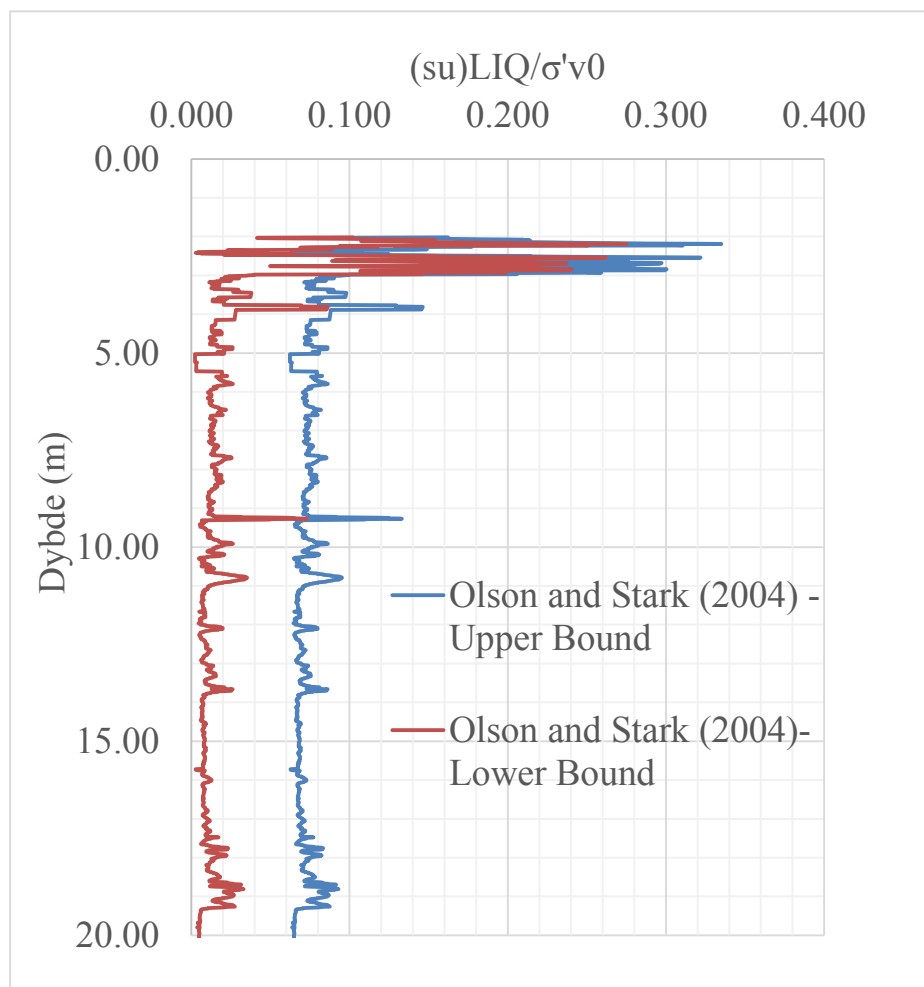
Figur 6 Sammenheng mellom normalisert syklisk skjærfasthet og antall sykler, ref. (3)

Figur 6 indikerer at syklisk skjærfasthet avtar med antall sykler jordmaterialet utsettes for.

Komprimeringen med vibrovals som ble utført i skredområdet på Statland forut for skredet medførte flere hundre lastsykler, jf. ref. (8). Dette medfører at syklisk styrke fra Figur 4 og Figur 5 må reduseres for antall sykler over 10.

Normalisert syklisk styrke har blitt benyttet til å bestemme størrelsen på området i skråningen som går til brudd pga. vibrokomprimeringen. I videre stabilitetsberegninger i områdene som er bedømt til å ha gått til brudd er det valgt å benytte normaliserte residualstyrker, s_{uDSS} / p_0' , som varierer mellom 0,05 – 0,15. Disse er estimert fra en syklisk bruddstyrke ved over 10000 sykler som innebærer at jorden er blitt utsatt for store påkjenninger at den har nådd en residualstyrkenivå.

Verdiene for residualstyrke over er sammenlignet med residualstyrke (eller liquified styrke) fra tolkning av CPTU-7 med korrelasjoner fra ref. (4), og plottet i Figur 7. Residual styrken er benevnt $(s_u)_{LIQ} / \sigma'_{v0}$ i Figur 7. Residualstyrken tilsvarer pkt. C i Figur 1. Sammenligningen viser at residualfasthet fra sykliske labforsøk (ref 3) er omtrent dobbelt så høye som residualfasthet fra tilbakeregninger av skred (ref 4). Det er dermed konservativt å benytte de labforsøkbaserte residualfasthetene i videre beregninger.



Figur 7 Tolkning av residualstyrke fra korrelasjoner i ref. (4)

3.5 Udrenert skjærfasthet i lag nr. 2; sand, silt og leire ("static liquefaction")

For at et jordmateriale av sand og silt skal gå til udrenert brudd ved statisk pålasting (pkt. B i Figur 1), må materialet belastes over enn bruddspenning tilsvarende 0,25 – 0,3 ganger vertikal effektivspenning, jf. ref. (4). Ved beregning av potensialet for "static liquefaction" har vi antatt følgende fasthet i sand og silt:

$$s_{uavg} = 0.27 \times p_0'$$

4 Stabilitetsberegninger

4.1 Beregningsprogrammer

Det er utført beregninger med GeoSuite stabilitet og GeoSlope. Beregningene er utført med lamellemetoden (Limit Equilibrium Method). Programmene regner horisontal-, vertikal- og momentlikevekt.

4.2 Kritiske profiler

Skredmorfologi og flodbølgeanalyser indikerer at det har gått et initialscred på østsiden og lengst ut i bukta i Sagvika, jf. ref. (1) og (9). I dette området har skråningen retning mot området hvor det ble registrert størst oppskylling fra flodbølgen som ble generert av skredet. Profil C antas å være det mest kritiske profilet, jf. Tegning 100. Marbakken er brattere og høyere i Profil A, men i det profilet er løsmassemektingen mindre. Både profil A og C ligger i området hvor det forut for skredet ble fylt opp, masseutsiftet og komprimert med vibrovals. Stabilitetsberegninger er utført for Profil C.

Det er også utført beregninger for Profil E som går midt igjennom det som iht. ref. (1) og (9) beskrives som "kvikkleireskredet – steg 2". Det skal ikke ha pågått anleggsvirksomhet i dette profilet.

4.3 Resultater for situasjonen før utbygging

Stabilitetsberegningene er utført med 3 ulike parameterforutsetninger ettersom datagrunnlaget er relativt begrenset, spesielt på stor dybde ute i sjøen. Usikkerheten antas først og fremst å bero på poretrykksforholdene og gjennomsnittlig romvekt av lag nr. 2; sand, silt og leire (innholdet av flis har stor betydning). Disse faktorene bestemmer effektivspeningsnivået som igjen har sammenheng med udrenert skjærfasthet i kvikkleirelaget (lag nr. 3). Det er derfor utført stabilitetsberegninger med 3 ulike forutsetninger:

- 1) Det antas at udrenert skjærfasthet i kvikkleire tolket fra CPTU-7 er riktig til tross for at målte romvekter og poretrykk tilsier et veldig lavt s_u^A/p_0' – forhold ($\sim 0,22$). CPTU-7 er vanskelig å se bort fra ettersom den ligger sentralt i skredgropa og går godt ned i kvikkleirelaget.
- 2) Det antas at riktig romvekt er lavere enn gjennomsnittet av målte verdier (mer flis i realiteten enn det prøveseriene kan tyde på). Når målte poretrykk legges til grunn vil tolket skjærfasthet i CPTU-7 stemme bra overens med et "normalt" s_u^A/p_0' – forhold.
- 3) Det antas at udrenert skjærfasthet i kvikkleire tolket fra CPTU-7 er for lav og at riktig skjærfasthet kan beregnes fra ut målte romvekter og poretrykk med et "normalt" s_u^A/p_0' – forhold.

I tillegg er det utført beregninger med forutsetning om hydrostatisk poretrykk i stedet for poreovertrykk (kun kritisk glideflate).

Resultatet av stabilitetsberegningene er oppsummert i Tabell 5. Beregningsresultatene for hydrostatisk poretrykk er angitt i parentes (under).

Tabell 5 Sensitivitet av parametere – inntakt styrke – Profil C

Glideflate	Beregningsresultat (σ_M)		
	(1) "Målt romvekt og poretrykk, s_u^A fra CPTU-7" Tegn. 300	(2) "Normal s_u^A/p_0' – match med CPTU-7 pga. lav romvekt "	(3) "Normal s_u^A/p_0' – målt romvekt og poretrykk - ikke match med CPTU-7" Tegn. 301
	$\sigma_{silt} = 18.7 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 30+2.4$	$\sigma_{silt} = 17.0 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 0.3 \cdot p_0'$	$\sigma_{silt} = 18.7 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 0.3 \cdot p_0'$
Kritisk (sirkulær)	0,9 (0,98)	0,97 (1,25*)	1,01 (1,25)
Sjøbunn etter skred	1,0	1,05	1,1

*Ikke match med CPTU (gjelder bare for $u_{silt} = 12 \text{ kPa/m}$)

Tilsvarende beregningsresultater for Profil E er vist i Tabell 6.

Tabell 6 Sensitivitet av parametere – intakt styrke – Profil E

Glideflate	Beregningsresultat (σ_M)		
	(1) "Målt romvekt og poretrykk, s_u^A fra CPTU-7" Tegn. 302	(2) "Normal s_u^A/p_0' – match med CPTU-7 pga. lav romvekt "	(3) "Normal s_u^A/p_0' – målt romvekt og poretrykk - ikke match med CPTU-7"
	$\sigma_{silt} = 18.7 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 30+2.4$	$\sigma_{silt} = 17.0 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 0.3 \cdot p_0'$	$\sigma_{silt} = 18.7 \text{ kN/m}^3$ $u_{silt} = 12 \text{ kN/m}^3$ ($u_{silt} = 10 \text{ kPa/m}^2$) $s_u^A_{leire} = 0.3 \cdot p_0'$
Kritisk (sirkulær)	0.84 (0.91)	0.96 (1.17*)	0.96 (1.16)
Sjøbunn etter skred	1.19	1.31	1.31

*Ikke match med CPTU (gjelder bare for $u_{silt} = 12 \text{ kPa/m}$)

Som det fremgår av Tabell 5 og Tabell 6, er det under de fleste av forutsetningene beregnet sikkerhet ned mot og under 1,0 for kritisk glideflate (marbakken).

Sikkerheten må i virkeligheten være minst lik 1,0. I de utførte beregningene er det imidlertid ikke tatt hensyn til effekten av innspenning (3-D effekt). Formen på skredgropa indikerer at det må ha vært en viss innspenningseffekt, spesielt i Profil E. En innspenningseffekt på ca. 15 % i dette profilet anses ikke som usannsynlig.

Det er interessant å se at forskjellen i beregnet sikkerhet mellom kritisk glideflate (marbakken) og glideflaten som følger dagens sjøbunn er ca. 10 % i Profil C og 30 - 40 % i Profil E. Det siste skulle tilsi at skredet med stor sannsynlighet har utviklet seg retrogressivt innover i bukta (langs Profil E). I Profil C, hvor forskjellen i beregnet sikkerhet er betydelig mindre, kan skredet ha gått mer eller mindre i ett. Tegning 301 viser hvordan beregnet sikkerhet varierer med glideflatenes beliggenhet i forhold til marbakken.

Beregningene som er utført med hydrostatisk poretrykk viser at kritisk glideflate får ca. 8-24 % bedre sikkerhet under denne forutsetningen enn når det forutsettes poreovertrykk iht. det som er målt i pkt. 5. Det antas å ha vært et poreovertrykk, i det minste i nivå med kvikkleirelaget. Dannelsen av kvikkleire betinger gjennomstrømming av ferskvann, og da må det ha vært et poreovertrykk nedenifra (fra fjell eller masser over fjell med høyere permeabilitet). I de sandige og siltige massene nærmere sjøbunnen, er det sannsynlig at poretrykket har vært hydrostatisk. Effektivt overlagingstrykk synes dessuten å bli for høyt til å gi et godt samsvar med et løst lagret materiale ($D_r < 20\%$) når det forutsettes hydrostatisk poretrykk (slik CPTU-sonderingene indikerer). Et lavere effektivt overlagingstrykk anses som mer sannsynlig i og med at CPTU-sonderingene gir det beste datagrunnlaget for forholdene ute i sjøen. Vi har derfor mest tiltro til beregningene som er basert på tolkning av CPTU. Det siste skulle tilsi at sikkerhetsnivået mest sannsynlig har ligget nær 1,0 i situasjonen før anleggsarbeidene tok til.

I Profil E er det også utført en beregning for situasjonen før utfylling ifm. sagbruksdrift i Sagvika. Denne beregningen er utført uten vekt av fyllmasser, og udrenert skjærstyrke er redusert noe for å ta hensyn til at effektivt overlagingstrykk historisk sett har vært lavere enn rett før skredet. Sikkerheten for kritisk glideflate i marbakken blir ikke vesentlig forskjellig (lite fyllmasse så langt ut i sjøen), men sikkerheten for den sammensatte glideflaten langs sjøbunnen etter skredet blir vesentlig høyere, ca. 1,5 (1,19 like før skredet). Dette kan tyde på at utfylling ifm. sagbruksdriften har forverret stabilitetsforholdene betydelig i de indre delene av Sagvika.

4.4 Resultater for situasjonen etter masseutskifting og oppfylling

Det er kun utført beregninger for Profil C. I Profil E ble det ikke fylt opp og masseutskiftet før skredet.

Det som er mest interessant å se på i denne sammenhengen er den relative endringen av sikkerhetsnivået som følge av anleggsarbeidene. Kritisk glideflate for situasjonen før oppfylling (marbakken) ligger utenfor det oppfylte området og påvirkes ikke. Glideflaten som følger sjøbunnen etter skredet blir imidlertid påvirket. Det er utført beregninger iht. beregningsforutsetning (1). Resultatene er vist Tabell 7.

Tabell 7 Effekt av masseutskifting og oppfylling i Profil C

Glideflate	γ_M (før oppfylling)	γ_M (etter oppfylling) Tegn. 303	%-vis endring
Lokal glideflate	2.01	2.01	-
Sjøbunn etter skred	1.00	0.99	1

Lokalstabiliteten påvirkes lite. Kritisk glideflate lokalt ligger helt ut på kanten av den gamle fyllinga. Kritisk glideflate blir beregningsmessig den samme etter masseutskifting og oppfylling.

For stabiliteten av hele marbakken er også påvirkningen av masseutskifting og oppfylling liten (1 %).

Fjellforløpet er imidlertid av stor betydning for beregnet sikkerhet. Dersom fjellet ligger dypere enn antatt blir effekten av masseutskifting og oppfylling større; dvs. i tilfelle fyllinga strekker seg lenger ut på de bløte løsmasser enn antatt.

Det er også utført en beregning av sikkerheten mot udrenert brudd i lag nr. 2; sand, silt og leire pga. statisk pålastning ("static liquefaction"). En sone nærmest fyllinga er modellert som udrenert materiale med skjærfashtet som angitt i kap. 3.5.

Tabell 8 Effekt av masseutskifting og oppfylling i Profil C – "static liquefaction" i sand og silt

Glideflate	γ_M (før oppfylling)	γ_M (etter oppfylling) Tegn. 304	%-vis endring
Lokal glideflate	2.01	1.4	30

Beregningene viser at sikkerheten under udrenerte betingelser er vesentlig lavere enn for drenerte betingelser. Likevel er sikkerheten mot "liquefaction" god. Det anses derfor som usannsynlig at masseutskifting og oppfylling alene har medført flyteskred.

4.5 Resultater av beregninger med påvirkning fra rystelser

Komprimering med vibrovals ble utført kort tid før skredet, mens siste sprengning ble foretatt flere måneder tidligere. Det er derfor utført beregninger av sykliske skjærspenninger som følge av komprimering med vibrovals, jf. ref. (8). Influensområdet, dvs. den sonen i skråningen som har gått til syklisk brudd / "liquefaction", er fremkommet ved å sammenligne beregnede sykliske skjærspenninger med syklisk skjærstyrker. I stabilitetsberegningen er det blitt benyttet en residualstyrke i de soner som er beregnet til å ha gått til brudd.

Bestemmelse av syklisk skjærfasthet er beskrevet i kap. 3.4. Det er utført beregninger med to ulike forutsetninger for å se på sensitiviteten i sikkerhetsfaktoren grunnet variasjon i residualskjærfasthet, jf. Tabell 9.

Tabell 9 Sensitivitet av parametere – residualstyrke – Profil C

Beregningsresultat (g _M)					
Referanse "In-situ" skjærfasthet (uten nedsatt fasthet) Beregn.foruts. (1)		(I) $s_u^A = 0.05 \times p_0'$ Tegn. 306		(II) $s_u^A = 0.15 \times p_0'$ Tegn. 305	
Lokal glideflate	Dyp glideflate – dagens sjøbunn	Lokal glideflate	Dyp glideflate – dagens sjøbunn	Lokal glideflate	Dyp glideflate – dagens sjøbunn
2.01	1.0	0.37 (-82%)	0.93 (-7%)	0.88 (-56%)	0.97 (-3%)

Beregningene viser at effekten av syklisk brudd / liquefaction i laget av sand og silt er stor lokalt (50 – 80 % reduksjon av sikkerheten). Også for glideflaten som følger dagens sjøbunn er effekten betydelig (3 – 7 % reduksjon).

Fjellforløpet er av betydning for de beregnede sykliske skjærspenningene. Dersom antatt bergoverflate avviker noe fra antatt profil så endres resonansfrekvenser og til noen grad amplituder, men størrelse på bruddsoner endres trolig ikke veldig mye. Dersom fjellet ligger meget dypere enn antatt blir effekten av rystelsene mindre; dvs. de sykliske skjærspenningene blir lavere og sonen som går til syklisk brudd / liquefaction reduseres. I dette sammenhengen påpeker vi at det er ikke blitt tatt hensyn til bløte lag i beregningene utført i dette prosjektet. Slike lag kan ha en forverrende effekt på vibrasjonenes størrelse (10).

5 Oppsummering - stabilitetsberegninger

Til tross for at det er utført grunnboring i området, er det begrenset med data for kvikkleirelaget ute i sjøen. Dette skyldes at kvikkleirelaget ligger dypt og er

vanskelig å nå med prøvetaking og CPTU. Det er derfor utført beregninger med ulike forutsetninger for å studere effekten av usikkerhet i parameterbestemmelsene.

Kun under forutsetning om hydrostatisk poretrykk og normalt s_u^A/p_0' – forhold ($s_u^A = 0,3 \times p_0'$) er det beregnet sikkerhet vesentlig over 1,0 (1,25 i Profil C). Utførte poretrykksmålinger viser poreovertrykk i 10 meter dybde. Med tanke på fjelltopografi og dannelse av kvikkleire anses det også som mest sannsynlig at det har vært et poreovertrykk i dybden over et større område. Vi har mest tiltro til beregningene hvor det er forutsatt poreovertrykk og udrenert skjærstyrke basert på tolkning av CPTU. Det siste skulle tilsi at sikkerhetsnivået mest sannsynlig har ligget nær 1,0 i situasjonen før anleggsarbeidene tok til både i Profil C og E.

Under forutsetning om poreovertrykk indikerer alle beregningene at marbakken og deler av det mer lang-grunne området inn mot strandlinja var kritisk mobilisert forut for skredet. I Profil C strekker det kritiske området seg helt inn til land. I Profil E øker beregningsmessig sikkerhet betydelig innover mot land. Dette kan tyde på at skredet har utviklet seg retrogressivt innover i bukta (langs profil E), mens skredet kan ha gått mer eller mindre i ett i Profil C.

Stabilitetsberegninger tilsier at utfylling og sedimentasjon ifm. tidligere sagbruksdrift har forverret stabilitetsforholdene betydelig i de indre delene av Sagvika.

Beregningene som er utført for å se på effekten av masseutskifting, oppfylling og komprimering, forutsetter fjellkontakt nesten helt ut til kanten av det oppfylte området. Fjelltopografien er lagt inn basert på fjell i dagen og utførte boringer. Her er det en viss usikkerhet ettersom fjelltopografien erfaringsvis kan variere en god del.

Det er beregnet liten påvirkning fra masseutskiftingen og oppfylling til kt. +3,0. Lokalt blir kritisk glideflate liggende upåvirket ved kanten av den gamle sjetéen. En dyp, sammensatt glideflate langs innmål sjøbunn etter skredet får også minimal påvirkning av tiltakene.

Tolkning av CPTU-sonderinger viser et løst lagret materiale av sand, silt og leire som er utsatt for "liquefaction" / flyteskred.

Beregninger utført med tanke på "liquefaction" som følge av statisk pålastning gir god sikkerhet ($\gamma_M=1.4$).

Påvirkning fra rystelser forårsaket av komprimering med vibrovals kan ut fra beregningene ha vært betydelig. For den ugunstigste antagelsen av syklisk skjærfasthet blir en kileformet sone ned til kote -10 betydelig svekket. Dette medfører at lokal sikkerhet mot utglidning blir mindre enn 1,0, og at sikkerheten for hele marbakken blir redusert med 7 %. Også for den gunstigste antagelsen av syklisk skjærfasthet blir lokalstabiliteten redusert til under 1,0 i sikkerhet. Sikkerheten for hele marbakken blir redusert med 3%.

Stabilitetsberegningene indikerer isolert sett 2 mulige utløsningsmekanismer:

1. Lokalt brudd i marbakken og retrogressiv utvikling innover mot land.
2. Påvirkning fra den utførte komprimeringen medførte svekkelse av grunnen under fyllinga og et godt stykke ut i sjøen. Dette førte til utløsning av et primærskred ytterst i bukta (Profil A og C). Primærskredet kan ha gått mer eller mindre i ett. Det kan også tenkes at deler av fyllinga har glidd ut først og overbelastet det kritiske området som iht. beregningene ligger ute i sjøen. Primærskredet medførte redusert stabilitet av løsmassene lenger inn i bukta, og disse løsmassene raste ut gjennom en retrogressiv skredutvikling i kvikkleire.

Basert på en helhetsvurdering vurderer NGI utløsningsmekanisme nr. 2 som den mest sannsynlige utløsningsårsaken. Da er også annen informasjon lagt til grunn, f.eks. tidspunkt for skred og anleggsarbeider, skredmorfologi, flodbølgeberegninger mm.

6 Referanser


1. **NGI.** 20140347-01-TN. *Grunnforhold og skredmorfologi.* 2014-06-06.
2. **Karlsruud, K. Lunne, T. Kort, D.A. Strandvik, S.** CPTU - correlations for clays. *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693-702.* 2005.
3. **Andersen, K. H.** Bearing capacity under cyclic loading - offshore, along the coast, and on land. . *The 21st Bjerrum Lecture presented in Oslo.* 2007.
4. **Olson, S. M. Stark, T.D.** Yield strength ratio and liquefaction analysis of slopes and embankments. 2004.
5. **Fear, C. E. Robertson, P. K.** Estimating the undrained strength of sand: A theoretical framework." . *Canadian geotechnical journal* 32 (4), 859-870. 1995.
6. **Baldi, G. Belotti, R. Ghionna, V. Jamiolkowski, M. og Pasqualini, E.** Interpretation of CPTs and CPTUs; 2nd part: drained penetration of sands. *Proceedings of the Fourth International Geotechnical Seminar, Singapore, 143-56.* 1986.
7. **Kulhawy, P.H. og Mayne, F.H.** Manual on estimating soil properties for foundation design. *Electric Power Research Institute, EPRI.* 1990.
8. **NGI.** 20140347-03-TN *Innvirke av rystelser fra vibrovalse og sprengning på skråningsstabilitet.* 2014-06-06.
9. —. 20140347-02-TN. *Utløp og flodbølge.* 2014-06-06.
10. **NVE.** 7-2014 *Veileder. Sikkerhet mot kvikkleireskred.* April 2014.



Statland, utredning av skredteknisk årsak

NIFS

Oversiktskart

Status	
Original format	A-4
Tegningens filnavn	oversiktskart.dwg
Målestokk	150 000
	

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato
06.06.2014

Oppdragsnr.

20140347

Konstr./Tegnet
RMO

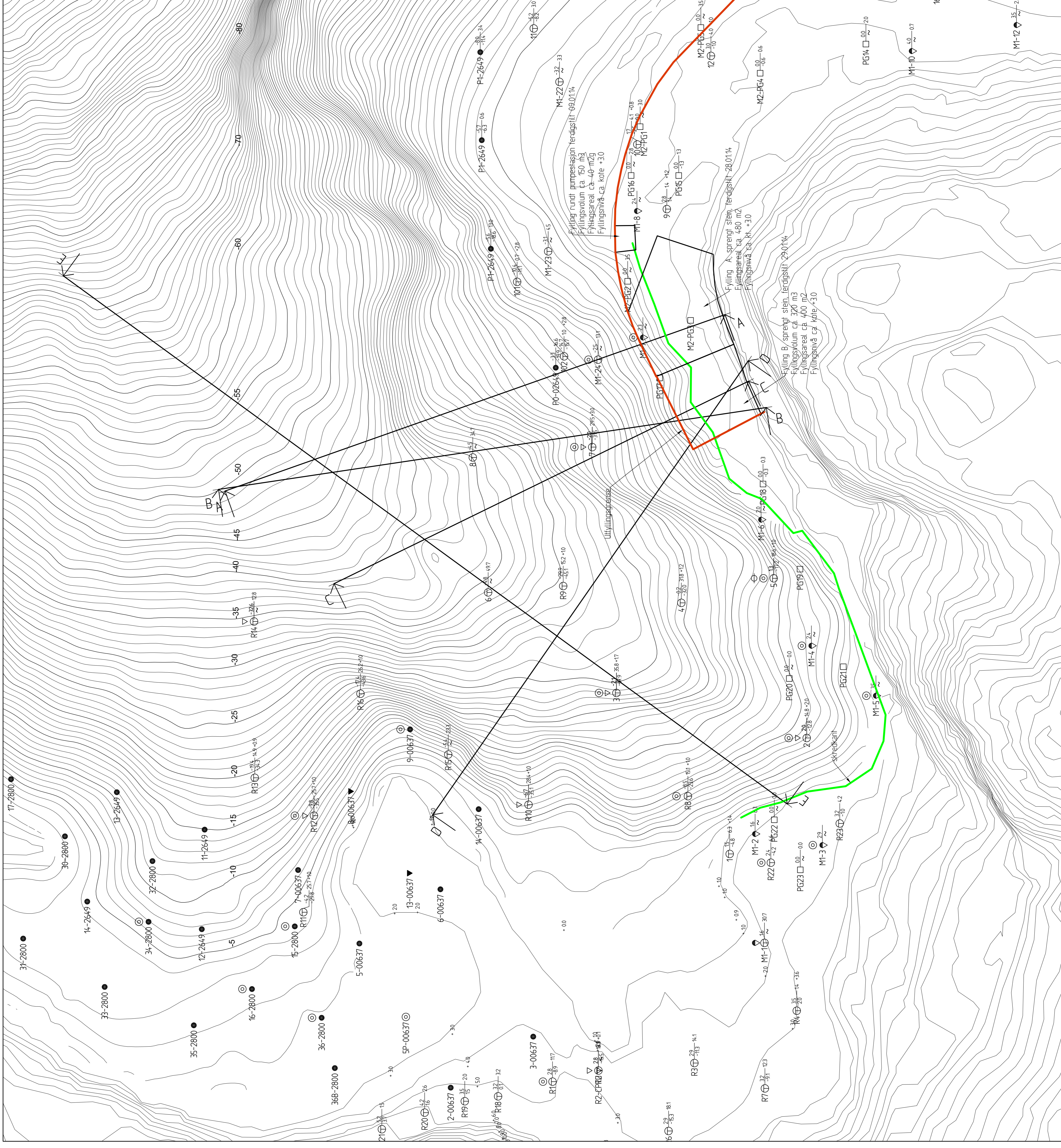
Tegningsnr.

001

Kontrollert
KK

Rev.

Godkjent
RMO



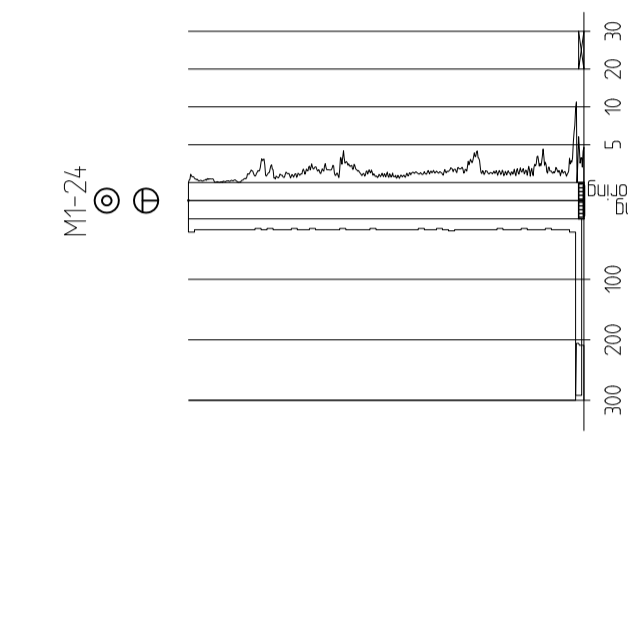
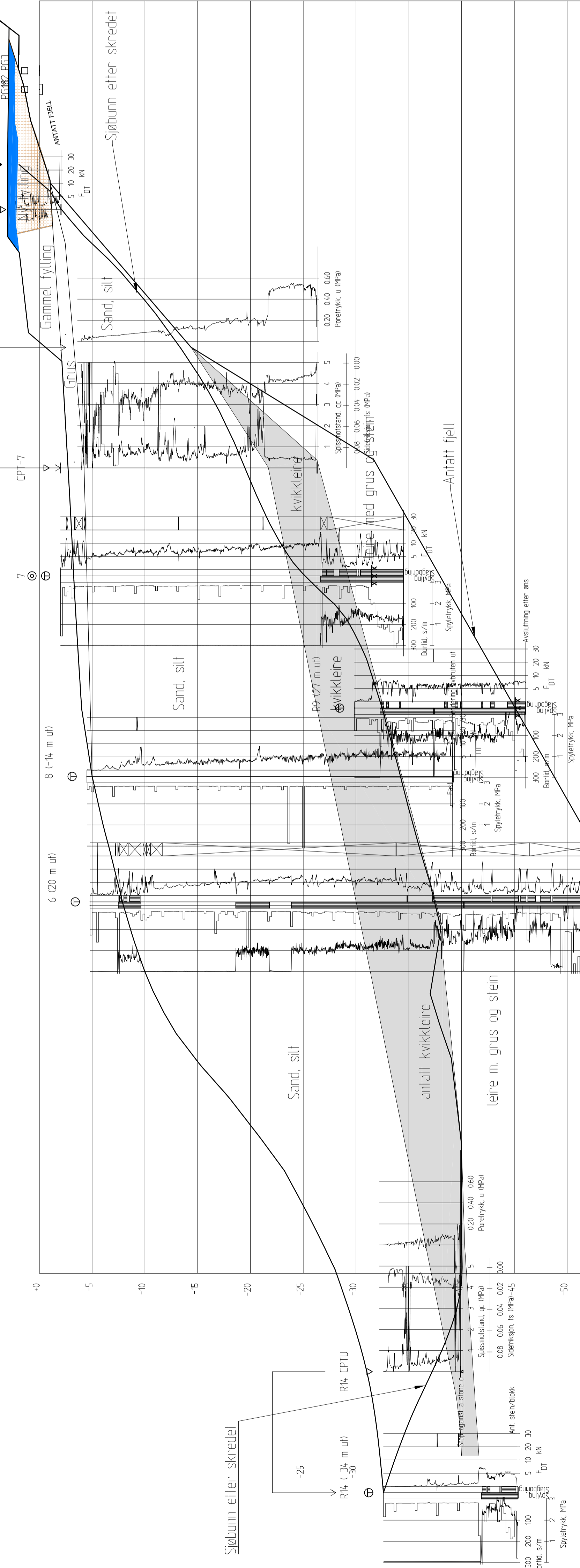
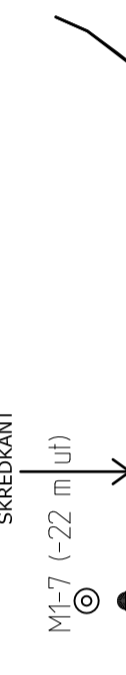
Rev	Beskrivelse	Dato	Utarbeidet	Rev	Utarbeidet

Statland, utredning av skredteknisk årsak NIFS		Original format A1 (A3 - 1:1000)	
Borlian Spjettumskoler etter skred		Borlian - Espen Bak	
1500		1500	
NGI		NGI	
Sognsvelen 72 - PO Box 9330 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Kontrollert K.K.	
2014-05-20		K.K.	
20140347		101	

FORKLARINGER:

MASSESKIFTING, ANTATT NIVÅ FOR MASSESKIFTING
BASERT PÅ PRØVEGRAVING PG17, M2-PG2 OG PRØVESERIE M1-7.
FYLING 28.1 OG 29.1, MEKTIGHET CA. 0,8m

SKREDDKANT
M1-7 (-22 m ut)



BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Rev.	Beskrivelse	Dato	Stads	Tegnr.	Kontnr.	Godek.
			Drageit trossal			
			Leigingsvis fram			
			A3-LL			
			Profil C - ragnardag			
			Målestakk			
			4250			

Statland, utredning av skredteknisk årsak
NIFS
Profil C
Tolket lagdeling fra boreriger

NGI
Sognsveien 72, PO Box 3030 Lillavei Stasjon
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato: 06.06.2014
Oppdragsnr: 20140347

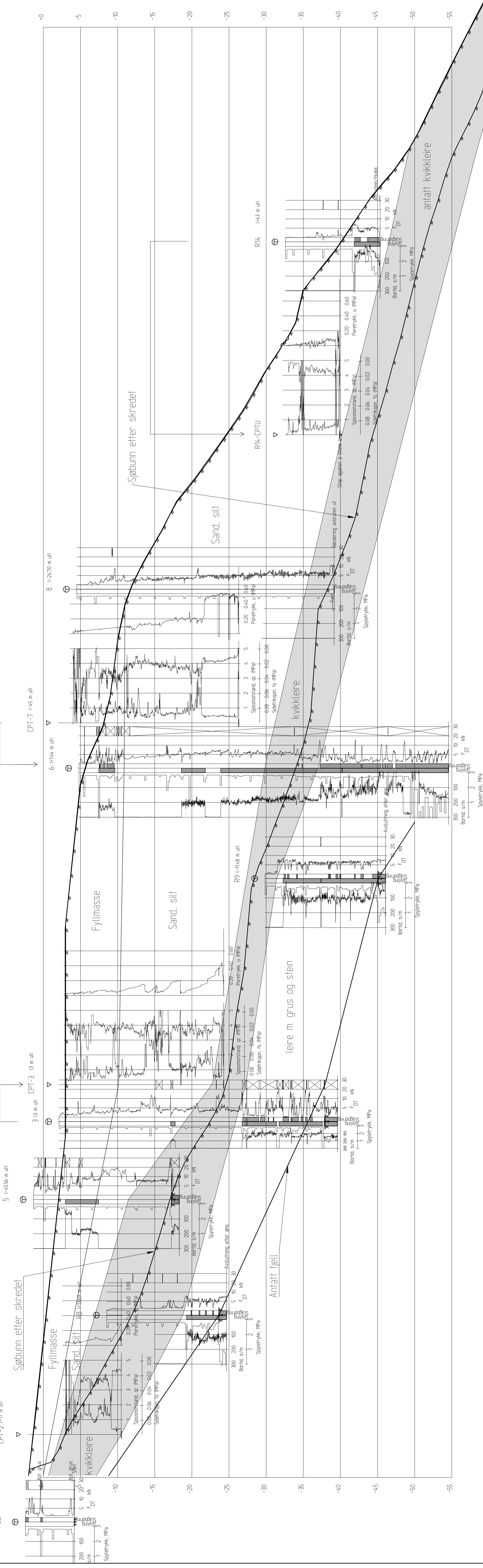
Konstr./Regul: RMO
Kontrollert: KK
Godkjent: RMO

Rev: 200

FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:



Statland, utredning av skredteknisk årsak
NIFS
 Profil E
 Tolket lagdeling fra boreriger

4250

NGI
 Sognsveien 72, PO Box 3830 Lillavei Station
 NO-0806 Oslo, Norway
 T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
 www.ngi.no

06.06.2014
 20140347

Godkjent
 RMO
 KK

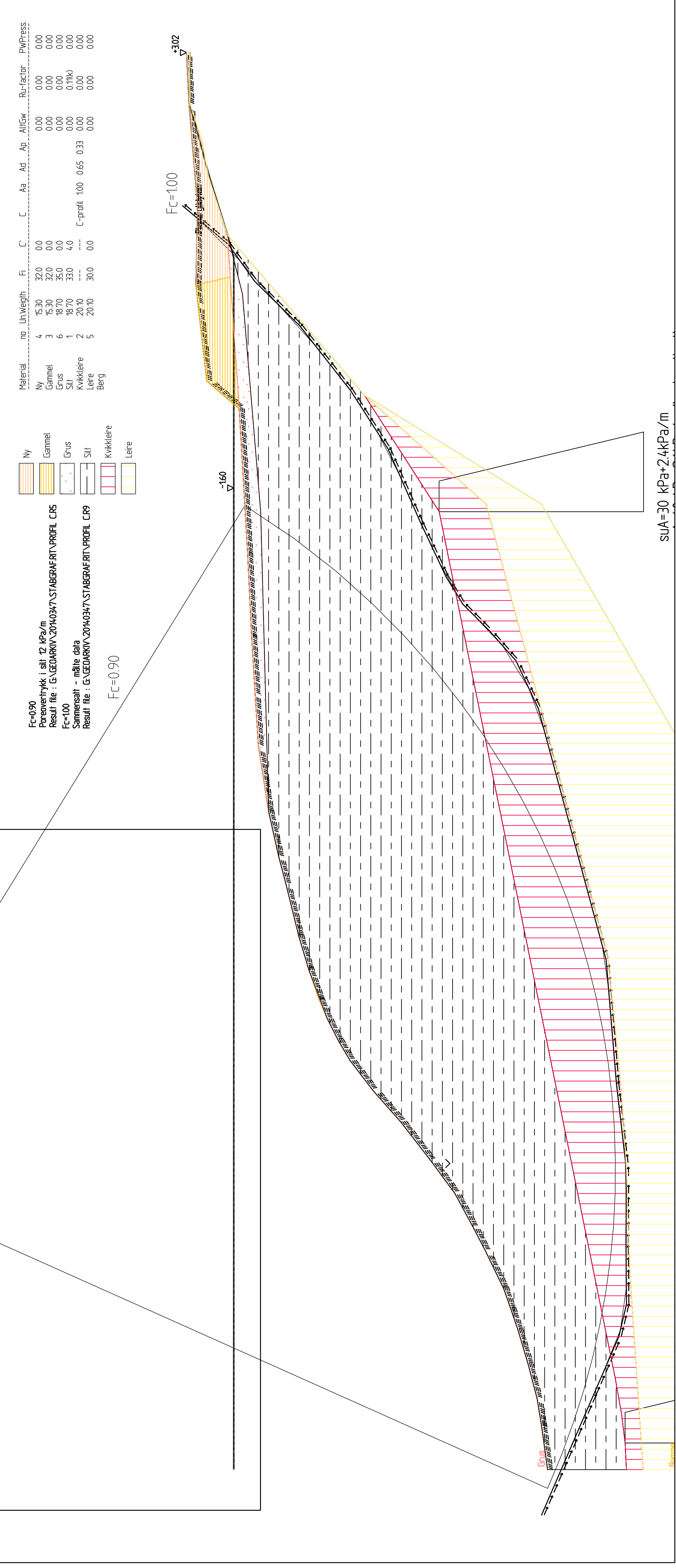
Rev. Beskrivelse Tegnet Kontr. Godk.

Statland
 Utredning av skredteknisk årsak
 Profil E - lagardning

4250

20140347

201



Fc=0.90
 Poreovertrykk i silt 12 kPa/m
 Result file : G:\GEDARKIV\20140347\STABGRAF\RT\PROFIL CR5
 Fc=1.00
 Sammensatt - målte data
 Result file : G:\GEDARKIV\20140347\STABGRAF\RT\PROFIL CR9

Ny	Gammel	Kvikkleire	Leire
Gammel	Grus		
Silt			

Material	no	Un	Weight	Fi	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-Factor	PWP/Press
Ny	4	15.30	32.0	0.0	0.0				0.00	0.00	0.00
Gammel	3	15.30	32.0	0.0	0.0				0.00	0.00	0.00
Grus	6	18.70	35.0	0.0	0.0				0.00	0.00	0.00
Silt	1	18.70	33.0	4.0	0.0				0.00	0.17(kk)	0.00
Kvikkleire	2	20.10	---	---	0.0	1.00	0.65	0.33	0.00	0.00	0.00
Leire	5	20.10	30.0	0.0	0.0				0.00	0.00	0.00
Berg											

FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Rev.	Beskrivelse	Dato	Status	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Statland, utredning av skredteknisk årsak NIFS						
Stabilitet - Profil C Situasjon før utfylling i januar 2014 Beregningsforutsetning (1)						
				1250		
Original format A-31 Tegningens linær Profil C.dwg Malstørrelse						
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 2014-05-22 Oppragsnr.		Konstr./Tegner RMO Tegningsnr.		Godkjent KK RMO
				20140347	300	



SUA=30 kPa+2.4kPa/m

FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Statland, utredning av skredteknisk årsak
NIFS

Stabilitet - Profil C
Situasjon før siste utfylling
Beregningforutsetning (3)



NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lillelva Station
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato
2014-05-22
Oppdragsnr.

20140347

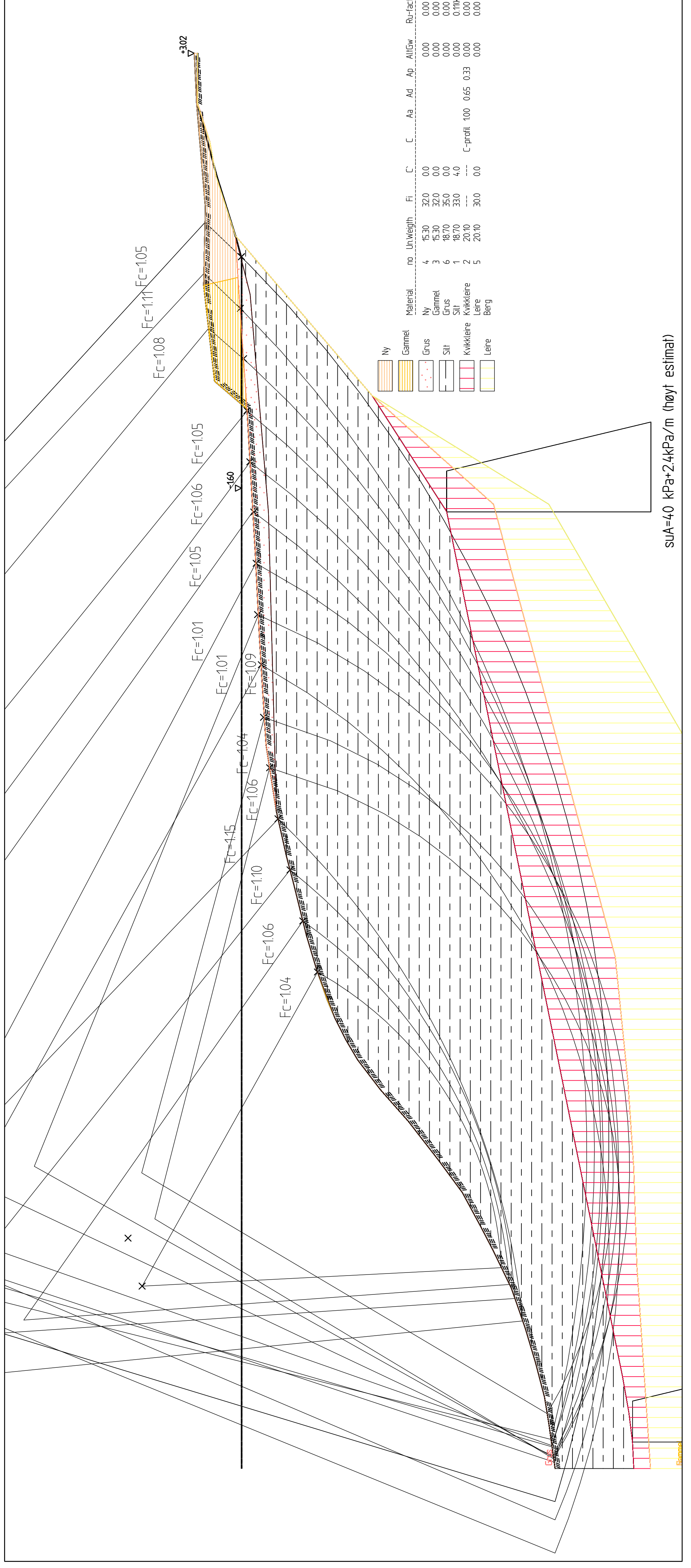
301

Konstr./Tegnet
RMo
Fegningsnr.

Kontrollert
KK
Godkjent

Rev.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontnr.	Godkj.



SUA=40 kPa+2.4kPa/m (høyt estimat)

FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Fc=0.99
Med fylling og masseutskifling
Resultat fil : G:\GEDARKIV\20140347\STABGRAF.RIT\PROFIL CR10

Fc=2.01
Lokalstabilitet
Resultat fil : G:\GEDARKIV\20140347\STABGRAF.RIT\PROFIL C_FYLLMASSE.R11

Fc=0.90
Kritisk
Resultat fil : G:\GEDARKIV\20140347\STABGRAF.RIT\PROFIL C_FYLLMASSE.R12

Ny

Gammel

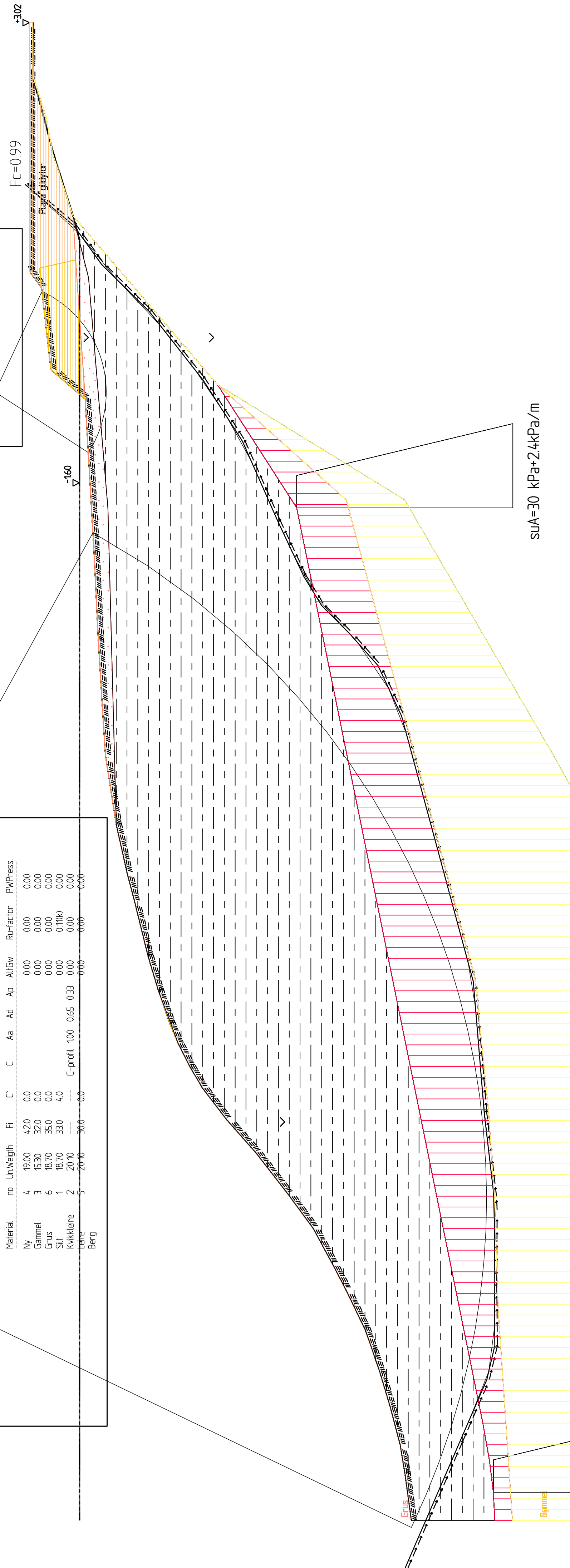
Grus

Silt

Kvikkleire

Leire

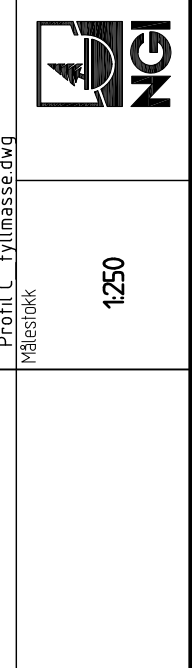
Material	no	Un	Weight	Fi	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-factor	PwPress.
Ny	4	19.00	42.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Gammel	3	15.30	32.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Grus	6	18.70	35.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Silt	1	18.70	33.0	4.0					0.11(k)	0.00	0.00
Kvikkleire	2	20.10	---	---					C-profil 1.00	0.65	0.33
Leire	5	20.10	300	0.0					0.00	0.00	0.00
Berg									0.00	0.00	0.00



Statland, utredning av skredteknisk årsak
NIFS

Stabilitet - Profil C
Situasjon etter utfylling januar
Beregningsforutsetning (1)
Lag nr. 2. Sand, silt, leire - drenert

1250



Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lulløvel Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

2014-05-22
Oppr. asnr.

20140347

303

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kont.	Godkj.

Status

Original format

A-31

Tegningens filnavn

Profil C_Fyllmasse.dwg

Målestokk

Kontrollert

KK

RMo

Rev.

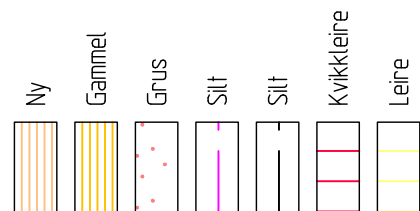
FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

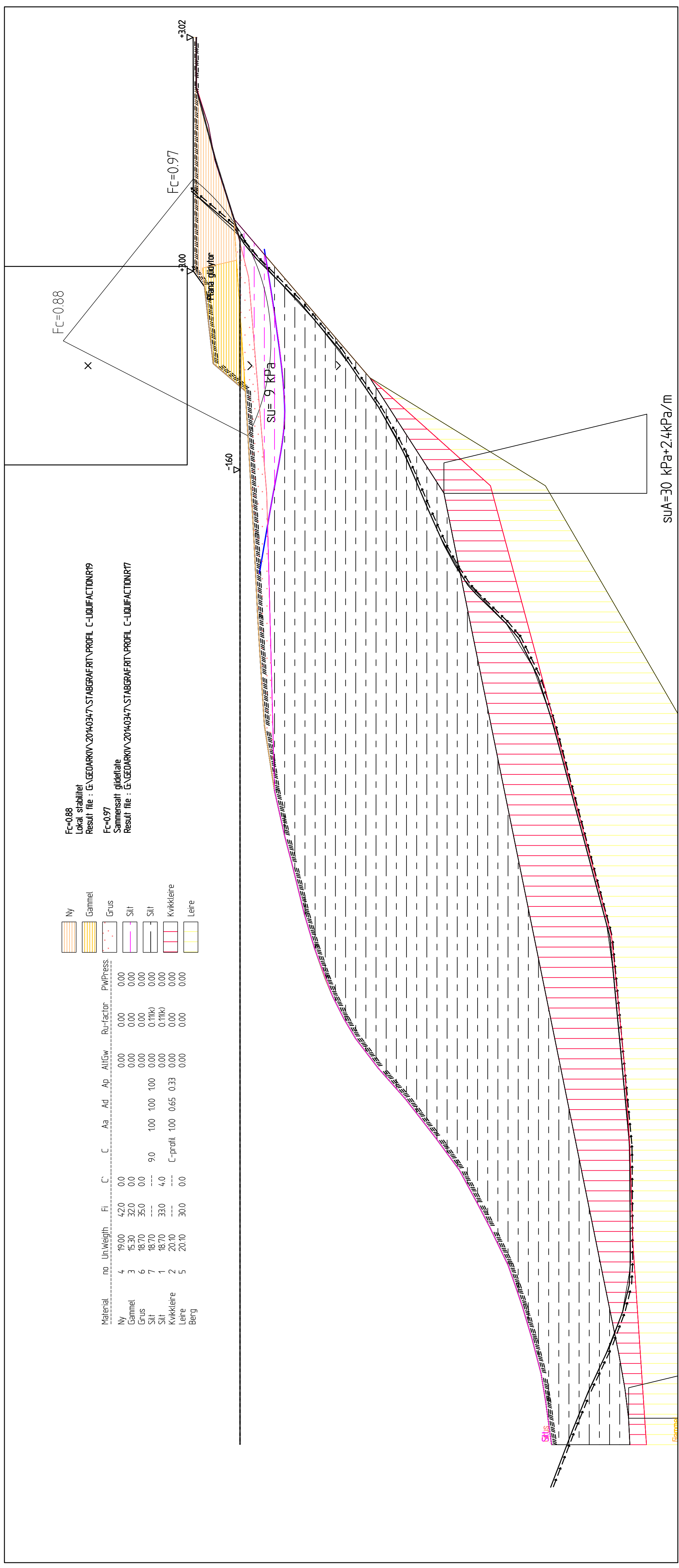
HENVISNINGER:

Fc=0.88
Lokal stabilitet
Result file : G:\GEODARKIVA\20140347\STABGRAFRIT\PROFIL C-LIQUIFACTIONR19

Fc=0.97
Sammenlagt glideflate
Result file : G:\GEODARKIVA\20140347\STABGRAFRIT\PROFIL C-LIQUIFACTIONR17



Material	no	Un	Weight	Fi	C	Aa	Ad	Ap	AltSw	Ru-factor	PwPress
Ny	4	19.00	420	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gammel	3	15.30	320	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grus	6	18.70	350	0.0	9.0	100	100	100	0.00	0.11(k)	0.00
Silt	7	18.70	330	4.0	C-profil	100	0.65	0.33	0.00	0.00	0.00
Kvikkleire	2	20.10	300	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Leire	5	20.10	300	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Berg											



Stadland, utredning av skredteknisk årsak
NIFS

Stabilitet - Profil C
Situasjon etter siste utfylling
Beregning forutsetning (1)
Syklisk styrke - $su/p0' = 0.15$

1250

NGI
Sognsveien 72 · PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato: 2014-05-22
Oppr.agsnr.:
20140347

Konstr./Tegner: RMO
Tegningsnr.:
305

Kontrollert: KK
Godkjent: RMO
Rev.:

Rev. Beskrivelse: Dato: Tegnr.: Kontr.: Godkj.

Status: Original format
A-3L
Tegningens linjeart: Profil C-liquifaction 0.15xp0' dwg
Målestokk:



Vedlegg A - Tolkning av laboratorieforsøk

Innhold

Tabeller

Tabell A1	Sammenstilling av treaksialforsøk
Tabell A2	Sammenstilling av ødometerforsøk

SAMMENSTILLING AV TREAKSIALFORSØK

TABELL A1 :

PRØVE IDENTIFISERING										INDEKSEGENSKAPER										KONSOLIDERING										STYRKEEGENSKAPER									
Hull nr.	Sylinder Del	Terreng kote	Dybde	Nivå	Jordart	w _l	w _p	I _p	Leir Innh.	d ₂₀ /d ₄₀ /d ₆₀	γ _{tot}	S _t	Type forsøk	p' _{0v}	σ' _{ac}	σ' _{rc}	K ₀ '	ε _{vol}	B	Δe/e ₀	OCR (ødon/antatt)	Prøve kvalitet	s _u (peak)	e (peak)	s _u (I%)	s _u /s _{ac} '	s _u /p ₀ '	a (m=0.75)	φ (phi)	atrasisjon									
			m			%	%	%	%	mm	kN/m ³			kPa	kPa	kPa		%	%				kPa	%	kPa		kPa			kPa									
2	3	2,0	5,50	-3,5	Sandig, sil	52,6			8,0	15/60/150	16,6		CAUa	38,0	42,0	33,0	0,79	2,52	93,0	0,04	2,4	2	23,0	1,00	23,0	0,55	0,61	0,31	33,0	4,0									
3	4	-2,2	9,45	-11,7	Sandig, sil	28,7			8,0	30/65/130	18,70		CAUa	61,0	92,0	63,0	0,68	1,68	85,0	0,04		2	43,0	0,80	43,0	0,47	0,70		33,0	4,0									
3	4	-2,2	9,55	-11,75	Sandig, sil	25,4			8,0	30/65/130	18,70		CAUp	61,0	97,0	68,0	0,70	3,07	84,0	0,08		3	11,0	2,00	10,0	0,11	0,18												
5	1	1,3	13,25	-11,95	Kvikkleire	28,7	24,0	6,0	42,0		20,30	103,0	CAUa	100,0	140,0	97,0	0,69	5,51	95,0	0,12	1,6	3	48,0	1,00	48,0	0,34	0,48	0,34	29,0	0,0									
R22		2,4	3,60	-1,20	Kvikkleire	29,10	18,6	3,6	35,0	x/3/10	20,10	59,0	CAUa	55,0	41,0	25,0	0,61	1,90		0,04	1,6	2	19,0	1,50	18,5	0,46	0,35	0,24	33,0	4,0									
R8	3	-8,54	5,40	-13,94	Kvikkleire	24,60					20,70	47,0	CAUa	44,0	124,0	85,0	0,69	4,40	94,0	0,11		3	38,0	0,50	37,0	0,31	0,86		30,0	0,0									
R8	3	-8,54	5,60	-14,14	Kvikkleire	25,20					20,70	47,0	CAUa	49,0	83,0	57,0	0,69	3,10	96,0	0,08		3	32,0	1,00	32,0	0,39	0,65		32,6	0,0									
R12		-9,8	4,25	-14,05	Leire								CAUa	32,0	50,0	30,0	0,60	3,00				2	16,0	1,50	16,0	0,32	0,50		31,8	0,0									
R12		-9,8	4,40	-14,20	Leire								CAUa	33,0	70,0	40,0	0,57	2,90				2	25,0	0,50	24,0	0,36	0,76		29,7	0,0									

Prøvekvalitet vurdert iht. Hb. 016 - Figur 2.21

SHANSEP-tolkning (a for m=0.75)

Klassifisering:

- 1 Meget god
- 2 God til bra
- 3 Dårlig
- 4 Meget dårlig

$$a = s_u^A / (p_0 * OCR^{0,75})$$

TABELL A2 :

SAMMENSTILLING AV ØDOMETERFORSØK

PRØVE IDENTIFISERING			KLASSIFISERING										TOLKNING AV DATA			
Borpunkt nr.	Forsøk	Dybde m	w _i %	w _p %	w _L %	I _p %	γ _T kN/m ³	e _i	Leir Innhold %	S _t	dV/V ved p ₀ ' %	De/e ₀ ved p ₀ '	Po' kPa	pc' kPa	OCR	Prøve- kvalitet
1	2	3	4	5	6	7	8	9			11	12				
2	CRSC	5,55	52,6				16,6	1,3	8,0		1,50	0,03	38,0	90,0	2,4	2
3	CRSC	9,62	30,0				18,8	0,8	8,0		2,00	0,05	61,0			2
5	CRSC	13,50	28,0	18,0	24,0	6,0	20,6	0,8	42,0	103,0	2,50	0,06	100,0	160,0	1,6	2
R22	CRSC	3,67	29,1	15,0	18,6	3,6	20,0	0,8	35,0	59,0	3,30	0,07	55,0	100,0	1,8	3

Prøvekvalitet vurdert iht. Hb. 016 - Figur 2.21

Klassifisering:

- | | |
|---|--------------|
| 1 | Meget god |
| 2 | God til bra |
| 3 | Dårlig |
| 4 | Meget dårlig |

w_i In-situ vanninnhold

w_p Utrullingsgrense

w_L Flytegrense

I_p Plastisitetindeks, I_p = w_L - w_p

g_T Total romvekt

e_i Initielt porettall

S_t Sensitivitet

p₀' In-situ effektivspenning

dV/V Volumtøyning ved p₀'

De/e₀ Endring i porettall ved p₀'

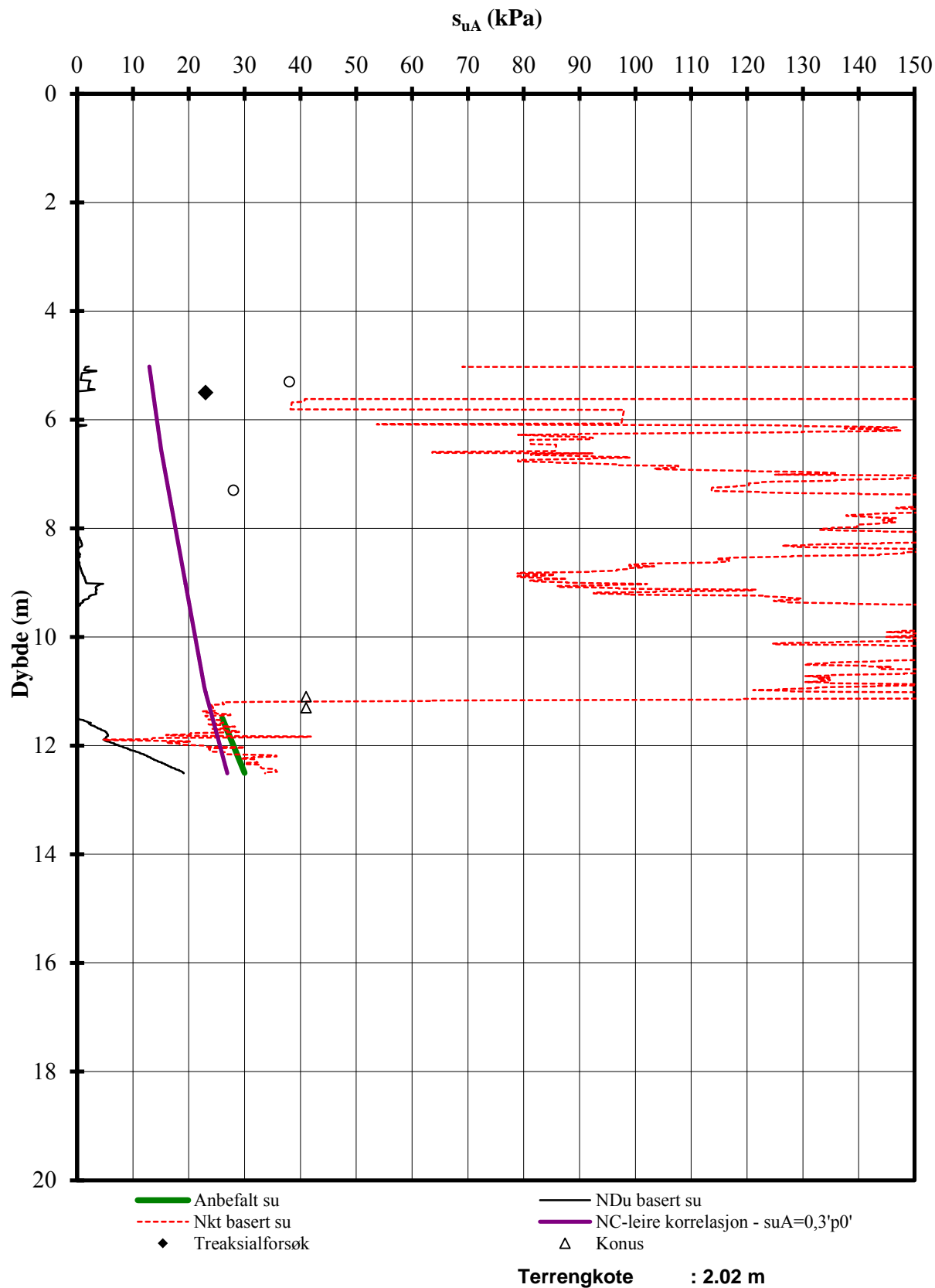


Vedlegg B - Tolkning av CPTU-sonderinger

Innhold

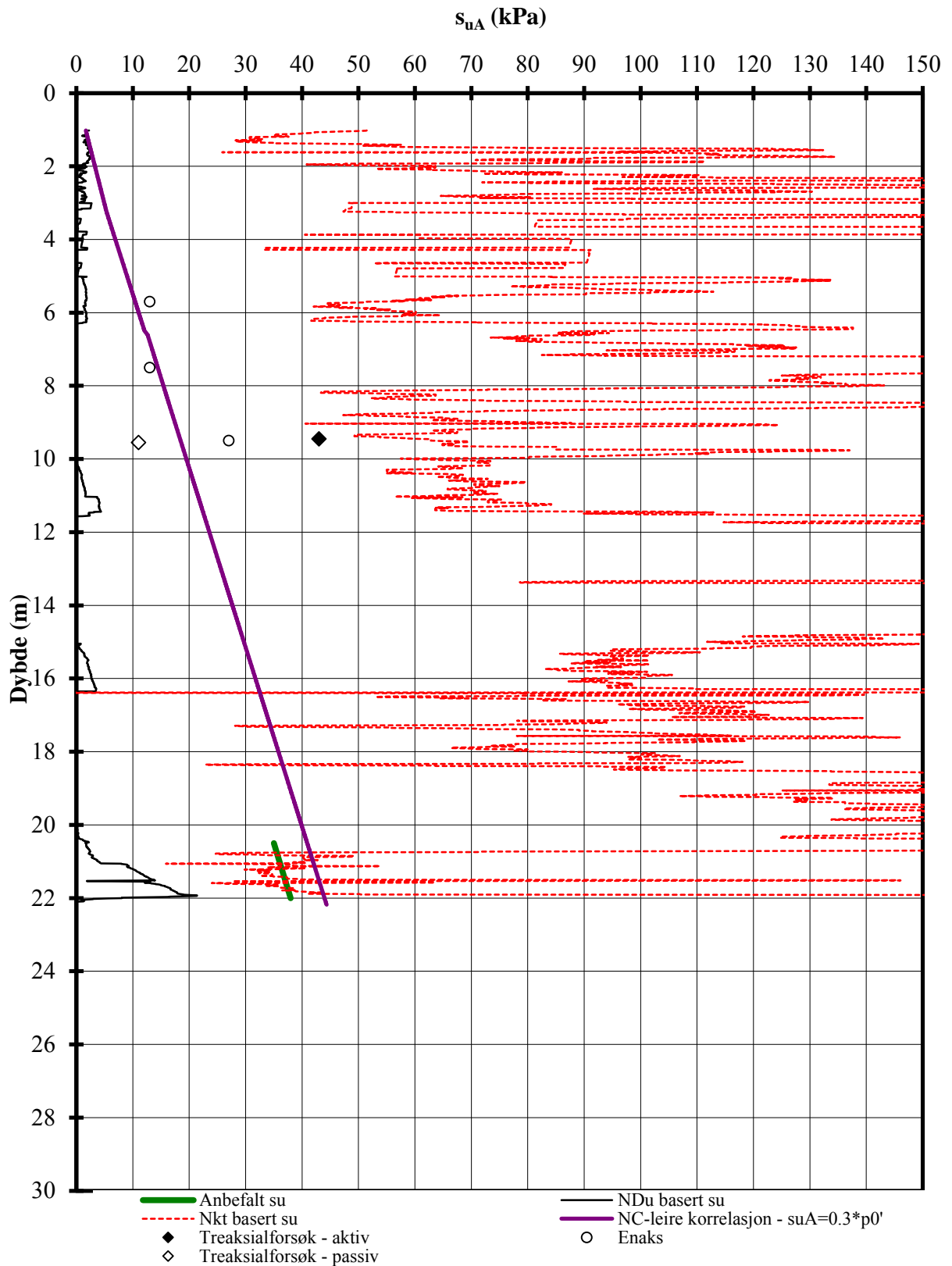
Figurer


Figur B1-B7 Aktiv skjærstyrke basert på CPTU

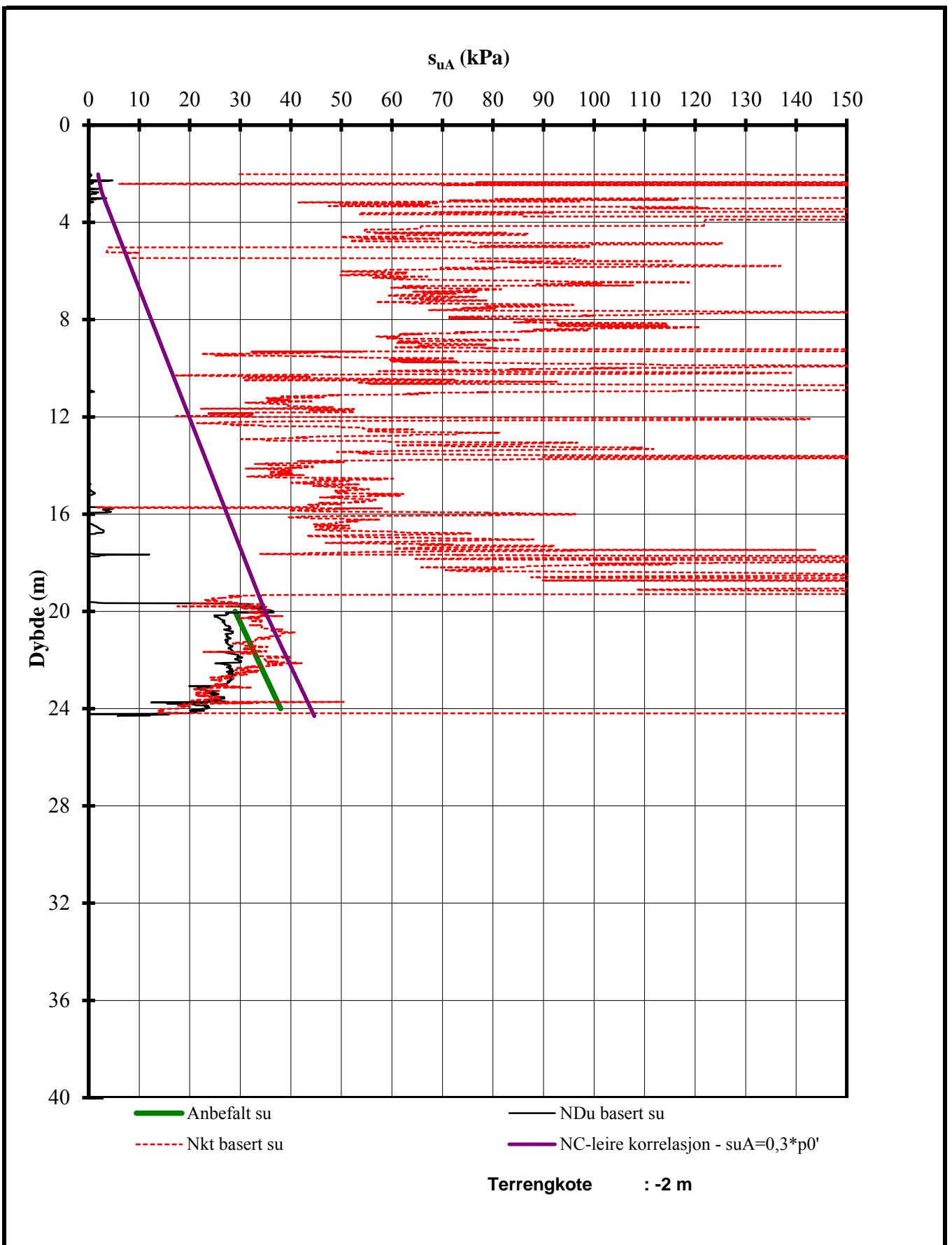



#VALUE!

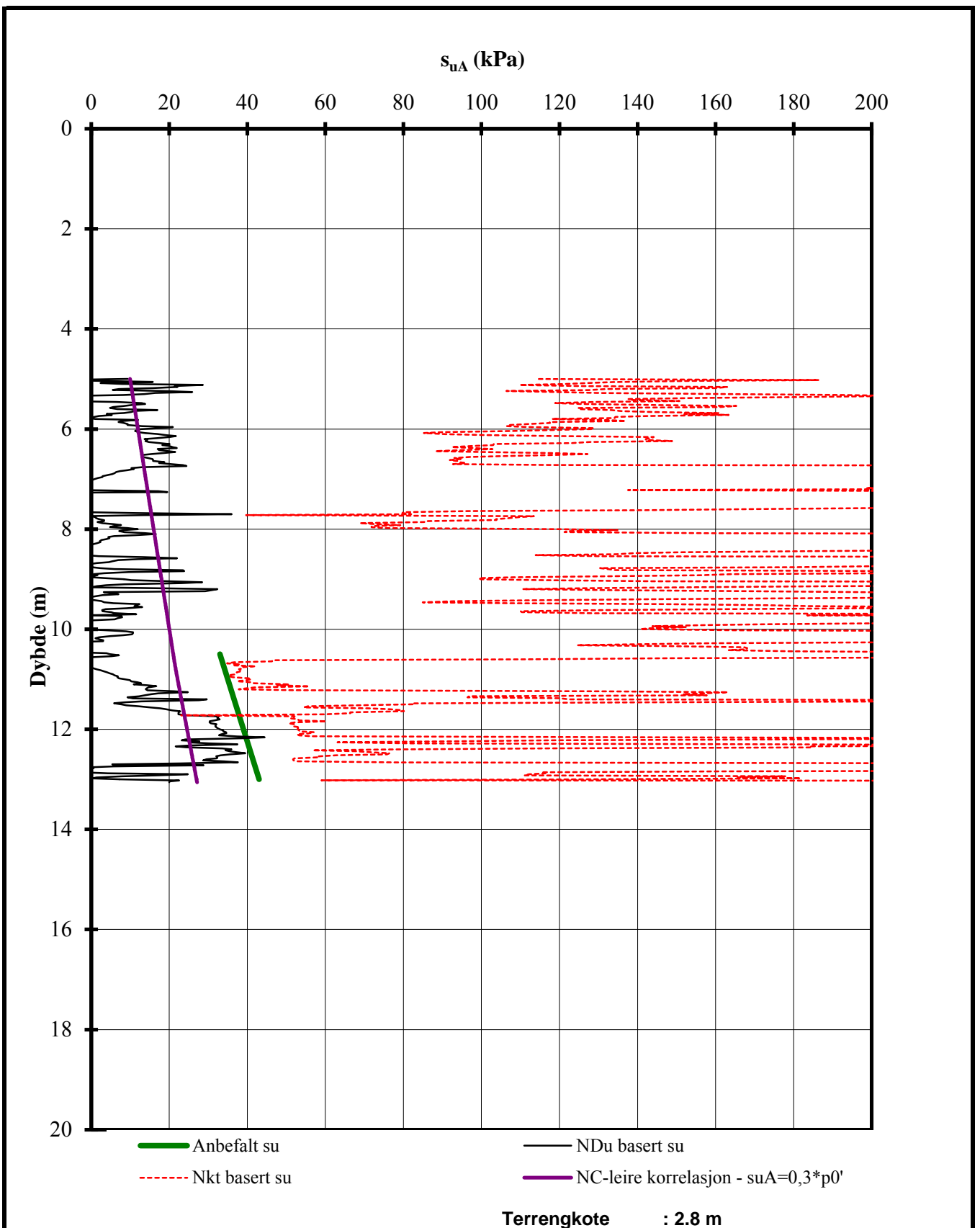
Statland - skredårsak	Rapport nr.	20140347	Figur nr.	B1
	Tegner	RMo	Dato	01.06.2014
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull2	Kontrollert	KK		
	Godkjent	RMo		



Statland - skredårsak	Rapport nr.	Figur nr.
	20140347	B2
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull3	Tegner	Dato
	RMo	01.06.2014
	Kontrollert	
Godkjent		
	RMo	

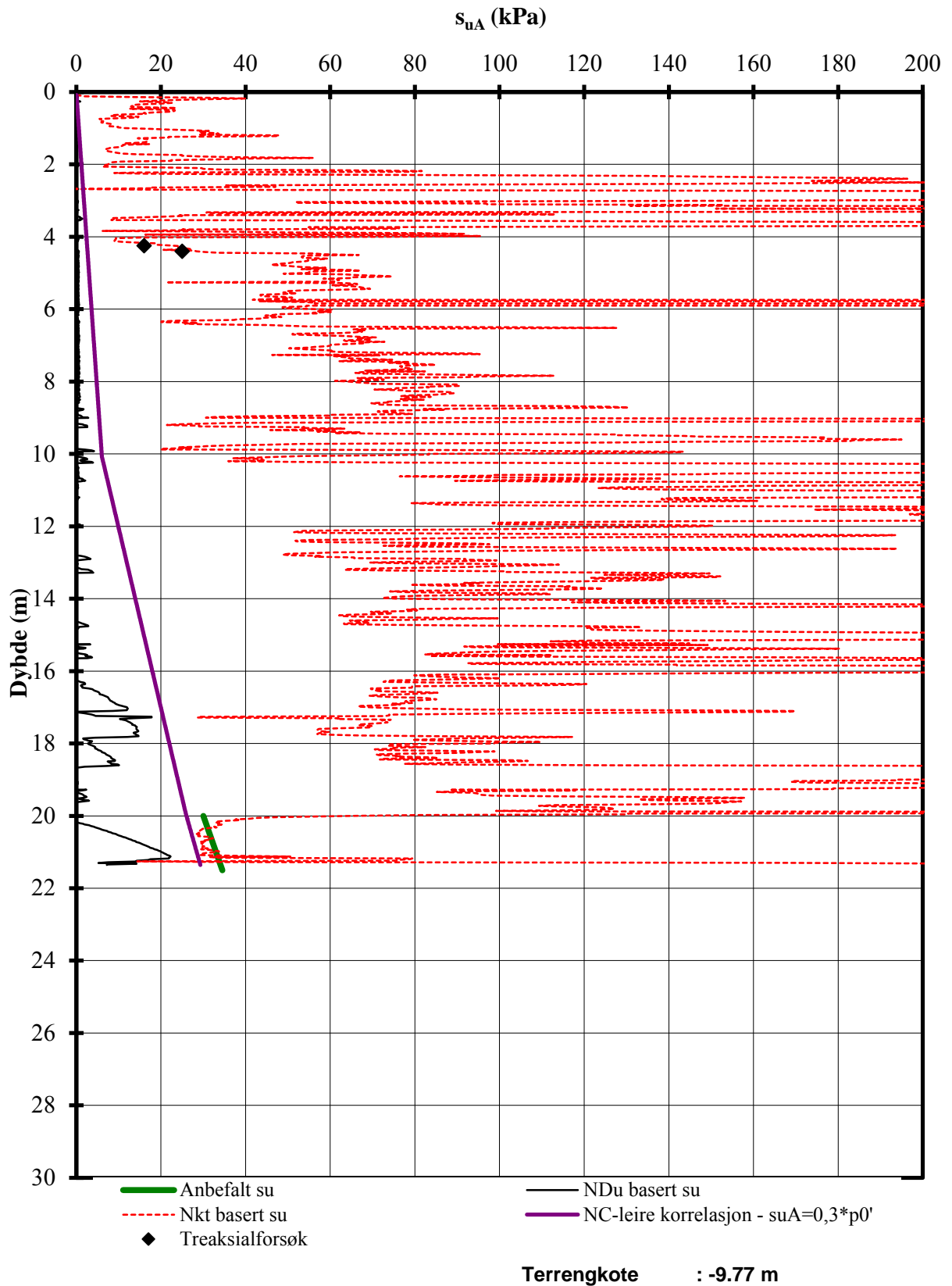



Statland - skredårsak	Rapport nr.	Figur nr.
	20140347	B3
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull7	Tegner	Dato
	RMo	01.06.2014
	Kontrollert	
Godkjent		
	RMo	

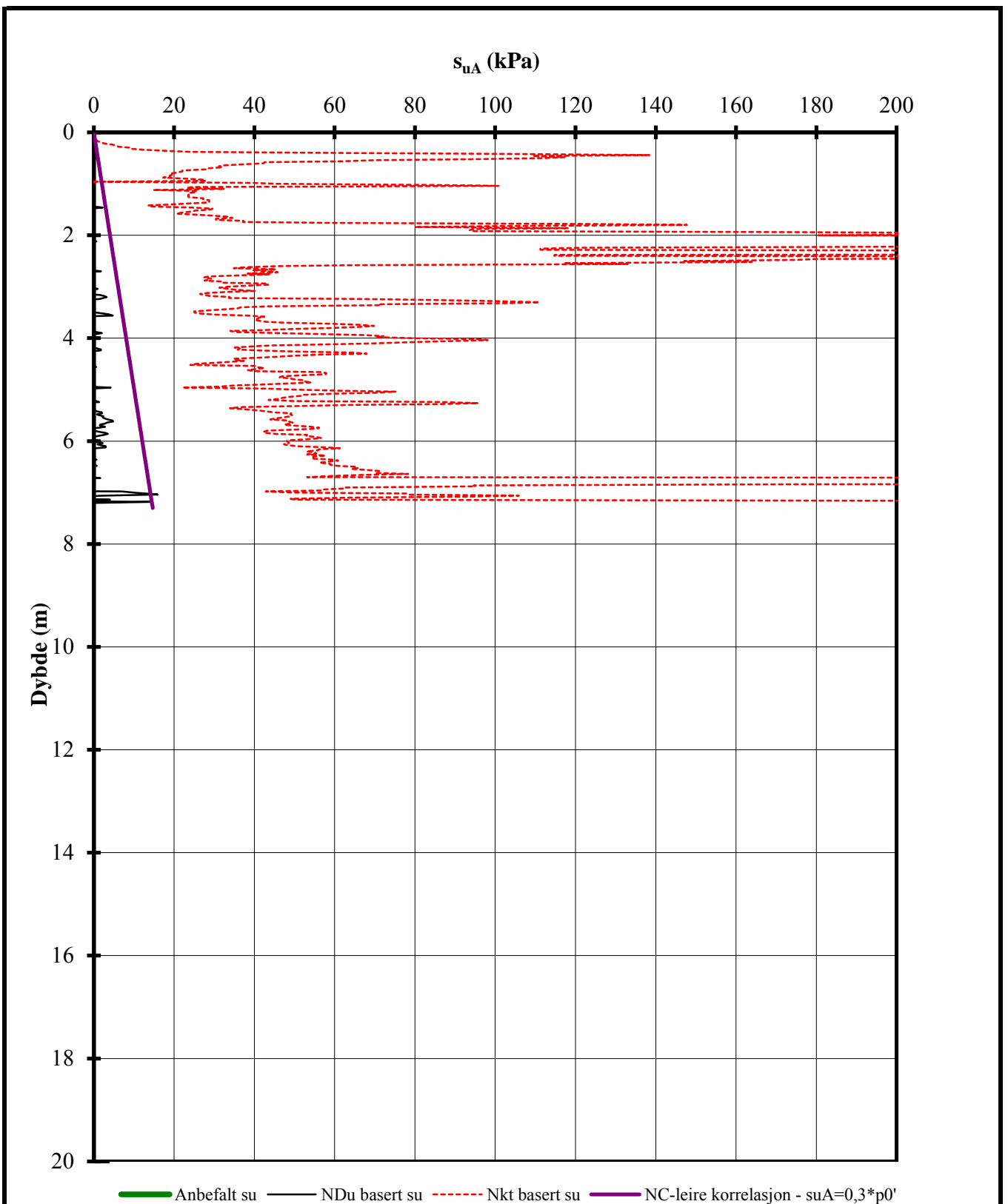


#VALUE!


Statland - skredårsak	Rapport nr.	Figur nr.
	20140347	B4
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. BorhullR2	Tegner	Dato
	RMo	01.06.2014
	Kontrollert	
Godkjent		
	RMo	



Statland - skredårsak	Rapport nr.	Figur nr.
	20140347	B6
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. BorhullR12	Tegner	Dato
	RMo	01.06.2014
	Kontrollert	
Godkjent		
	RMo	



Terrengkote : -32.6 m

Statland - skredårsak	Rapport nr. 20140347	Figur nr. B7
	Tegner RMo	Dato 01.06.2014
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. BorhullR14	Kontrollert KK	
	Godkjent RMo	

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Stabilitetsberegninger			Dokumentnr./Document No. 20140347-04-TN		
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 2014-12-04	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0	
Oppdragsgiver/Client NIFS NN-6.7.1					
Emneord/Keywords Skred, kvikkleire, flodbølge, rystelser, komprimering, oppfylling					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge, Nord - Trøndelag			Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality Namdalseid			Feltnavn/Field name		
Sted/Location Nord – Statland			Sted/Location		
Kartblad/Map 1623-1 Jøssund			Felt, blokknr./Field, Block No.		
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N7153850 E603732					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	RMo <i>RMo</i>	KK <i>KK</i>		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 4. desember 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager <i>Ragnar Moholdt</i> Ragnar Moholdt	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Sluppen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org.nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg.No. FS 32989

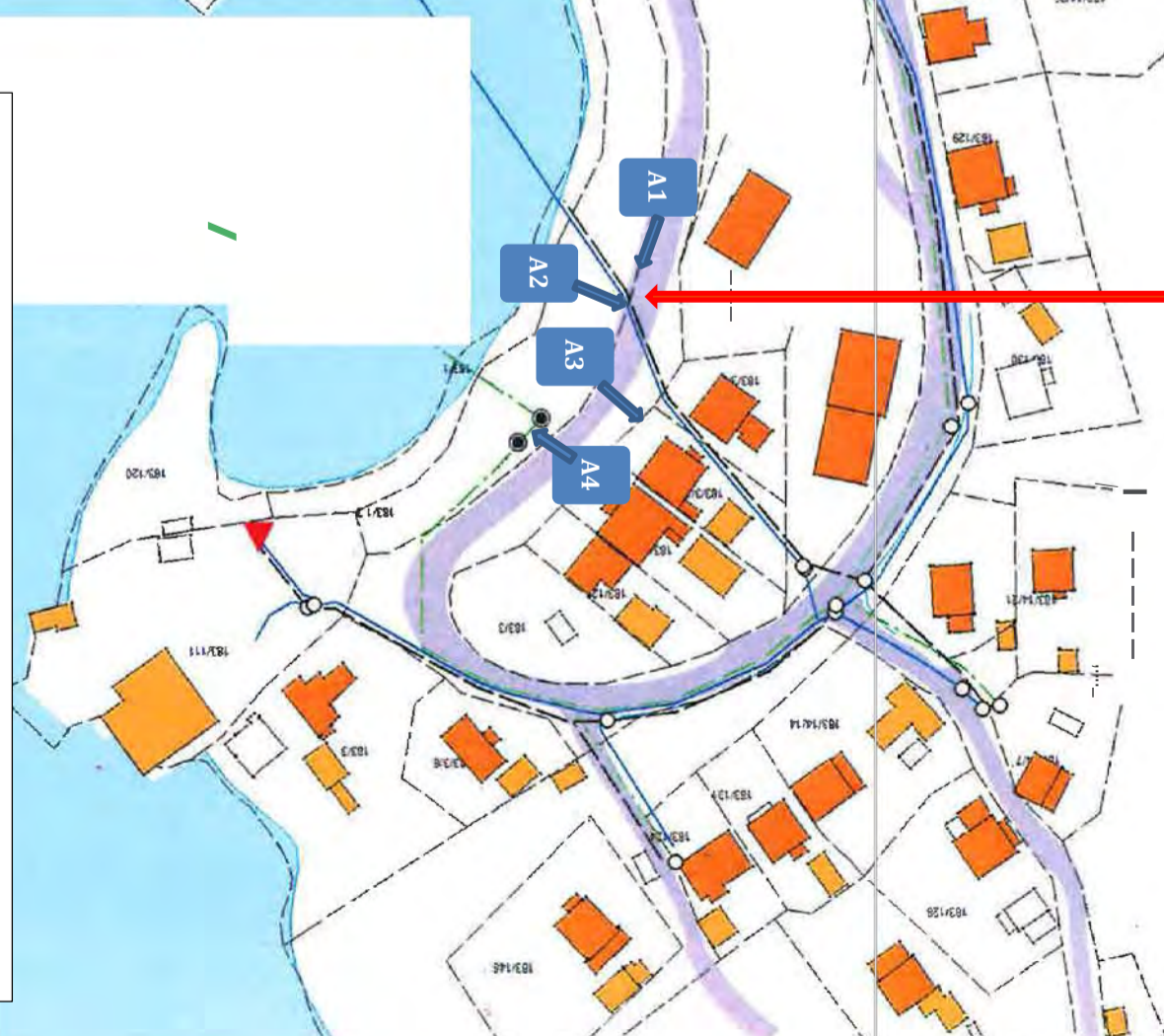
VEDLEGG E

Oversiktskart	s.1
Bildemontasje	s.2 - 25
Bildebeskrivelse	s.26

Bruddsted for VL-brudd 2
Statlandvegen 13 – Des.2013/Jan.2014



Område for VL-brudd 1
Sjøtrøa – Desember 2013



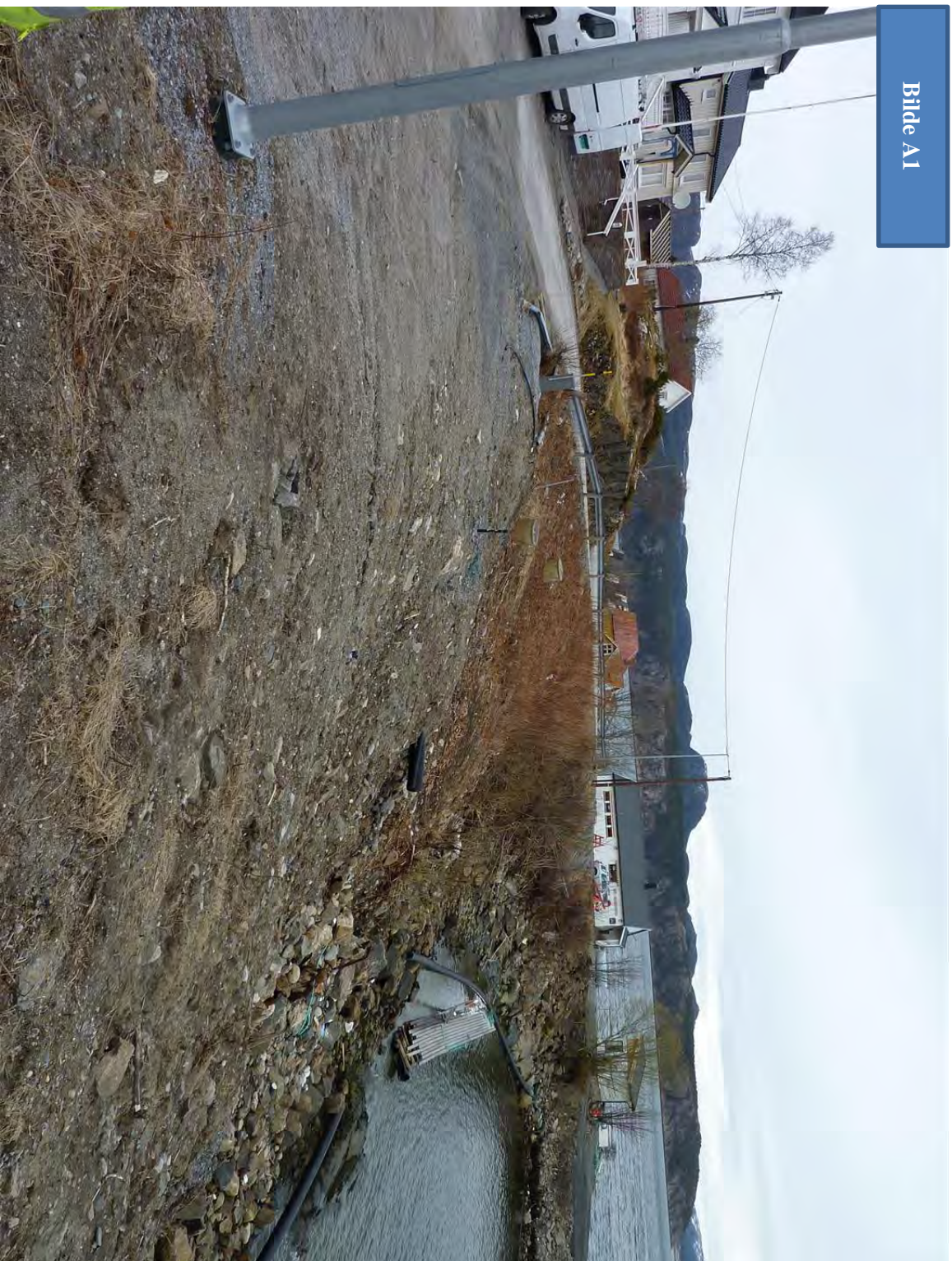
VEDLEGG E TIL RAPPORT KAP. 2.1.2 II) og 2.1.3 III)

OVERSIKTSKART

LEDNINGSSYSTEMER INVOLVERT I LEKKASJESØK OG UTBEDRING
Se fotoserie i Vedlegg E: Bilde A1-A4, B1-B15, C1-C5 med tilhørende bildebeskrivelse

Vedlegg E: Biledokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde A1



Bilde A2



Vedlegg E: Billedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde A3



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde A4



Vedlegg E: Biledokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner



Bilde B1

Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B2



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde R3



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B4

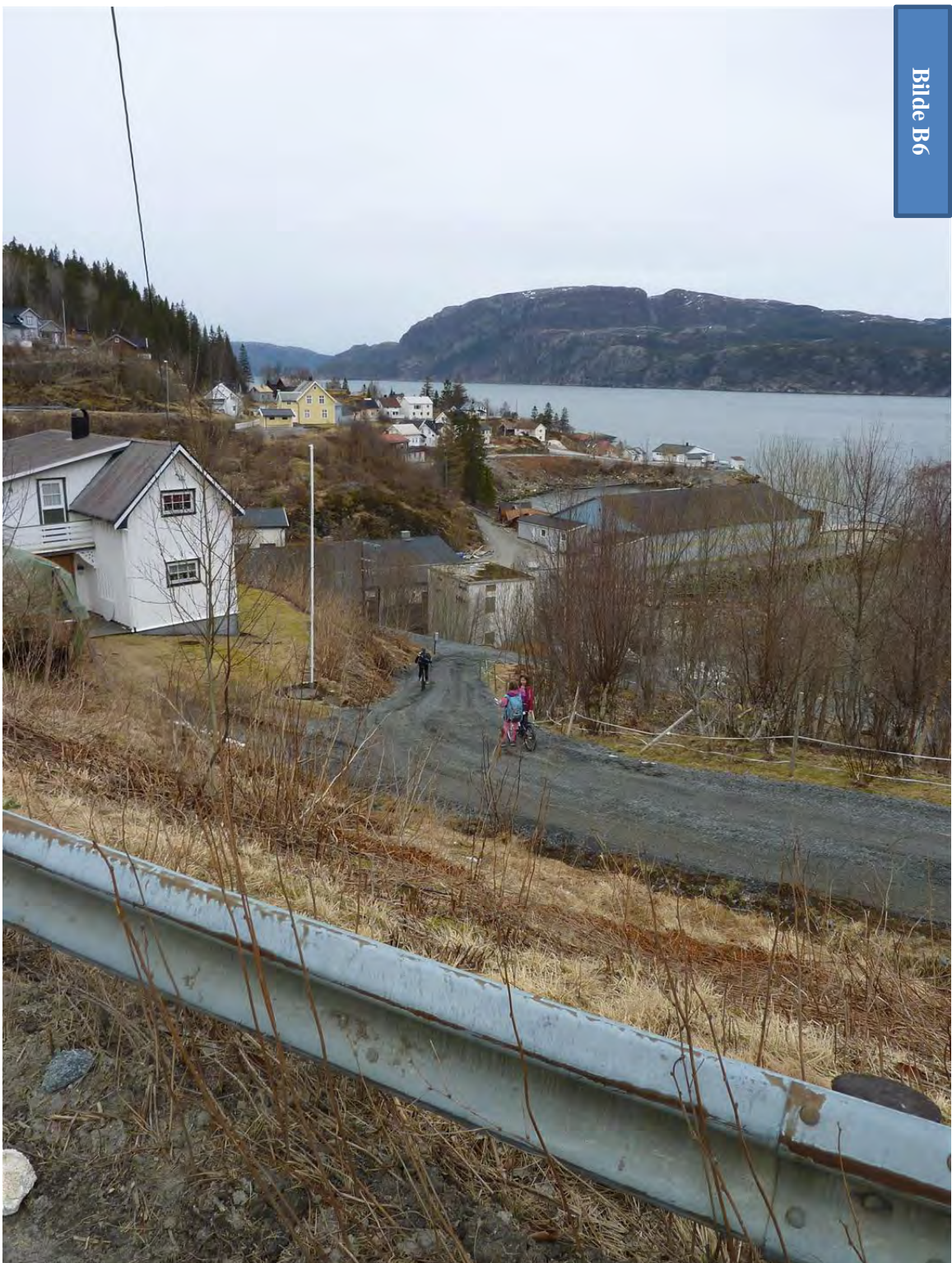


Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner



Bilde B5

Bilde B6



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B7



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B8



Bilde B9



Bilde B10



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B11





Bilde B12

Bilde B13



Bilde B14



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde B15



Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde C1



Vedlegg E: Biledokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde C2



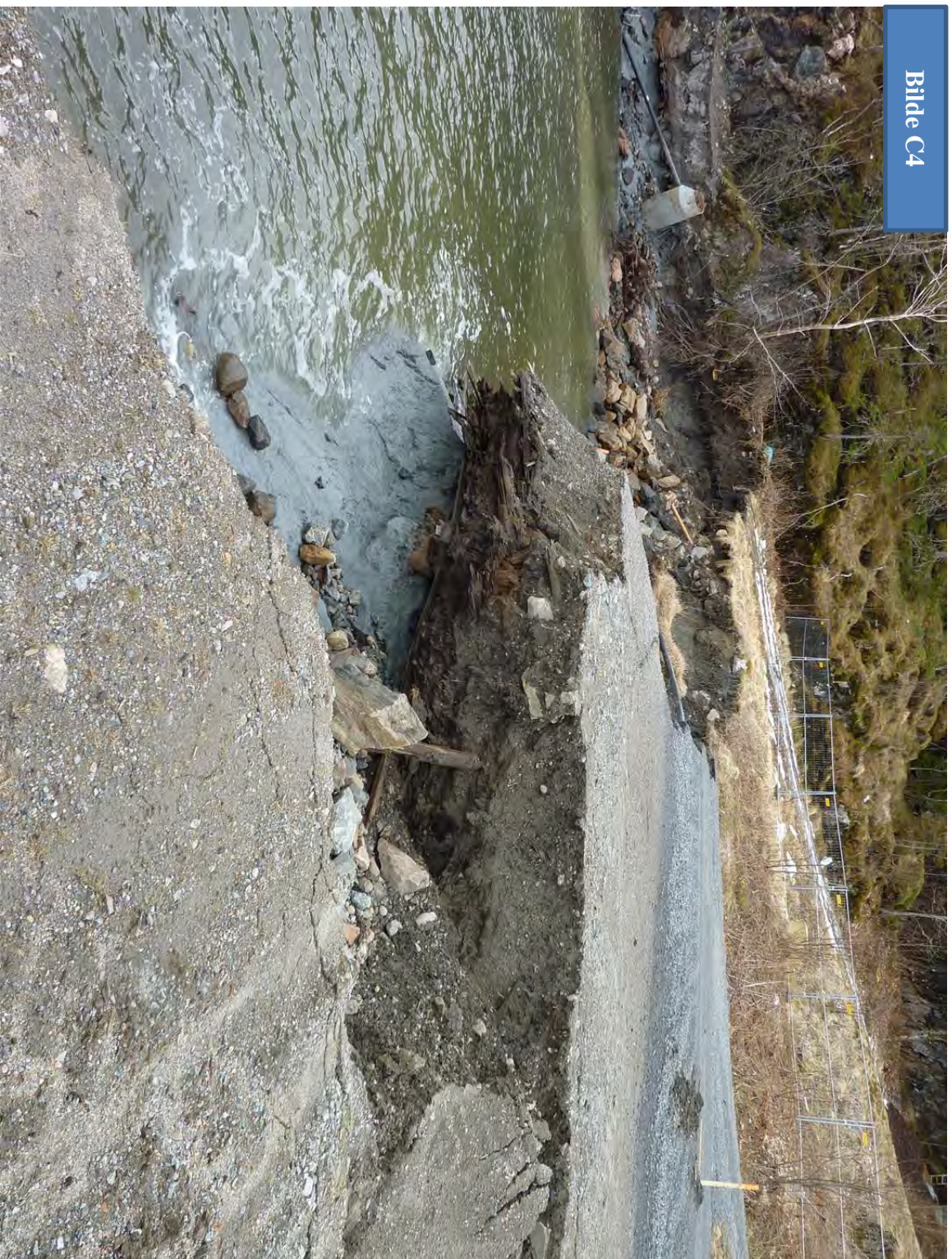
Vedlegg E: Bildedokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde C3



Vedlegg E: Biledokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde C4



Vedlegg E: Biledokumentasjon – se også oversiktskart som viser fotoposisjoner

Bilde C5



VEDLEGG E:

BILDEBESKRIVELSE TIL VEDLAGT BILDESERIE A1-A4, B1-B15, C1-C5.

Ref. kap. 2.1.2 II) og kap. 2.1.3 III)

Alle foto tatt av NVE 09.04.2014, unntatt C5 (fra Namdalseid kommune – bilde tatt kort etter skred).

Fotoposisjoner som vist på Oversiktskart til Vedlegg E.

Vannlekkasje i Sjøtrøvegen

Bilde A1: Oversikt oppgravd område i fbm. lekkasjen.

Bilde A2: VL-kum og OV-kum oppgravd i fbm. lekkasjeutbedring

Bilde A3: Nye stoppekraner utenfor eiendommene, for off. tilkomst.

Bilde A4: Ny stoppekran på reparert VL.

Vannlekkasje v/Statlandvegen 18

Bilde B1: Pågravd lekkasjepunkt på stikkledning VL utenfor grunnmur Statlandvegen 18.

Bilde B2: Utstrømningsområde på terreng for vannlekkasjen fra Statlandvegen 18

Bilde B3: Som bilde B2, og grøft med kum hvor lekkasjevannet ble fanget opp

Bilde B4: Grøft med kum for oppfangning av lekkasjevannet fra Statlandvegen 18

Bilde B5: Kum hvor lekkasjevannet ble fanget opp/ført inn på OV-ledning

Bilde B6: Oversikt over terrenget hvor OV-ledningstraséen ligger ned mot sjøen.

Bilde B7: Oversikt - nedre del av OV-ledningstraséen.

Bilde B8: Som bilde B7 – Pil peker på kum, jfr. Oversiktskart.

Bilde B9: Kum som vist på Bilde B7

Bilde B10: Innvendig kum som vist på Bilde B7

Bilde B11: Kum ved fot av skråningen, jfr. Oversiktskart.

Bilde B12: Innvendig kum som vist på bilde B11

Bilde B13: Kum som vist på Bilde B11, oversikt oppover skråning i OV-ledningstrasé

Bilde B14: Utløp fra OV-ledning på fjæra. Nederste kum på ledningen er tildekket av utfylte masser

Bilde B15: Vannutstrømning fra OV-ledning på fjæra

Iskjøving på veggen nedenfor «Direktørboligen»

Bilde C1: Skråning ned mot raskanten hvor iskjøving skjedde. Pil peker på septiktank.

Bilde C2: Septiktank med lokk hvor det oppsto overløpsutstrømning.

Bilde C3: Septiktank sett fra iskjøvingsområdet

Bilde C4: Som bilde C3, med raskanten – etter at iskjøving var bortsmeltet.

Bilde C5: Som bilde C4, men med «iskake» fra iskjøvingen (delvis avsmeltet).

VEDLEGG F

Brev - Politiets anmodning om bistand	s.1
Hendelsesrapport	s.2 - 4
Politiets Oppdragslogg	s.5 - 27



14 FEB. 2014
NVE - RM

201401018-1
RM/MJO
411

NVE Region Midt
Vestre Rosten 81
7075 TILLER

Deres referanse

Vår referanse

12668609 669/14-43

Dato

13.02.2014

Dok. nr.

04

Anmodning om bistand til undersøkelser vedrørende ras på Statland onsdag 29.01.14.

Politiet har iverksatt etterforskning i forbindelse med raset. Dette på grunn av store materielle ødeleggelser.

Politiet er kjent med at representanter fra NVE har gjennomført undersøkelser på Statland og at det har vært en dialog mellom disse og lensmann Asklund, Namdalseid lensmannskontor.

Politiet anmoder NVE om å gjennomføre undersøkelser i rasområdet som til slutt kan vise på mulige årsaksforhold til hvorfor raset ble utløst og årsaken til følgeskadene av raset.

Politiet ønsker til slutt å få tilsendt dokumentasjon angående raset som NVE har mener har betydning for politiet.

Politiet bistår gjerne med innhenting av ytterligere nødvendig dokumentasjon ved behov.

Med hilsen

Bengt Ivan Blom
Etterforskningsleder

Tlf. 91619830

BIB003



Nord-Trøndelag
politidistrikt

Statens Hus
7734 STEINKJER
Telefon 74121000
Telefax 74121025

Hendelsesrapport

Anm.nr

12668609

Dok.nr

03

Lok ark.nr.

669/14-43

Dok. løpenummer

1076375

Skrivebeskyttet

Ja

Sidenr.

1 av 3

Dato

05.02.2014

Kl.

10:39

Skrevet av

Lensmann Svein Ivar Asklund

Tjenestested

Nord-Trøndelag politidistrikt

Melding og organisering

Onsdag 29.1.14 kl 1656 mottok jeg som lensmann i Namdalseid melding fra operasjonssentralen i Nord-Trøndelag politidistrikt om ras på Statland. Det var ikke innlagt kriseplan for Namdalseid kommune i PBS web. Jeg var på bopel i Namsos. Derfra tok jeg kl 1702 kontakt med ordfører i Namdalseid som igjen ville varsle rådmannen og sørge for innkalling av kommunal krisestab. Jeg avtalte med ordføreren og møtes på kommunehuset i Namdalseid. Kommunal kriseledelse etablert kl 1715 under rådmannens ledelse. Som lensmann tiltrådte jeg den kommunale kriseledelsen og oppdaterte de på status kl 1800. Kommunal kriseledelse i funksjon fram til kl. 2300 med avtale om å møtes torsdag 30.1.14 kl 0800 for oppdatering og videre håndtering.

Politidistriktet etablerte stabsmessig ledelse kl 1656 under ledelse av fung stabssjef Syvertsen.

Første politi på rasstedet var lm Granli kl 1717 som var på tjenestereise fra Steinkjer til Namsos og underveis fikk varsel om hendelsen. N05, patrulje fra Namsos på stedt kl 1735 etablerte skadestedsledelse. Skadestedsleder besluttet full evakuering fra boligområdene inntil skadestedet.

Lm Granli bemannet evakueringscenter på Statland skole. Ytterligere politiressurs på stedet både på skadested og evak.senter. Evak.senter organisert og drevet i samarbeid med Namdalseid kommune. Funksjonen drevet fram til kl. 2330 og deretter avvirket da evakuerte hadde fått alternativt oppholdssted for natten.

Berørte ble invitert til orienteringsmøte torsdag 30.1. kl 1000 og deretter til kl. 1230. I møtet kl 1230 ble de berørte orientert om at alle kunne flyttet tilbake til sine boliger. Orienteringsmøtene ble holdt i fellesskap av ordfører/ rådmann og lensmann. I samråd med geotekniker ble det avsperrede området begrenset. Merking og tydelig sperringer etablert torsdag kl 1700 og skadestedsledelse samtidig avvirket. Namdalseid kommune v/rådmannen overtok på samme tid ansvaret for sperringene og det avsperrede området. Sperremateriell ble montert og utlånt fra lokal entreprenør, Nils Kaldahl. Området er i tillegg avsperrert med sperrebånd fra politiet.

Skadestedet

Skadestedet er i sjøen og i strandområdet på Nord-Statland i Namdalseid. Sentrum i skadestedet er industriområdet på Nord-Statland med sjøområdet utenfor. Lokalt benevnes områdene slik. Ytre avgrensning av skadeområdet regnet nordfra er Båtsvika. Videre har vi Kalvika og Kalvikskjæret før vi kommer til butikken ytterst før Almenningen. Bukta innenfor butikken er industriområdet som mot nord benevnes Almenningen og på motsatt side Sagvika. Mellom Sagvika og neste vik som benevnes Langvika har vi utbyggingsområdet til Statland brygge. Mellom Langvika og Namdal settefisk sitt anlegg er Djupvika. Fra settefiskanlegget og videre sørøstover kalles området Saltbuodden. Strandområdene på hele strekningen med bygninger, moloer, veger og andre anlegg mellom Båtsvika nord for Nord-Statland til Saltbuodden på sørøstsiden rammet. Anlegg på og i sjøen på strekningen mellom Båtsvika og Saltbuodden er også rammet.

BIB003

Underskrift

Rapportskrivers underskrift

Hendelsesforløp

Melder til politiet, Sissel Reinert, Båtsvikveien 3, Nord-Statland observerte fra sin bolig på nordsiden av Djupvika at det slo ei stor bølge inn over land mot industriområdet.

Oddvar Ledang var på arbeid i industrihallen for fa. Trønderelement og hørte et veldig sus utenfra og han ble tatt av en bølge idet den slo gjennom veggen på nordsiden i industrihallen. Han ble feid innover i hallen og pådro seg lettere skader. Han forteller at sjøvannet på det høyeste sto ca én meter over golvet i hallen.

Terje Duklæt oppholdt seg på land ved bryggene i Djupvika på sørøstsiden av skadestedet mot Saltbuodden. Han observerte at båtene her ble liggende på tørt land idet vannet dro ut av bukta.

Ut fra de målinger og observasjoner som er gjort og forklaringer som geologer og geoteknikere muntlig har gitt politiet antas det sannsynlige hendelsesforløpet å være at det har gått et undersjøisk ras av løsmasser på sjøbunnen inne på Sagvika. Raskanten synes å være i fjærområdet helt inntil land i Sagvika. Rapportskriver har ingen kunnskap eller vurdering av størrelsen på rasområdet verken i utstrekning eller volum. Det er opplyst fra Namdalseid kommune at det finnes gode kartlegginger av områdene fra 2011 og at de har bestilt ny kartlegging. Det antas at det ut fra dette kan gjøres vurdering av omfang og framtidig sikkerhet i området.

Skadeomfang

Det er rast ut store mengder løsmasse i de grunne områdene i sjøen i Sagvika. I området lå det to store vannledninger fra elva som kommer fra Statlandvatnet og har utløp i Sagvika. Disse vannledningene lå på sjøbunnen bort til Namdal Settefisk AS sitt anlegg på sørøstsiden av området. Disse rørledningene ble brutt og vannforsyningen til settefisk anlegget ble avbrutt. Avbrudd i vannforsyningen til settefiskanlegget har store produksjonsmessige/økonomiske konsekvenser.

Småbåthavna i Almenningen med tilhørende molo er forsvunnet. Båtene som lå i denne småbåthavna er påført større og mindre skader, fra totalhavari til mindre skjønnhetsfeil i skroget.

Industrihallen som er i bruk av fa Trønderelement AS er skadet. Omfanget av dette er ikke kartlagt. Det samme er tilfelle for utstyr og produkter/råvarer inne i denne hallen. Dette anlegget vil muligens bli å anse som kondemnabelt. Kaianlegget i tilknytning til industrihallen er borte.

I den sentrale delen av industriområdet er moloen borte.

Deler av vegen gjennom industriområdet er borte og ytterligere deler vaskes fortløpende bort mens området er eksponert for bølger, flo og fjære.

Steinsetting av sjøkanten på store deler av strekningen mellom Kalvikskjæret på nordsiden av skadestedet til Saltbuodden på sørøstsiden er borte eller betydelig skadet. Betydeligst skade her er i området rundt butikken, vegen gjennom industriområdet og utfylt område i tilknytning til utbyggingstomta for hytteprosjektet Statland Brygge.

Brygger, båter og småbåthavn på sørøstsiden i skadestedet er også påført betydelige skader

BIB003

Underskrift

Rapportskrivets underskrift

Flere naust, anslagsvis 8- 10 stykker, delvis med lagrede båter og annet utstyr, landganger og anlegg er skadet, det meste totalskadet eller borte. Disse lå i Langvika, Almenningen og Kalvika.

I tillegg til skadene er det betydelige oppryddingsarbeider som bør gjøres i området.

Andre opplysninger

Elva fra Statlandvatnet har utløp i Sagvika. Det er grunn til å anta at elvevannet kontinuerlig fører med seg løsmasser som avsettes på sjøbunnen utenfor elveoset. Tyngden av disse avsetningene antas fra tid til annen å føre til naturlig utrasing uten yterligere påvirkning.

Det er ikke rapportert at det er utført anleggsarbeid i grunnen på industriområdet på lang tid.

Det har ikke vært nedbør av betydning på 6-7 uker forut for hendelsen.

I etterkant av hendelsen ble det fra en person bosatt på Korsen i Namdalseid meldt om et mulig lite jordskjelv. Dette er ikke verifisert og kan neppe tillegges vekt.

I tilknytning til hytteprosjektet, Statland brygge er det utført anleggsarbeid med tungtrafikk og utfylling. Meget betydelige steinmasser er tilført utbyggingsområdet. Det synes ikke å ha skjedd endringer i det oppfylte området i forbindelse med hendelsen

Siste kjente sprengningsarbeid i området var ca september 2013 i forbindelse med utbedring av vegen mellom Langvika og Sagvika. Det er ikke kjent at det har vært utført sprengningsarbeid i området i løpet av de siste uker.

Namdalseid kommune har hatt lekkasje i sitt vannanlegg i området i lang tid. Dette har vært arbeidet med, men alle lekkasjer er ikke funnet. Det er fra lokalbefolkningen rapportert til politiet at det den siste tiden har vært uvanlig store issvuller på den delvis utraste vegen gjennom industriområdet nedenfor Sagvika. Det er ukjent om dette kan ha sammenheng og om det kan ha hatt betydning for ras.

Ut fra de forhold rapportskriver kjenner til er det ikke grunnlag for å vurdere årsakssammenheng mellom tiltak eller aktivitet i området og hendelsen.

BIB003

Underskrift

Rapportskrivers underskrift

Oppdragslogg

Datotid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
29/01 16:32	H MOTTATT	KONTROLL STED [RAS] - NORD-STATLAND, 7777 NORD-STATLAND, F	BHA02	
		Fant sted: 29.01.14 16:31		
29/01 16:36	T	Sissel Rigmor Reinert meldte om ras på Nord-Statland.	BHA02	
		Melder har gått med både veg, kaie og lagerbygning.		
		Beskriver et leirras på 1 km bredde. Stedet ligger ved		
		sjøtøra ved butikken og birt til nedre Langvika. Raset skal		
		ha gått i sjøen.		
29/01 16:40	T	Overføres operasjon: Ras Statland, opsid rasstat	DHJ002	
29/01 16:40	T OVERFØRT	Fra: FOE	DHJ002	
29/01 16:40	T KVITTERT	RASSTAT	DHJ002	
29/01 16:48	T	Raset har gått mellom butikken og Saltbuodden..	MEV00	
29/01 16:50	T	HRS sender SeaKing og RS Harald.	RRE00	
29/01 16:52	T	Terje Duklæt meldte 1634 at en tsunami hadde rammet	RRE00	
		småbåthavna i Statland. Ikke sett folk på stedet. Båter		
		og havn skadet.		

Oppdragslogg

Datotid	Type	Status	Tiltak	Ident	N
29/01 16:52	T		Dykkere rekv via FSB ST.	RRE003	
29/01 16:53	T		FSB orientert - 1636	MEV00	
29/01 16:53	T		AMK orientert -1636	MEV00	
29/01 16:55	T		AMK ST sender NLA med dykkere.	RRE003	
29/01 16:56	T		Fung stabssjef Syvertsen: STAB etableres - 1. stabsmøte kl 1700	DHJ002	
29/01 16:56	T		KL 1636-KV Njord ytterst i Namsenfjorden- rekvirent - setter kursen	MEV00	
29/01 16:56	T		PI: LM Namdalseid varslet, setter seg i kontakt med ordfører/rådmann.	DHJ002	
29/01 16:57	T		FSB meldte at det står en bil vedet produksjonsanlegg på stedet som er tatt av raset. Bruker å være en mann på stedet. Ber om dykkere. Ukjent reg.nr. på biu.	BHA02	
29/01 17:00	T		Terje Duklett: Det var folk som jobbet i et lagerbygg nede ved sjøen for ca 1 time siden.. Mulig Svein eller Morten	MEV00	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
		Hågensen vet noe om dette		
29/01 17:01	T	FSB: mann som eier bil funnet forslått.	RRE003	
29/01 17:04	T	L.m. Granli kjører mot Statland fra Sjøåsen 1648.	RRE003	
29/01 17:06	T	KV Njord på stedet om ca 25 min	MEV00	
29/01 17:09	T	KV Njord har 1 dykker ombord	MEV00	
29/01 17:14	T	HRS:KV-Njord meldte at de har en dykker ombord.	BHA02	
29/01 17:14	T	HRS: 1 time til redingsskøyta er på stedet. 20 min til	BHA02	
		KV-Njord er på stedet.		
29/01 17:17	T	Granli er på stedet. Granli befinner seg på E91- og treffes	BHA02	
		på dennes mob. tif.		
29/01 17:18	T	Stab: Sentralbord bemannet	DHI002	
29/01 17:20	T	P2: Evakueresenter blir opprettet på Staland skole	DHI002	X
29/01 17:20	T	Sivilforsvaret bedt om å møte med lysutstyr	LLE002	
29/01 17:20	T	Roar Heggdal utkalt på OT.Møter åstedet ca.kl.1750	RFJ002	
29/01 17:24	T	KV Njård bedt om å klargjøre lysutstyr. Setter ut lettbåt.	LLE002	

Oppdragslogg

Datotid	Type Status	Tiltak	Ident	N
29/01 17:25	T	M28 kjører utrykning til Sjøåsen	MEV00	
29/01 17:26	T	- rettelse Statland	MEV00	
29/01 17:27	T	Stab ordner Golig / geoteknikker	MEV00	
29/01 17:28	T	E91 Granli: Raset har gått i bukta ved Sjøtrøa. Mener at det ikke har gått med folk. Et hus er evakuert.	RRE003	
29/01 17:28	T	Golig=geolog	MEV00	
29/01 17:29	T	HRS: SeaKing på stedet om 3 min. N30 Strøm orienterer på redn.kan.	RRE003	
29/01 17:29	T	AMK: Ba om posisjon på stedet for info. helikopter med dykkere.	BHA024	
29/01 17:29	T	21: posisjon opplyst.	BHA024	
29/01 17:31	T	POD: Oppdatert.	RRE003	
29/01 17:32	T	FSB oppdatert.	RRE003	
29/01 17:35	T	N05 melder at han ønsker og evakuere deler av området.	LLE002	
29/01 17:35	T	Sea-King til området	LLE002	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
29/01 17:35	T	No5 bedt om å klargjøre mottak av redningsdykkere - kommer ca. 1745	LLE002	
29/01 17:36	T	E91 Granli: SeaKing søker i området. Trolig rast fra Otterøysida, som har utløst flodbølge.	RRE003	
29/01 17:39	T	P3: I kontakt med NVE, de scrambler GEOLOG som ringer og melder seg for OPL Reinsborg	DHJ002	
29/01 17:40	T	HRS oppdatert.	RRE003	
29/01 17:40	T	Bjerkem: PM Prytz varslet, er på bopel.	DHJ002	
29/01 17:40	T	Lm Asklund bekrefter at rådmann og ordfører i Namdalseid	RFJ002	
		Kommune er varslet. Vil opprette kommunal krisestab i kommunehuset på Namdalseid		
29/01 17:42	T	KV Njård bedt om å sjekke omdet har gått ras på Otterøysia	LLE002	
29/01 17:45	T	AMK: NLA ytret ønske om en RIBB for å bistå dykkere.	BHA02	
29/01 17:46	T	Leder foe har fått sitt rap.	ASY001	
29/01 17:48	T	Mats Johnsen NVE: Sender driftsingeniør Vebjørn Opdahl i	RRE003	X

Oppdragslogg

Datotid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
		første omgang. Vil være raskest på stedet. Vil skaffe		
		geolog, og melder tilbake.		
29/01 17:57	T	Oslo pd- klartert med katastrofehundgruppe (5-6 ekvipasjer),	MEV00	
		kan stille for rassøk hvis behov. Rettes OL-Oslo		
29/01 17:59	T	KV Njård går inn for å lyse opp området. Har satt lettibåt	LLE002	
		på sjøen for å bistå dykkere. H5 sjekker landet på		
		Otterøysia. Har kommettil området		
29/01 18:05	T	N30 melder at vedkommende som var savnet er kommet til	LLE002	
		rette. Får behandling av helse		
29/01 18:11	T	N07: 2 helikopter flyr over vannet. Ikke sett personer i	BHA02	
		raset. Skal ha gått 2 ras på stedet.		
29/01 18:12	T	N07: Har startet evakuering til Skolen. Ansvar Stein Erik	LLE002	
		Granli, har tlf. til E91		
29/01 18:14	T	N07: Opplyste at det skal ha gått 2 ras på Statlandsiden.	BHA02	
		Sea-King har ikke observert sår i fjellet på Otterøya som		

Oppdragslogg

Datotid	Type Status	Tiltak	Ident	N
29/01 18:22	T	tilsier at det har gått ras der. KV Njord: han har bedt om bistand fra KV Bergen, da han har mere utstyr enn Njord.	MEV00	
29/01 18:25	T	KV Njord: Flere fritidsbåter og noen fiskeskøyter har gått ned.	MEV00	
29/01 18:27	T	NTE har 2 mann på tur til stedet. Må kople bort strøm fra rasområdet	MEV00	
29/01 18:35	T	M43: Kjører i sivil til stedet.	BHA02	
29/01 18:35	T	Stsj: Pod /Løfqvist, tlf. 93032318 fått sit rap. Rapportering pod blir lagt i po av P6. Pod rapporterer til KSE.	ASY00	
29/01 18:36	T	KV Njård melder at H5 har observert at det har gått et ras i området Kjuven. Bredde ca. 40 meter og 20 meter høyde.	LLE002	
29/01 18:38	T	Rettelse: Tjuven	BHA02	
29/01 18:41	T	H5 oppringt - bedt om å forsøke å ta bildet av raset. Vil	LLE002	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
		sjekke lengre ut i fjorden først. Etterpå vil de gå inn til Kløyvika for å sjekke		
29/01 18:43	T	N07 Strøm: Prioriterer evakuering og avsperring. Ikke strandsøk foreløbig pga. uavklart mtp sikkerhet.	RRE002	
29/01 18:49	T	HRS oppdatert	LLE002	
29/01 18:52	T	NLA søker ut fjorden på Statlandsida i forhold til bygningsmasse langs sjøen opp mot Ledang.	RRE002	
29/01 19:04	T	KV-Njord: Konsentrerer seg om området sørøst for Ledangholmen.	BHA02	
29/01 19:07	T	Kari Øvrelid NVE: Sender geolog Terje Borgild, 41607475, og geotekniker Stein Are Strand 95945536. De må fortsatt hente inn litt bakgrunnsinfo før avreise.	RRE002	
29/01 19:13	T	N07: Anser området som evakuert.	BHA02	
29/01 19:14	T	N07: Setter sperrepost på brua.	BHA02	
29/01 19:15	T	N07: Redningsskøyta hadde rapportert at alt var inntakt	BHA02	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
29/01 19:22	T	Kløvvika på Otterøya. AMK: De har ingen informasjon om den skadde pasienten som var omtalt i startfasen.	RRE002	X
29/01 19:26	T	P3: Ad bistand løfting av GEOTEKNIKER og GEOLOG; Politiheli kan kun løfte 1 mann, fremdeles på Ørlandet, nytt crew på Værnes, ikke tilgjengelig før etter kl 2000. HRS kontaktet mtp løfting av dem med SeaKing, ikke ønskesituasjon pga flytid crew og heli, HRS tilbyr seg å kontakte FOH for å høre om de kan bistå med BELL HELI for løfting. Fra vår side ønskelig at geotekniker og geolog får se på rasstedet/utglidningen før vi evt innkaller/styrker LRS mtp evt større evakuering mm. HRS melder tilbake til P3 om mulighet for løfting med BELL	DHJ002	X
29/01 19:34	T	I samråd med N07 frigis NLA og SeaKing fra skadestedet.	RRE002	
29/01 19:43	T	HRS til P3: Ikke mulighet for løfting av Geotekniker/geolog	DHJ002	

Oppdragslogg

Datotid	Type>Status	Tiltak	Ident	N
		via SeaKing. FOH tvilende til at BELL har mulighet pga behov for ny brannslukking Frøya fra i morgen tidlig.		
		Geotekniker/geolog må kjøre - blir raskeste løsning.		
		Drøftet med HRS ang aksjonen, enighet om at ytterligere ressurser og evt ytterligere evakuering mm forventes til disse fagpersonene har kommet til stedet. OPL vil beholde både H5 og Njård til bistand for frakting fram til rassted Otterøya.		
29/01 19:51	T	K40 Bennum henter geolog/geotekniker i Trondheim og kjører utr. til Statland.	RRE002	
29/01 19:51	T	KV Njord blir igjen og bistår geolog. RS Harald V dimm.	RRE002	
29/01 20:04	T	N07 melder at ved alders og sykeheimen er det 6 beboere og 1 ansatt. Disse er ikke evakuert. N07 mener at det ikke er rasfare ved sykeheimen, men ønsker støtte til denne beslutningen	LLE002	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type	Status	Tiltak	Ident	N
29/01 20:12	T		KV Njord kjører inn til Namsos for å hente et mannskap.	RRE003	
29/01 20:13	T		Geotekniker foretar en vurdering på om beboere ved sykeheimen bør evakueres nå.	RRE003	
29/01 20:20	T		KV Njord: De går inn til Namsos. KV Bergen tar over deres oppdrag.	RRE003	
29/01 20:25	T		Geotekniker Strand: Har sett på bakgrunnsmateriale. Det er kvikkleire og leirmasser i området. Kan ikke si det er trygt før han har vært på stedet og foretatt åstedsbefaring.	RRE003	
29/01 20:30	T		LEDIG RESSURS	BHA024	X
29/01 20:33	T		Geotekniker tilråder at sykeheimen blir evakuert. N07 varslet - iverksetter	LLE002	
29/01 20:37	T		KV Bergen foretar befarung fra sjøsiden for å lokalisere/rasområdene på Statlandsiden.	RRE003	
29/01 20:42	T		P2: Evakuerer sykeheimen til Namdalseid sykeheim.	RRE003	

Oppdragslogg

Datotid	Type Status	Tiltak	Ident	N
29/01 21:00	T	Kommunen ordner transport. Anita Sandber opplyste at hun bor på Hoddøya. Kommer seg ikke dit ut da båten hennes ligger å "dupper" på rasstedet. Bedt om å oppsøke evakueringssenteret. Ville vurdere dette etter å ha undersøkt muligheten i Namsos først.	BHA02	
29/01 21:03	T	Halbostad ved Statland Settefisk: De har matilsynet sammen med seg og holder liv i fisken med "nødvannsledning" fra forsvaret. Det kan max pågå et døgn. Må sjekke tilstanden til hovedvannledningen i Verfsbukta. KV Bergen bistår med dette og avtaler med Halbostad direkte.	RRE002	
29/01 21:04	T	Settefiskanlegget står på fjell. Vurdert til å være trygt. Ca. 4 meter over sjøen.	RRE002	
29/01 21:21	T	N07: BV dimm. Ikke behov lenger. FIG 15-20 stk. dekker alle behov.	RRE002	
29/01 21:27	T	Sjekkert med NTE Drift om strøm var utkoblet på Statland.	RRE002	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
		Bekrefter at en trafo ved Statlandverftet var utkoblet. Lm		
		Asklund orientert.		
29/01 21:32	T	Kommune har koblet ut vann til boligfeltet. Konferer med settefiskanlegget.	RRE003	
29/01 22:13	T	N07/ Strøm melder at Barstad tar over som IL. (Barstad/ Guro ?). Strøm melder også at han nå har sendt hjem alle mannskaper utenom 1 stk. ambulanse.	BKR001	
29/01 22:20	T	KV Bergen: Har sjekket ut fra sjøsiden i området ved verftet. Ser rastunge i ca. 2-300 meter reining sørøst. Hører det sildrer i massene.	RRE003	
29/01 22:26	T	LM Asklund melder at kriseteamet avslutter for kvelden. Møter igjen i morgen kl. 0800. Informasjonsmøte Statland skole kl. 1000.	BKR001	
29/01 22:34	T	KV Bergen: Kan ikke se noe til vannledningen til settefiskanlegget.	RRE003	

Oppdragslogg

Datotid	Type	Status	Tiltak	Ident	N
29/01 22:45	T		IL Barstad: Melder at det er oppdaget et "søkk" i Statlandvegen ca. 200 meter fra elva retning settefiskanlegget. Ikke godt tegn. Halbostad v/anlegget varslet. Fått beskjed om å holde seg der inntil ny beskjed.	RRE003	
29/01 22:56	T		K40 melder at de er fremme med 3 geologer. K40 returnerer til Stjørdal.	BKR001	
29/01 23:37	T		KV Bergen henter 9 personer som er på settefiskanlegget. Ikke tilrådelig at de forlater med bile.	RRE003	
30/01 00:01	T		Geolog/geotekniker/NVE på stedet. De får ikke til å foreta tilstrekkelig undersøkelse i mørket. Tar et overblikk. Overnatting ordnet på KV Bergen. KV Bergen har klart tilstedeværelse i området med KVOPS.	RRE003	
30/01 00:02	T		På stedet nå 14 fra FIG, 2 politi, 4 fra NVE (geolog mm)	RRE003	
30/01 00:09	T		N07 kvalitetssikrer at resten av boligene på Statland står	RRE003	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
30/01 00:22	T	trygt. N07: Snakket med geologene. Øvrig område utenfor evakuert område er sikkert område. Fjell mot butikk og leirgrunn ved skole, som også er trygg.	SRS001	
30/01 01:01	T	N07: Geologer / geoteknikere starter opp kl. 0830 i morgen tidlig - avtalt trsp. med KV Bergen.	SRS001	
30/01 01:21	T	OPS: HRS gitt sitrap.	SRS001	
30/01 07:20	T	Haugland POD ønsker kontakt med stabssjef for oppdatering.	JOL003	X
30/01 09:26	T	2115: POD oppdatert.	JB009	
30/01 10:02	T	KV Bergen kontaktet og bedt om å oversende bilder fra fjellet "TJUVEN" og tettstedet Statland mellom Kalvikskjæret og Saltbuodden. Sender bildene til vakt-nord-trondelag@politiet.no	JOL003	
30/01 10:03	T	Tlf fra firmaet Alios Marine tlf 92680048. De har en 30 m lang stålbåt liggende ved Sandviksberget. Båten er en	BW1002	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type Status	Tiltak	Ident	N
		multibåt med div større kraner om bord. De sier seg villig		
		til å bistå med arbeid på stedet - feks heving av småbåter		
		osv.		
30/01 10:15	T	P3: Mottatt oppl via OPL om at geoteknikere/geologer jobber	DHJ002	X
		ut fra teori om at det har vært en undersjøisk utglidning		
		på Statland. Dette kan ha medført et dragsug i vannmasser		
		med derpåfølgende returølge. Dybdeforhold i sjøkart viser		
		en dybde på 274 meter ca 300 meter ute i sjøen, dvs		
		relativt bratt fra land og utover. I kontakt med hhv		
		Kystverk (07847)og Statens kartverk, sjøkartdivisjonen		
		(08700)- sistnevnte kan bistå med nye dybdemålinger som evt		
		kan bekrefte/avkreftre endringer i sjødybde.		
		Sjøkartdivisjonen har båt med slikt målestyr, denne		
		ligger i Tromsø, men er beregnet å seile sørover om ca 2		
		uker - Kontaktperson Vidar Bø.		

Oppdragslogg

Datotid	Type	Status	Tiltak	Ident	N
30/01 11:05	T		KV BERGEN: Slepebåt kommer fra Namsos for å sjekke ut kaianleggene som er havenvesnets ansvar	JTT002	
30/01 11:08	T		KVBERGEN: Etter lunsj vil de benytte sine 2 båter, tar seg inn i havna for å forsøke å sikre båter, gjensander KV Bergen bedt om å sette seg i kontakt med Halbostad 900	JTT002	
30/01 11:15	T		25119. Halbostad er leder for oppdrettfiskanlegget og trenger bistand for undersøkelse av tilstanden for dette.	JOL003	
30/01 11:42	T		P3: POLITIHELI kan snart frigjøres fra Frøya, og stiller seg til disp for oppdrag for oss. Skissert overflyging av brannområde Flatanger for visuell/evt termisk kontroll av avt branntilløp. Videre ønskes fra oss en overflyging av Statland, fotografering av skader - oversikt og detaljert, samt foto fra omr fjell Tjuven, Otterøya. OPL bes kontakte GEOLOG for å høre om de er interessert i å bli med opp i lufta. OPL gi tilbakemelding til P3 som har kontakt med	DHI002	X

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
30/01 11:56	T	POLITIHELI gitt oppdrag som nevnt over. De har kapasitet til å ta opp GEOLOG. Fremdeles usikkerhet på ETA, avhenger av hvordan oppdraget går, men de antar å komme opp her i løpet av dagslys. Overføring av bilder kan skje ved at de lander på Steinkjer etter oppdrag, og at vi overfører bilder direkte til BB PC her.	DHI002	X
30/01 12:51	T	Møte mellom geologer og lensmann har avklart at store deler av Statland frigis for ferdseil. UP 0713 arbeider med å begrense sperringene.	JOL003	
30/01 13:11	T	UP713: Sperringene inn til boligene er opphevet	JTT002	
30/01 13:24	T	Sperring satt i faresonen ved Sjøtrøa 26 - Landvika. Alle boliger anses som utenfor faresonen og kan således frigis. Lensmann har informert om frigivelse på møte med beboere. Butikken med det nærmeste område er også sperret.	JOL003	
30/01 13:28	T		JOL003	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
30/01 13:38	T	NORSK GEOLOGISK INSTITUTT	JOL003	X
30/01 14:03	T	P3: Fra UP Skogli: Sperrebånd over veg til Sagvika satt opp. På grunn av sterk vind vil LM Aslund sørge for fysiske holdbare sperringer. Geolog konferert via P3 - han bekrefter at ferdseil på land i sperret område ikke tilrådes, ferdseil på sjø gis ingen restriksjoner.	DHJ002	
30/01 14:05	T	P3: Up v Skogli avslutter på stedet. Politiets tilstedeværelse avsluttes når sperring er etablert av LM Asklund, og ansvar for sperret område formelt overføres til Namdalseid kommune.	DHJ002	
30/01 14:11	T	P3: LM Asklund oppringt bekreftet at han sørger for opprettelse av fysisk sperring, videre vil han når det er etablert overføre ansvaret for det avsperrede området til Namdalseid Kommune, og vil melde til OPS når ansvaret er overtatt av kommunen.	DHJ002	

Oppdragslogg

Datotid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
30/01 14:12	T	P3: Fra GEOLOG/TEKNIKER er det ingen innvending mot ferdseil på sjø, herunder ivaretakelse av verdier, ved området som på landsiden er avsperrt.	DHJ002	
30/01 14:29	T	Stenevik KV BERGEN melder at hans mannskaper var inne og fotograferte raskant i formiddag. De har nå vært inne og mener at mere har rast ut. Uvisst om dette kan skyldes at bølger har forårsaket dette.	JOL003	
30/01 14:34	T	Geotekniker Strand informert. Vil se nærmere på dette.	JOL003	
30/01 15:23	T	POLYHELIKOPTER	JOL003	P3
30/01 16:21	T	Heli 31 ferdig med fotografering. Vil overføre bilder så snart de har tilgang på PC.	JOL003	
30/01 16:56	T	Lensmann Asklund meldte at han har vært i kontakt med Heli 31. Gjort avtale i forbindelse med overlevering av bilder.	BHA02	
		Forøvrig er er sperringer på stedet OK og kommunen har tatt over.		

Oppdragslogg

Dato/tid	Type Status	Tiltak	Ident	N
30/01 18:56	T	KV BERGEN : Setter kursen sørover mot Møre.	JOL003	
31/01 09:54	T	Lensmann Asklund kontaktet - bekreftet at kommunen har overtatt ansvaret for området. Sperringer er oppsatt.	LLE002	
31/01 09:59	T	Stabsmesig ledelse avsluttet - overført til linja	LLE002	
03/02 17:32	T	Melding fra Lena Samantha Graham om at det nå har rast ut mer av veggen nedenfor boligen hennes som ligger i Sagvika.	JOL003	
		Hun drar fra huset nå da hun likevel skal på besøk annet sted. Ønsker tilbakemelding om ev resultat.		
03/02 17:32	T	Lm Asklund orientert. Undersøker og melder tilbake.	JOL003	
03/02 18:06	T	Asklund : Tatt kontakt med rådmann Einvik som igjen tar kontakt med geotekniker på stedet.	JOL003	
03/02 18:38	T	Asklund : Rådmann har vært i kontakt med geotekniker som driver grunnboring på stedet. Mener utrasing skyldes stener på undersiden av veggen som løsner gr mildvær. Foreløpig ingen fare for nytt ras. Meldet Graham gis underretning om	JOL003	

Oppdragslogg

Dato/tid	Type/Status	Tiltak	Ident	N
29/01 16:37		dette direkte fra geotekniker. MELDER: REINERT, SISSEL RIGMOR Fødselsdato: 03.09.60, Personnr: 44827 Fast adresse: NORD-STATLAND, 7777 NORD-STATLAND Tlf: 97171774 Alder: 53 år, Kjønn: KVINNE	BHA02	
29/01 17:07		VITNE: DUKLETT, TERJE Fast adresse: Tlf: 90696637	MEV00	
03/02 17:41		ANNEN: GRAHAM, LENA SAMANTHA Fødselsdato: 10.11.78, Personnr: 45082 Fast adresse: SJØTRØA 32, 7777 NORD-STATLAND Tlf: 92220454 Alder: 35 år, Kjønn: KVINNE	JOL003	

VEDLEGG G

Nedbørsdata Otterøy Januar 2014 s.1

Advarer, ingen data om kartet ble funnet.
 Sone: 331 X: 221873 Y: 7159721

Stasjoner

OTTERØY

Stasjon: OTTERØY
 Stasjonsid: 75020
 Parameter: Nedbør (ver.)
 Dataaier: Met.no
 DH: 36
 Type:
 Serie startet: 01.07.1974
 Sæddagsnummer: 140.820
 Venavn: SALSVAATN/VASSDRAGET/KYST NAMSOS-FOLDFJORDEN
 Kommentarer:
 S.orside



■ OTTERØY (75020), Nedbør (mm)

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnett. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark, Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatorordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)v
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatorordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
- Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
- Nr. 18 Verktøyprosjektet - hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
- Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
- Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
- Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentaksintervaller (for ikke-statistikker)
- Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
- Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
- Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. ”Kvistdammer” i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
- Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
- Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
- Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
- Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 – del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
- Nr. 33 Museumsordningen 10 år
- Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
- Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
- Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)
- Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway

- Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
- Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
- Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
- Nr. 41 Bioenergi i Norge
- Nr. 42 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. Delprosjekt. 5.1.3
- Nr. 43 Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. Søren Boje, Hervé Colleuille og Graziella Devoli
- Nr. 44 Regional varslings av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. Nils Arne K. Walberg, Graziella Devoli
- Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal. Martin Jespersen, Rengifo Ortega, Julio H. Pereira Sepulveda
- Nr. 46 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Mulighetsstudie om utvikling av en nasjonal blokkprøvedatabase
- Nr. 47 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU
- Nr. 48 En norsk-svensk elsertifikatmarknad. Årsrapport 2013
- Nr. 49 Øvelse Østlandet 2013. Evalueringsrapport
- Nr. 50
- Nr. 51 Forslag til nytt vektsystem i modellen for å fastsette kostnadsnormer i regionalnettene
- Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
- Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
- Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi Samarbeid og koordinering vedrørende naturfare. En ministudie av Fellesprosjektet E6-Dovrebanen og Follobanen
- Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer
- Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Tilbakeregning av Vestfossenskredet
- Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner
- Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring
- Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred
- Nr. 60 Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
- Nr. 61 Flaumsonekart Delprosjekt Førde. Kjartan Orvedal og Ivar Olaf Peereboom
- Nr. 62 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørsfelt Delprosjekt. 5.1.6.
- Nr. 63 Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av samordning og deling av flom-og skreddata for tre samarbeidende etater
- Nr. 64 Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2- Beredskap og krisehåndtering. Delrapport 1 - Beredskapsplaner og krisehåndtering
- Nr. 65 Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedum-vegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. Bent C. Braskerud.
- Nr. 66 Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller. Undertittel: Statistikk og variasjoner 1958-2012. Erik Holmqvist.
- Nr. 67 Effekt av lagringstid på prøve kvalitet. Marie Haakensen / NIFS.
- Nr. 68 Effect of storage time on sample quality. Marie Haakensen / NIFS.
- Nr. 69 Flomsonekart. Delprosjekt Fagernes. Ahmed Reza Naserzadeh og Camilla Meidell Roald.
- Nr. 70 Status høsten 2014 - resultater og veien videre. Marie Haakensen / NIFS.
- Nr. 71 Aktive vannføringsstasjoner i Norge, Lars Evan Pettersson.
- Nr. 72 Smarte målere (AMS) og feedback. VasaaETT og Heidi Kvalvåg.
- Nr. 73 Filefjell og Anestølen. Evaluering av måledata for snø, sesongen 2012/2013. Heidi Bache Stranden og Bjørg Lirhus Ree.
- Nr. 74 Avbrottsstatistikk 2013. Astrid Ånestad.
- Nr. 75 Energibruk i undervisningsbygg. Benedicte Langseth og Multiconsult m.fl.
- Nr. 76 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndtering. Haakensen.
- Nr. 77 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen.
- Nr. 78 Status og prognoser for kraftsystemet 2014..” Synnøve Lill Paulen.
- Nr. 79 Snøskredvarslingen. Evaluering av vinteren 2014. NIFS. Emma Barfod.

- Nr. 80 Norwegian Avalanche Warning Service. Program Review. NIFS. By Grant Statham. Emma Barfod.
- Nr. 81 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
- Nr. 82 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
- Nr. 83 Inventory of glacier-related hazardous events in Norway. Miriam Jackson and Galina Ragulina.
- Nr. 84 Evaluering av flomvarslings modellverktøy. Ingjerd Haddeland.
- Nr. 85 Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. Magnussen.
- Nr. 86 Elsertifikat Årsrapport 2013
- Nr. 87 Naturfareprosjektet: Droneteknologi. Haakensen/NIFS.
- Nr. 88 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen/NIFS. Klimaendring og dampsikkerhet: En pilot-
- Nr. 89 studie.. D.Lawrence.
- Nr. 90 Rapport Troms. Graziella Devoli/ NIFS.
- Nr. 91 Rapport Kvikkleire. Graziella Devoli /NIFS
- Nr. 92 Ground improvement. NIFS.
- Nr. 93 Skredet ved Nord-Statland. Utredning av teknisk årsakssammenheng. Einar Lyche, Stein-Are Strand.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

