

Til: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
v/ Ingrid Havne og Mads Eirik Hugo Johnsen
Kopi til: Joar Skauge
Dato: 2022-02-14
Rev.nr. / Rev.dato: 0
Dokumentnr.: 20210050-01-TN
Prosjekt: Sikringstiltak, Verdal og Indre Fossen
Prosjektleder: Thi Minh Hue Le
Utarbeidet av: Thi Minh Hue Le
Kontrollert av: Ragnar Moholdt

Kvikkleiresonene 944 Sandmo– Erosjonssikringstiltak, stabilitetsvurdering og anbefaling til utførelse

Innhold

1	Innledning	3
2	Bakgrunn og grunnlag	3
2.1	Grunnlagsdokument	3
2.2	Supplerende grunnundersøkelser	4
2.3	Beskrivelse av sonene	5
2.4	Erosjonssikringstiltak	8
3	Stabilitetsvurdering	8
3.1	Metoder	8
3.2	Tolkning av skjærfasthet	8
3.3	Anisotropi og sprøbruddoppførsel	9
3.4	Laster og poretrykk	9
3.5	Resultater fra stabilitetsberegninger	9
4	Anbefalinger til utførelse	11
5	Konklusjoner	12
6	Referanser	13

Kart og tegninger

Kart 001	Borplan med tolkning av sprøbruddmateriale
Kart 002	Borplan, supplerende grunnundersøkelser (juli 2021)
Tegn. nr. 010	Prinsipptegning for erosjonssikring
Tegn. nr. 100	Profil F, lag deling
Tegn. nr. 101	Profil G, lag deling
Tegn. nr. 300	Profil F, stabilitetsberegninger
Tegn. nr. 301	Profil G, stabilitetsberegninger

Vedlegg

Vedlegg A	Tolkning av CPTU fra supplerende grunnundersøkelser
Vedlegg B	Tolkning av poretrykk fra supplerende grunnundersøkelser

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

I 2017-2018 utredet NGI kvikkleiresonen 944 Sandmo ifm. prosjektet kvikkleire utredning "light" på oppdrag fra NVE. Utredningen var en mellomting mellom en regional kvikkleirekartlegging og en detaljert soneutredning med stabilitetsberegninger i flere profiler. Formålet med soneutredning "light" var å gi grunnlag for prioritering av sikringstiltak i sonene. Gjennom kvikkleireutredning "light" ble det avdekket meget dårlig stabilitet og noe erosjon i sone 944 Sandmo. Etter anbefalingene fra NGI-rapport 20170367-09-R [1] har sone 944 Sandmo i Indre Fosen kommune blitt prioritert for videre utredning og sikringstiltak.

NVE, ved Multiconsult som underleverandør, utførte supplerende grunnundersøkelser i sone 944 Sandmo for å få bedre grunnlag for stabilitetsvurdering og ev. vurdering av sikringstiltak. På oppdrag fra NVE satte NGI opp borplan for og fulgte opp supplerende grunnundersøkelser. Grunnundersøkelsene ble utført mellom 02.07.2021 og 14.07.2021.

Etter grunnundersøkelsene valgte NVE å gå videre med erosjonssikring av sonen. Foreliggende rapport presenterer en oppdatert stabilitetsvurdering for utvalgte profiler i sone 944 Sandmo med grunnlag i supplerende grunnundersøkelser. Det gis anbefalinger til utførelse av erosjonssikringstiltaket som dimensjoneres og prosjekteres av NVE.

2 Bakgrunn og grunnlag

2.1 Grunnlagsdokument

Vurderingene i foreliggende notat er bygd opp fra fem delleveranser i prosjektet kvikkleireutredning "light", supplerende grunnundersøkelser fra Multiconsult og prosjekteringsrapporten fra NVE. Tabell 1 oppsummer de viktigste grunnlagsdokumentene for vurderingene.

Tabell 1: Oversikt over grunnlagsdokumentene

Leverandør	Innhold	Rapportnr. / referanse
NGI	Innledende vurderinger som grunnlag for utarbeidelse av grunnundersøkelsesprogram for hver sone (Delleveranse 1)	20170367-01-R [1]
NGI	Endelig borplan for hver sone med forslag til felt- og laboratorieundersøkelser og tilbudsgrunnlag for grunnundersøkelser (Delleveranse 2)	20170367-01-TN [2]
NGI	Reviderte vurderinger av faregrad, konsekvens og risiko, og anbefaling om hvilke soner som bør stabilitetsberegnes (Delleveranse 3)	20170367-04-R [3]

Leverandør	Innhold	Rapportnr. / referanse
NGI	Beregningsgrunnlag og stabilitetsberegninger (Del-leveranse 4)	20170367-07-R rev. 1 [4]
NGI	Endelig sluttrapport med anbefalinger om sikringstiltak og videre soneutredninger (Delleveranse 5)	20170367-09-R [5]
Multiconsult	Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1 - Rissa, Datarapport - Geotekniske grunnundersøkelser.	10200523-RIG-RAP-001 rev. 1 [6]
Multiconsult	Kvikkleirekartlegging Indre Fosen kommune Datarapport – Geotekniske grunnundersøkelser	10227063-RIG-RAP-001 [7]
NVE	20394 – Sikringstiltak mot kvikkleireskred, sone 944 Sandmo - Rissa – Indre Fosen kommune Trinn 1: Atkomstvei for grunnundersøkelser	Sak.nr. 201906624 Prosjekt. Nr. 20394 [8]

Sonene som er vurdert i Rissa er vist i Figur 1. Det henvises til rapport [1], [3], [4] og [6], for referanse til andre grunnundersøkelser og tidligere vurderinger som er relevante for sonene.

2.2 Supplerende grunnundersøkelser

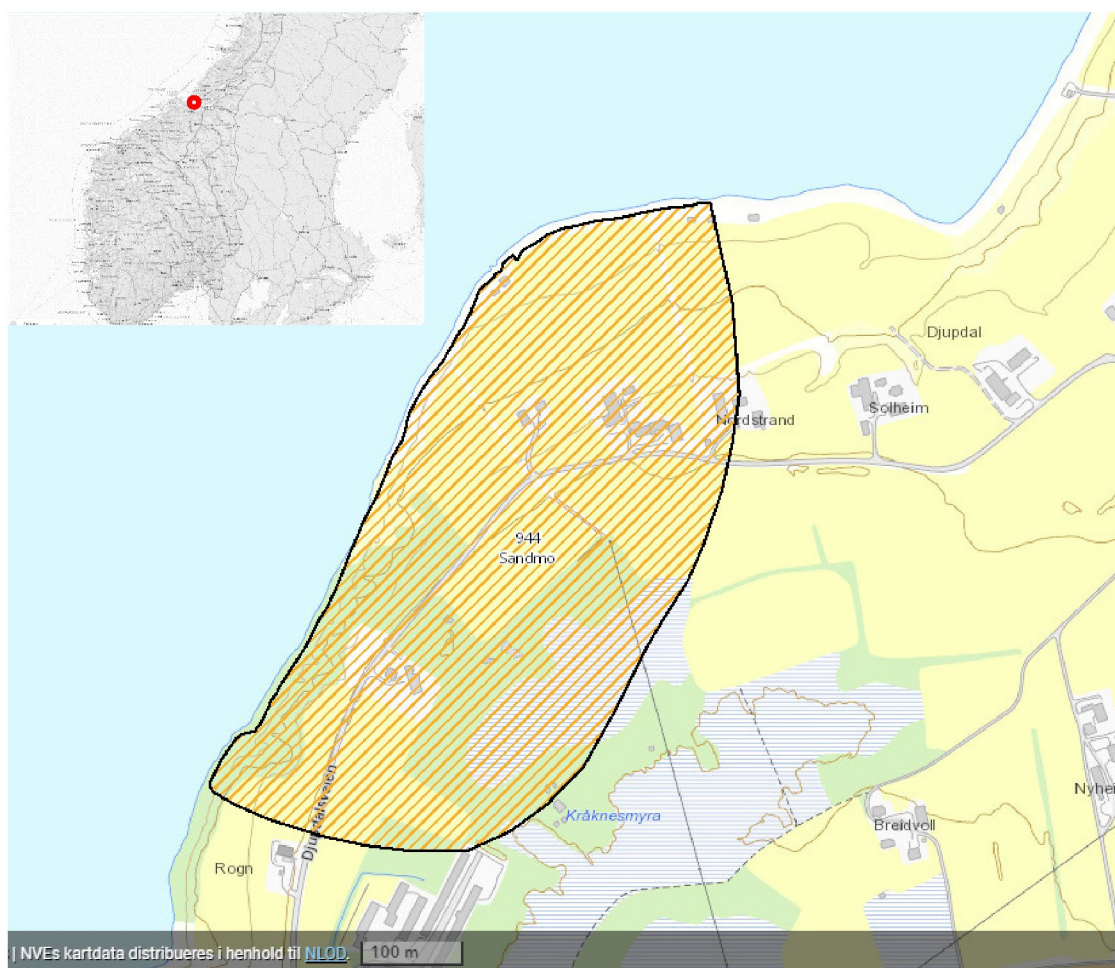
I sone 944 Sandmo ble det etablert en anleggsvei langs strandkanten våren 2021 for atkomst for å gjennomføre supplerende grunnundersøkelser. Dersom de supplerende grunnundersøkene skulle vise behov for stabiliserende tiltak, skulle veien brukes som atkomst for å etablere tiltaket. Dersom det ikke skulle være behov for stabiliserende tiltak, skulle massene legges oppover langs skråningen som sikring mot pågående bølgeerosjon som forverrer stabilitetsforholdene.

De supplerende grunnundersøkelsene i Sandmo besto av 7 dreietrykkssonderinger, 3 CPTU-er, poretrykksmålere på to punkter og opptak av sylinderprøver for rutineundersøkelser i laboratoriet. De fleste av de supplerende borepunktene ligger langs bunnen av skråningen i strandsonen. Borplanen er vist på kart 001.

Supplerende grunnundersøkelser ble utført av Multiconsult mellom 02.07.2021 og 14.07.2021 etter oppsatt borplan fra NGI og med Ingrid Havnen (NVE) som kontaktperson under grunnundersøkelsene. Omfanget av grunnundersøkelser ble vurdert fortløpende av NGI. Vurderingene ble kvalitetssikret av NVE.

2.3 Beskrivelse av sonene

Beliggenheten og avgrensingen av kvikkleiresone 944 Sandmo er vist i Figur 1. Sonebeskrivelser og vurdering av viktige forhold fra kvikkleireutredningen er presentert i Tabell 2. Tabellen er oppdatert fra tidligere vurdering i prosjektet kvikkleireutredning "light" (ref. [5]) med tilleggsinformasjon fra supplerende grunnundersøkelser (ref. [7]).



Figur 1. Beliggenhet av kvikkleiresone 944 Sandmo (Utlipp fra NVEs kartdata, 09.08.2021)

Tabell 2: Vurdering av 944 Sandmo

Forhold	Beskrivelse
Soneavgrensning	Området ligger i skråningen ned mot Trondheimsfjorden like syd for Djupdalen [9].
Grunnundersøkelser	10 dreietrykkssonderinger fra [10] og [11]. 13 dreietrykkssonderinger, 5 CPTU, 3 prøveserier, poretrykkmålere på tre punkter fra [6] og [7]. Rutineundersøkelser av 20 sylinderprøver (54 mm), to ødometerforsøk (CRS) i ett borpunkt og to konsistensgrenser i ett borpunkt (ref. [6] og [7])
Topografi	Området er i hovedsak flatt med skråningen ned mot Trondheimsfjorden. Høydeforskjellen er ca. 20-25 meter og skråningshelningen er på det bratteste ca. 1:2 som må betegnes som bratt [9].
Kvartærgeologi (NGU)	Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet.
Grunnforhold	<p>Kvikkleirelagets tykkelse er mellom 5 og 10 meter, og dybden ned til den ser ut til å øke innover på land. Opprinnelig terreng har trolig ikke ligget vesentlig høyere enn dagens terreng, men erosjon har medført at terrengnivået lokalt er noe senket.</p> <p>Massene over kvikkleiren er meget faste [10]. Utførte sonderinger og prøvetaking viser at løsmassene i området består av et fastere topplag med ca. 2-4 meters mektighet, over leirige masser [6].</p> <p>Det er utført prøvetaking i BP. 944-10 på dybder mellom 7 og 18 m. Laboratorieundersøkelser av prøvene viser leire med siltlag [6]. Leira er middels til meget sensitiv. Mellom 8 og 14 m dybde kan leira betegnes som sprøbruddmateriale. Prøveserien i punkt 944-105 viser kvikkleire på 6-7 meter dybde under terreng med sensitivitet mellom 40-70. Prøveserien mellom 2 og 4 m under terreng i punkt 944-103 i strandsonen lengst nord i sonen viser lav omrørt skjærstyrke (mellom 0.4 og 0.8 kPa) dvs. sprøbruddmateriale, mens prøveserien i punkt 944-101, midt i sonen, ikke viser sprøbruddmateriale ned til 8 m dybde [7].</p> <p>Vanninnholdet ligger i intervallet 19-35%.</p> <p>Utførte sonderinger ble avsluttet mellom 10,0 og 37,3 m under terreng uten å treffe bergoverflaten [6].</p>
Poretrykksforhold	Det er satt ned to elektriske piezometre i borpunkt 944-10 i 2017 - undersøkelsen. Piezometerene er installert 8 m og 16 m under terreng. Måling av vannstanden indikerer en grunnvannstand ca. 6,7 m under terreng, samt betydelig poreundertrykk i dybden [6].

Forhold	Beskrivelse
	I 2021 ble det installert poretrykksmålingene i punkt 944-105 på toppen og punkt 944-101 ved bunnen av skråningen [7]. Poretrykksmålingene på 6 og 12 m dybde under terreng ved punkt 944-105 viser nesten hydrostatiske forhold med grunnvannstanden ca. 5-5,5 m under terreng. Poretrykket på 4 m dybde ved punkt 944-101 viser lite overtrykk i foten av skråningen.
Vassdrag	Ingen større bekker
Strandsone	Det er langgrunt utenfor søndre og midtre del av sonen, hhv. ca. 250 og 400 meter ut til marbakken. I nordre del er det ca. 100 meter ut til marbakken. Bølgeerosjon har skapt en bratt kant ut mot sjøen. I 1982 ble det utløst et skred i skråningen ut mot sjøen.
Erosjon	Sonen ble befart i 2017. Det pågår litt erosjon i sørøstre og midtre del av sonen. Bølgeerosjon har skapt bratte kanter ned mot sjøen i sørøstre og midtre deler. Det er også noe sig i terrenget. Mange gamle skredgroper er synlige i midtre del i strandsonen.
Inngrep	Noen mindre private utfyllinger omkring boliger registrert ved befaringen i 2017. Ifm. sikringstiltaket for sonen utførte NVE trinn 1 ved å etablere anleggsvei langs skråningsfoten for atkomst for supplerende grunnundersøkelser i 2021.
Skredaktivitet	Det fremgår en god del skredaktivitet med kvikkleire i nærområdet, sett ut fra kvartærgeologisk kart. Ingen registrere på NVEs side: https://www.skredregistrering.no . Det skjedde ras i 1982, som var undersøkt av NGI [10]. Flere gamle skredgroper i midtre del av sonen.
Utløpsområder- Oppdemming/Flombølge	Ingen fare ved flombølge i Trondheimsfjorden.
Stabilitetsberegninger	Stabilitetsberegning for profil F og G
Klassifisering per juni 2017 (ikke oppdatert)	Fareklasse: 2 – Middels Konsekvensklasse: 2 – Alvorlig Risikoklasse: 3 – Middels prioritet
Ny soneavgrensing	Ingen endering

2.4 Erosjonssikringstiltak

Erosjonssikringstiltaket er tidligere prosjektert av NVE og beskrevet i detalj i ref. [8]. NVE har beregnet nødvendige steinstørrelser og volum av steinmasser, samt utforming av tiltaket. Dette notatet dokumenterer stabilitetsvurderingene, gir innspill til prosjekteringen og anbefalinger om utførelse basert på oppdatert informasjon fra grunnundersøkelsene.

3 Stabilitetsvurdering

3.1 Metoder

Det er utført stabilitetsberegninger for profil F og G gjennom nordre og søndre deler av sonen. Lagdelingen er tolket fra dreietrykksonderingene og prøveseriene (tegn.nr. 100-101). Om sonderingskurven for matekraft viser tilnærmet vertikal eller avtagende (negativ) helning, tolkes det som sprøbruddmateriale.

Stabilitetsberegningene er utført med:

- Totalspenningsanalyse (ADP) for å kontrollere stabilitetsforholdene for en udrenert korttidstilstand (f.eks. kortvarig pålastning pga. oppfylling etc.).
- Effektivspenningsanalyse for å representere langtidstilstanden for en naturlig skråning eller langtidstilstanden etter belastning av leira.

Stabilitetsberegningene er utført både med opprinnelig terreng (før - situasjon), dagens terreng (med anleggsveien slik den er i dag) og for en fremtidig situasjon etter at erosjonssikringstiltaket er etablert.

Beregningsprogrammet Geosuite Stability (versjon 22.0.2.0, Trimble 2018) er benyttet for å beregne stabiliteten. Beregningsprogrammet er basert på grenselikevektsmetoden og anvender en versjon av lamellmetoden som tilfredsstillende både kraft- og momentlikevekt. Det er ikke benyttet 3D-effekter i beregningene.

3.2 Tolkning av skjærfasthet

Inngangsparameterne for stabilitetsberegningene er tolket fra grunnundersøkelsene i 2017 og i 2021. Udrenert skjærstyrke er tolket fra CPTU (se vedlegg A). Drenert skjærstyrke er basert på erfaringsverdier. En oppsummering av inngangsparameterne som er brukt i stabilitetsberegningene er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Oppsummering av inngangsparametere for stabilitetsberegninger

Materialer	Tyngdetetthet γ (kN/m ³)	Friksjonsvinkel ϕ (°)	Kohesjon c (kPa)	Skjærfasthet s_u (kPa)
Sprengstein	19	42	1	
Tørrskorpe	20,5	32	1	
Leire I (øvre)	20,5	26	5	C-profil
Sprøbruddmateriale	20,5	26	5	C-profil
Leire II (nedre)	20,5	26	5	C-profil

3.3 Anisotropi og sprøbruddoppførsel

I totalspenningsanalysene tas det hensyn til spenningsanisotropi i leira. Dette betyr at udrenert skjærfasthet (c_u) varierer med hovedspenningsretningen (ADP-analyse). Utgangspunktet for fastsetting av skjærstyrke i de forskjellige hovedspenningsretningene er udrenert aktiv skjærfasthet.

For leira er direkte og passiv skjærfasthet beregnet ut ifra følgende sammenheng etter anbefalinger fra NIFS rapport nr. 14/2014 [11]:

$$c_{uD} = 0,63 \cdot c_{uA} \text{ (direkte hovedspenningsretning)}$$

$$c_{uP} = 0,35 \cdot c_{uA} \text{ (passiv hovedspenningsretning)}$$

NVEs veileder nr. 1/2019 [3] forslår å ta hensyn til sprøbruddoppførsel ved bruk av sprøhetsforholdet, $f_s = 1,15$, på beregnet sikkerhetsfaktor dersom beregningsprogrammet ikke tar hensyn til sprøbrudd. Dette gjelder for programvaren Geosuite Stabilitet.

3.4 Laster og poretrykk

I stabilitetsberegningen benyttes det jevnt fordelt last på 15 kPa/m og 10 kPa/m som henholdsvis representerer laster fra bebyggelsene og veien langs profil F. Dimensjonerende terrenglast er 15 kPa x last-faktor 1,3 = 20 kPa.

Det anvendes ikke laster langs profil G, da profilen stort sett går gjennom åpent terreng.

Grunnvannstand og poretrykk er modellert i samsvar med poretrykksmålingene.

3.5 Resultater fra stabilitetsberegninger

Tabell 4 presenterer de kritiske (laveste) sikkerhetsfaktorene for profil F og profil G. Tilhørende tegninger presenterer utfyllende informasjon med glideflater og sikkerhetsfaktorer.

Tabell 4: Oppsummering av resultater fra stabilitetsberegninger

Profil Ref. tegn.	Glideflater Drenert-d/ Udrenert-u	F, Før tiltak	F, med dagens anleggsvei	F, Etter erosjon sikringstiltak	Kommentarer
F (tegn.nr. 300)	Kritisk, u		1,00	1,00	Global glideflate. Lite forbedring. Glideflaten slår ut forbi fyllingen. Lav sikkerhetsfaktor
	Kritisk, u	1,01	1,03	1,03	2% forbedring
	Kritisk, u	1,01	1,04	1,04	3% forbedring
	Sammensatt, u	1,08	1,09	1,09	1% forbedring
	Sammensatt, u	1,34	1,34	1,35	Lite forbedring. Glideflaten slår ut forbi fyllingen
	Lokal, d	1,10	1,19	1,20	9% forbedring
	Lokal, u			2,31	Sikkerhetsfaktoren til disse glideflatene forventes å bli forverret litt med erosjonssikringstiltaket
	Lokal, d			1,75	
G (tegn. nr. 301)	Kritisk, u	1,00	1,01	1,01	Lite forbedring, kunne 1%
	Kritisk, u	0,99	1,06	1,04	4% forbedring
	Sammensatt, u	1,10	1,12	1,11	Lite forbedring. Glideflaten slår ut forbi fyllingen
	Sammensatt, u	1,21	1,22	1,22	Lite forbedring. Glideflaten slår ut forbi fyllingen
	Drenert, d	1,25	1,33	1,34	7% forbedring
	Lokal, u			1,62	Sikkerhetsfaktoren til disse glideflatene forventes å bli forverret litt med erosjonssikringstiltaket.
	Lokal, d			1,84	

Beregningene viser at udrenert stabilitet for skråningen i Sandmo er veldig lav, og de mest kritiske glideflatene har sikkerhetsfaktor ned mot 1,0 både for profil F og G (1,0 tilsvarer labil tilstand). Fyllingen for erosjonssikringstiltaket vil forbedre stabiliteten litt. For de fleste glideflatene vil sikkerhetsfaktoren øke minst 1-3%, men økningen er liten for glideflatene som slår ut forbi fyllingen. Lokale glideflater i foten av skråningen med fyllingen på drivende side, forventes å få redusert i stabilitet. Beregningene viser at

sikkerhetsfaktoren til disse glideflatene er større enn 1,6 for både drenert og udrenert tilstand etter tiltak.

Beregningene viser at det er nødvendig med større, mer omfattende tiltak (dvs. stor motfylling i bunnen og/eller avlastningen på toppen) for å oppnå betydelig forbedring av stabilitetsforholdene i sonen. Erosjonssikringen forventes imidlertid å gi god effekt som følge av at pågående erosjon stopper opp. Stabilitetsforholdene vil da ikke forverres med tiden (dagens situasjon konserveres).

4 anbefalinger til utførelse

Beskrivelse av erosjonssikringstiltaket er gitt i NVEs prosjekteringsrapport ref. [8]. Under gis noen forslag til endringer / justeringer av prosjekteringen, samt anbefalinger om tiltak for å ivareta stabilitetsforholdene best mulig både i anleggsperioden og permanent.

1. På grunn av veldig lav beregnet sikkerhetsfaktor for skråningen, anbefales det ikke å grave fotgrøft for erosjonssikringen som skissert i vedlegg B, profil 220-700 i NVEs prosjekteringsrapport (ref. [8]). In stedet for fotgrøft anbefales det å etablere det sikringstå.
2. Steinmassene legges ut lass for lass uten mellomlagring. Overflaten plastres med steinblokker med økende størrelse nedover (dvs. de største steinene legges ut mot sjøsiden i foten av skråningen). Steinene trykkes ned i bakken med gravemaskin for å oppnå en viss fortanning av fyllingsfoten.
3. For å oppnå beregnet stabilitetsforbedring (1-3%) må erosjonssikringen strekke seg minimum 4 meter ut fra dagens skråningsfot (se tegn. nr. 002)
4. Fronthelningen må ikke være brattere enn 1:1,5 og ikke brattere enn dagens terreng i skråningen (se tegn. nr. 002)
5. Tykkelsen må være minimum 1,5 m (se tegn. nr. 002) ved dagens skråningsfot.
6. Værforholdene må vurderes forløpende (dette punktet må inngå i byggherrens SHA-plan). Arbeidene utføres fortrinnsvis i perioder med tørrvær.

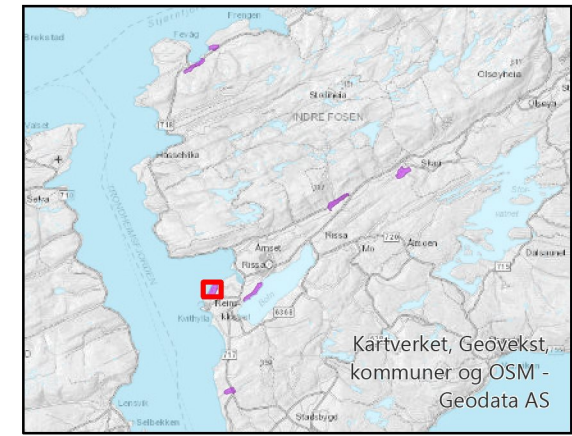
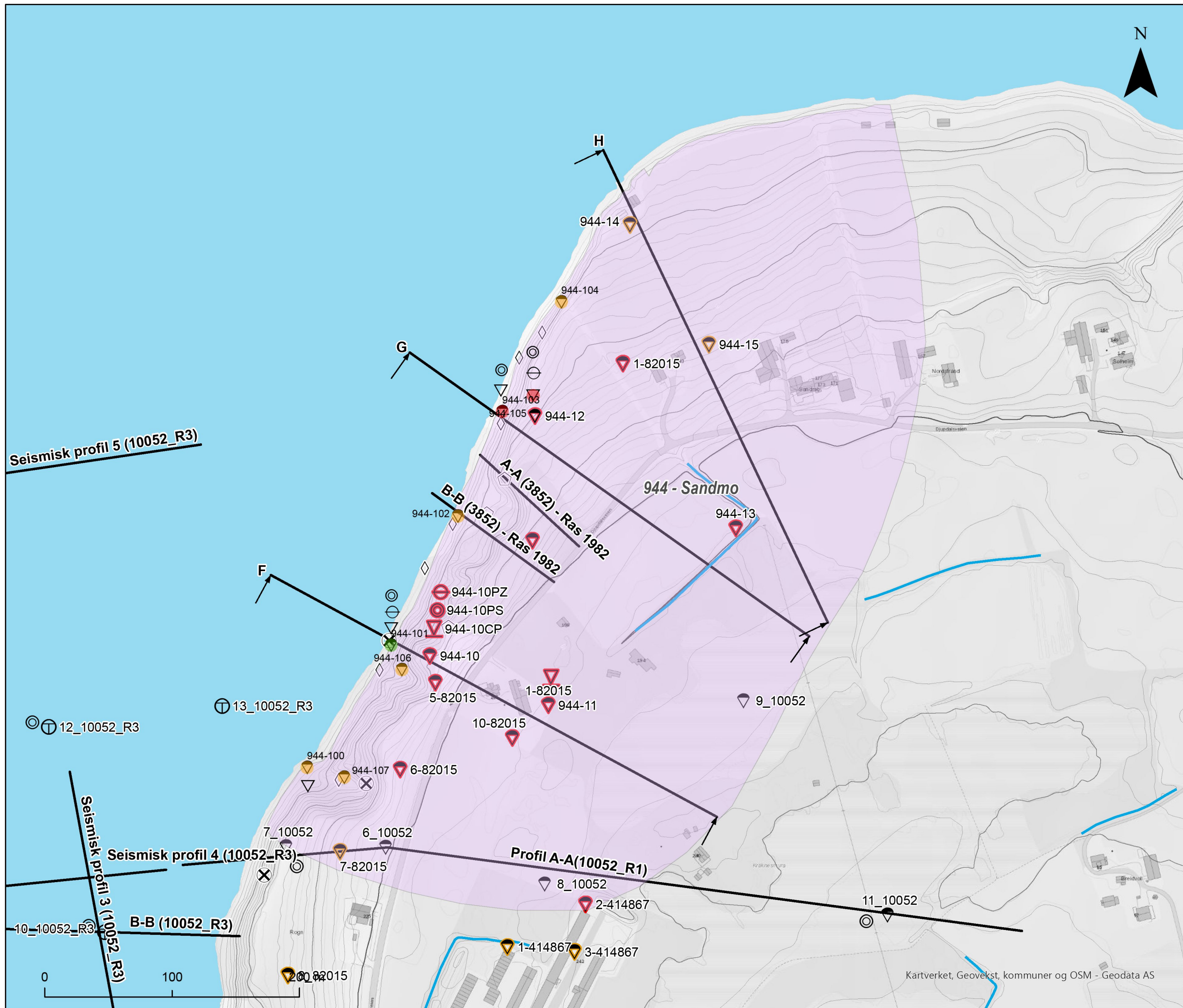
5 Konklusjoner

Stabilitetsforholdene er vurdert ifm. etablering av erosjonssikringstiltak i kvikkleiresone 944 Sandmo. Vurderingen er basert på tidligere grunnundersøkelser og supplerende grunnundersøkelser utført i juli 2021. Stabilitetsberegningene tilsier at det er dårlig stabilitet i skråningen ned mot sjøen. Prosjektert erosjonssikringstiltak gir relativt sett liten beregningsmessig forbedring av stabilitetsforholdene. Beregnede glideflater gjennom fyllingen får 1-3% økning av sikkerhetsfaktoren. Andre glideflater får liten eller ingen endring. Hensikten med denne erosjonssikringen er først og fremst å unngå fremtidig erosjon som kan forverre stabilitetsforholdene.

På grunn av dårlig stabilitet anbefales det ikke å grave fotgrøft for fyllingen, istedet anbefales sikringstå. Steinmassene legges ut lass for lass uten mellomlagring. Fyllingen må strekke seg minst 4 m ut fra skråningsfoten, der den må ha minimum 1,5 m tykkelse og helningen kan ikke være brattere enn 1:1,5 og ikke brattere enn dagens terreng.

6 Referanser

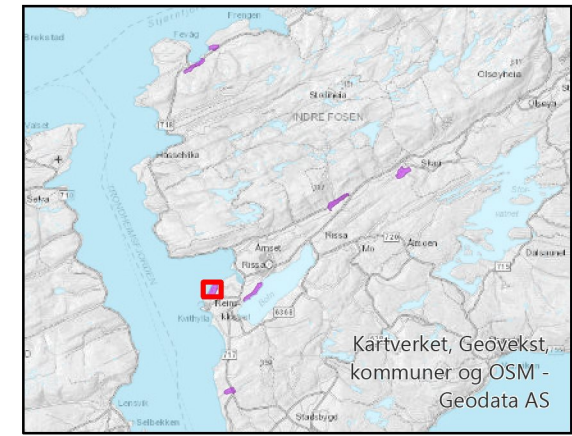
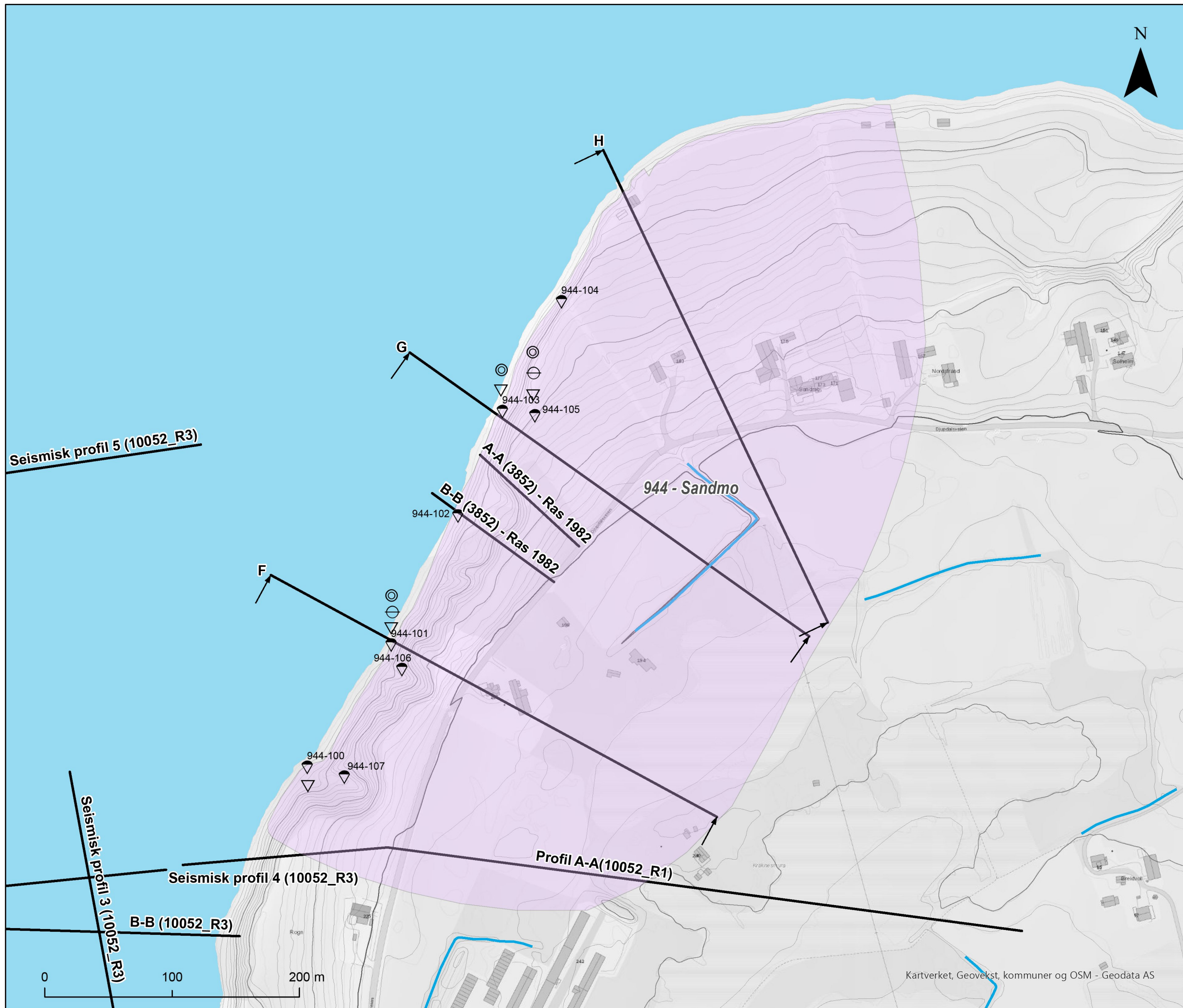
- [1] NGI, «20170367-01-R rev. 1 Kvikkleiresoneutredning "light" Trønderlag, Faresone Rissa kommune, Delleveranse 1,» 2017.
- [2] NGI, «20170367-01-TN Konkurranses grunnlag geotekniske undersøkelser,» 2017.
- [3] NGI, «20170367-04-R rev01-Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysningssområde I - Delopdrag A - Delleveranse 3,» 2018.
- [4] NGI, «20170367-07-R rev02 Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag – Rissa (Indre Fosen) - Delleveranse 4. Beregningsforutsetninger og stabilitetsberegninger- Dato. 03-10-2018,» 2018.
- [5] NGI, «Kvikkleiresoneutredning "light" - Risiko for kvikkleireskred i Rissa (nå Indre Fossen). Dok. nr. 20170367-09-R,» 2018.
- [6] Multiconsult, 10200523-RIG-RAP-001 rev. 1 Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysningssområde 1 - Rissa, Datarapport - Geotekniske grunnundersøkelser.
- [7] Multiconsult AS, «10227063-RIG-RAP-001. Kvikkleirekartlegging Indre Fosen kommune - Datarapport, Grunnundersøkelser. Dato: 30.08.2021,» 2021.
- [8] NVE, «20394 - Sikringstiltak mot kvikkleireskred, sone 944 Sandmo - Rissa - Indre Fosen kommune. Trinn 1 - Atkomstvei for grunnundersøkelser. Dato. 03.07.2020.,» 2020.
- [9] NGI, Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Rapport No. 86054-1, 1989.
- [10] NGI, «Ras ved Sandmo i Rissa. Vurdering av stabilitetsforhold. Rapport No. 82015,» 1986.
- [11] Multiconsult, «Boligrigg Kvithyll, Rissa - Vurdering av områdestabilitet. Notat. 414867-RIG-NOT-01,» 2011.
- [12] NIFS rapport 14/2014, «En omforent anbefaling for bruk av anisotropiforhold i prosjektering i norske leirer. Rap. nr. 14/2014. NVE. Dato: 30.01».
- [13] NVE, «Veileder nr. 1/2019. Sikkerhet mot kvikkleireskred. Norges vassdrags- og energidirektorat,» 2020.



- Kvikkleirefarezone**
- Aktuell
 - Øvrige kvikkleirefarezoner
 - Tidligere farezone
- Eksisterende og supplerende grunnundersøkelser**
- CPTU
 - Dreietrykksøndering
 - Dreiesøndering
 - Poretrykkmåling
 - Prøveserie
 - Totalsondering
- Klassifisering**
- Sannsynlig kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Mulig kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Antatt ingen kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Ikke tolket
- Observasjoner**
- Berg i dagen
 - Erosjon i bekk/elv
 - Fylling
 - Gammel skredgrop
 - Leire
- Tiltak**
- Anbefalt avlastning
 - Anbefalt motfylling
 - Sikringstiltak (NVE)
- Andre kartlag**
- Kritisk snitt
 - Skredkant (NGU)

Målestokk (A3): 1:2 840 Datum: EUREF 89, Kartprojeksjon: UTM 32

Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Sikringstiltak		
Indre Fosen kommune	Prosjektnr.	Kart nr.
	20210050	001
Faresone 944 - Sandmo Boreplan (med tolkning av kvikkleire)	Utført	Dato
	TLe	2022-02-14
	Kontrollert	Godkjent
	RMo	TLe
Utarbeidet av NGI		

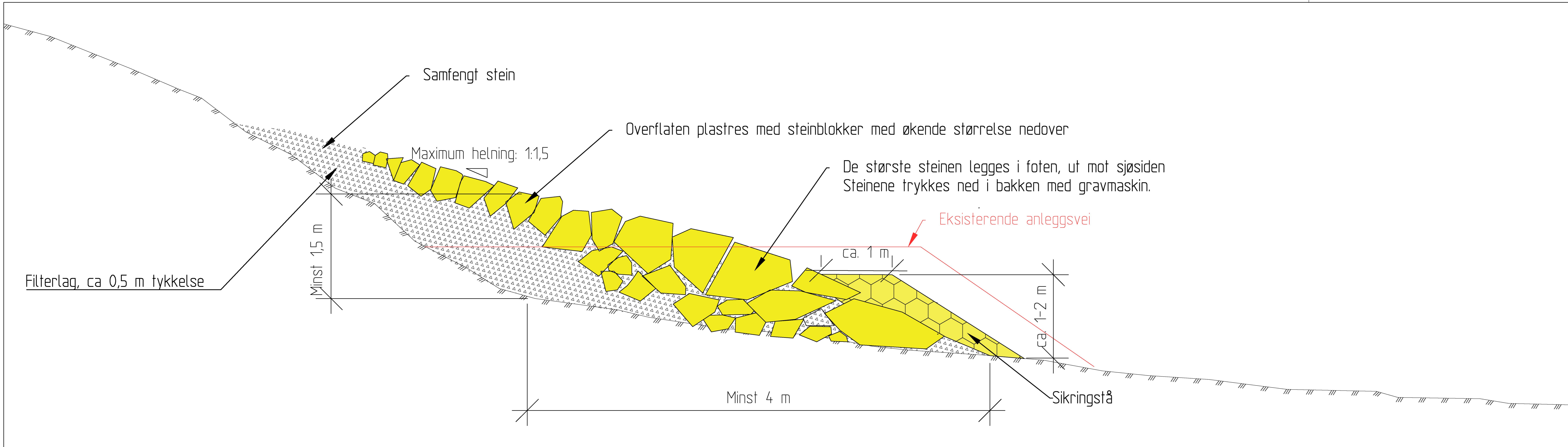


- Kvikkleirefarezone**
- Aktuell
 - Øvrige kvikkleirefarezoner
 - Tidligere farezone
- Eksisterende og supplerende grunnundersøkelser**
- CPTU
 - Dreietrykksøndering
 - Dreiesøndering
 - Poretrykksmåling
 - Prøveserie
 - Totalsondering
- Klassifisering**
- Sannsynlig kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Mulig kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Antatt ingen kvikkleire/sprøbruddmatr.
 - Ikke tolket
- Observasjoner**
- Berg i dagen
 - Erosjon i bekk/elv
 - Fylling
 - Gammel skredgrop
 - Leire
- Tiltak**
- Anbefalt avlastning
 - Anbefalt motfylling
 - Sikringstiltak (NVE)
- Andre kartlag**
- Kritisk snitt
 - Skredkant (NGU)

Målestokk (A3): 1:2 840 Datum: EUREF 89, Kartprojeksjon: UTM 32

Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Sikringstiltak		
Indre Fosen kommune	Prosjektnr. 20210050	Kart nr. 002
Faresone 944 - Sandmo Boreplan Supplerende grunnundersøkelse utført i 2021	Utført TL	Dato 2022-02-14
	Kontrollert RMO	Godkjent TL
Utarbeidet av NGI		


Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS

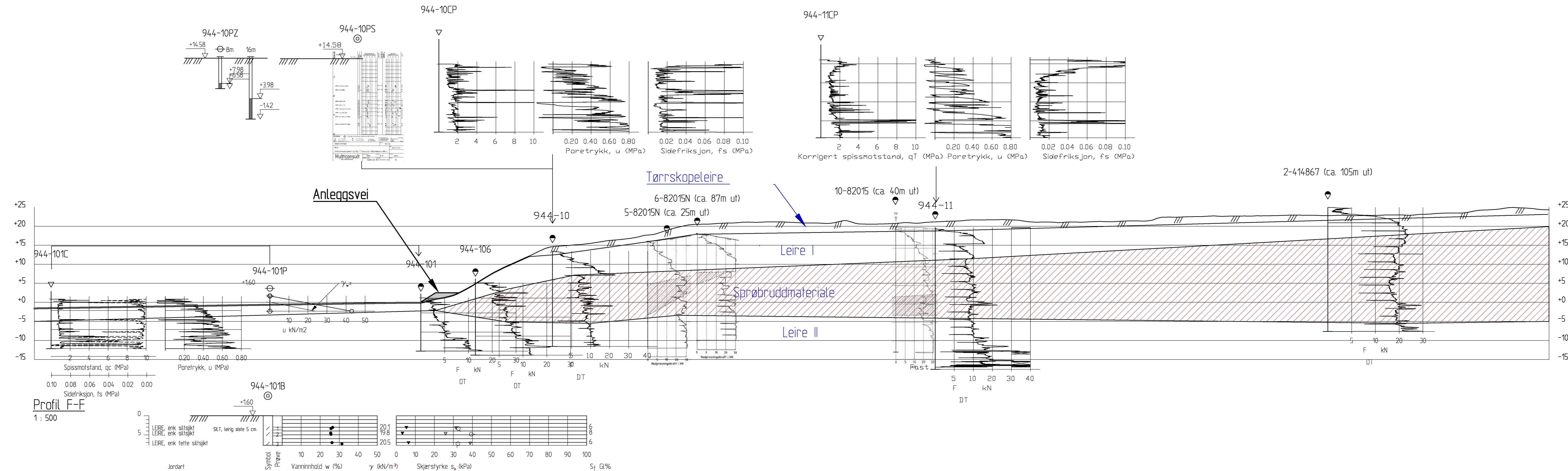


ANBEFALINGER TIL UTFØRELSE:

Forslag til anbefalinger til utførelse mht. stabilitet:

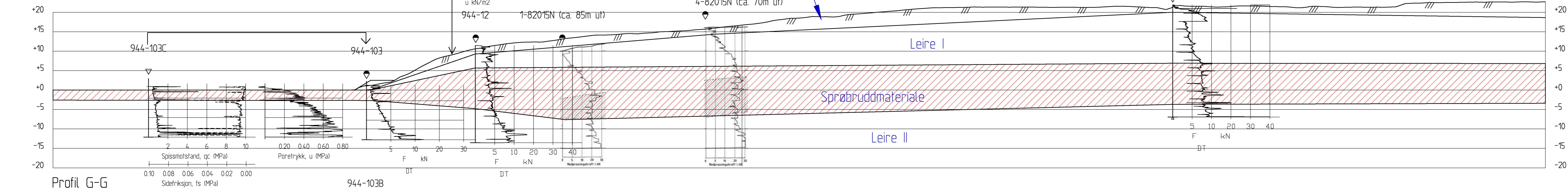
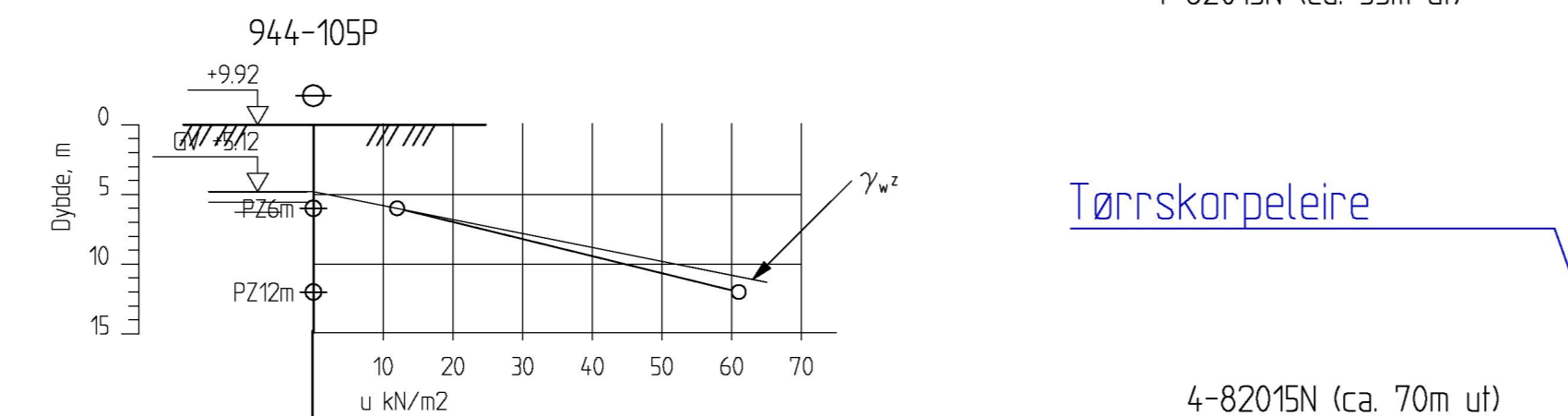
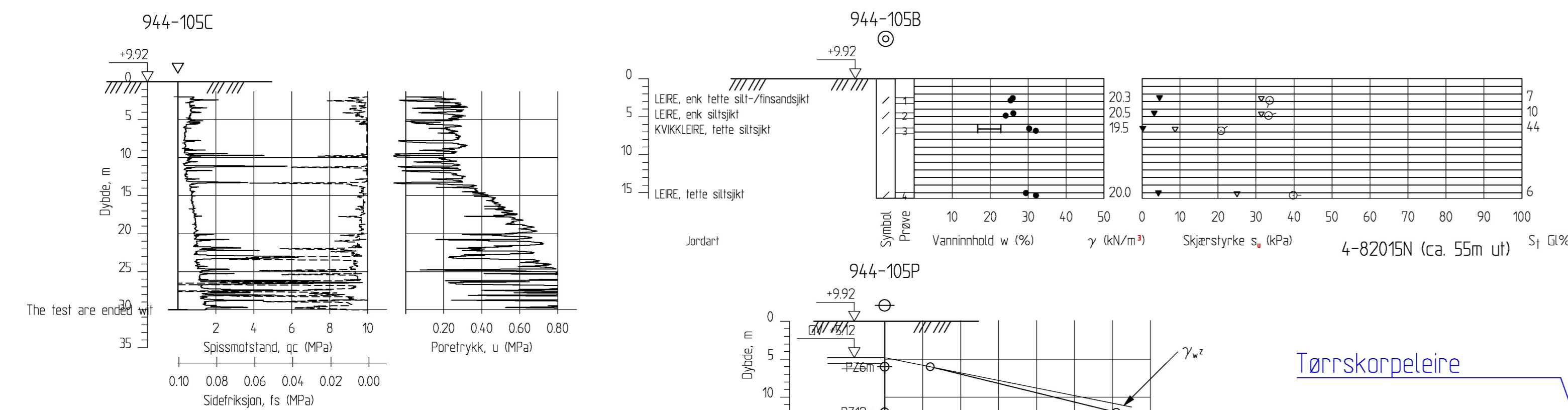
1. På grunn av dårlig stabilitet kan det bare fylles opp i foten av skråningen, dvs. graving kan ikke tillates. I stedet for fotgrøft etableres det sikringstå.
2. Steinmassene legges ut lass for lass uten mellomlagring.
3. Erosjonssikringen må strekke seg minimum 4 meter ut fra dagens skråningsfot (se figur)
4. Front helning må ikke være brattere enn 1:1,5 og ikke brattere enn dagens terreng (se figur)
5. Tykkelsen må være minimum 1,5 m (se figur) ved skråningsfot.
6. Værforholdene må vurderes fortløpende (dette punktet må inngå i byggherrens SHA-plan). Arbeidene utføres fortrinnsvis i perioder med tørrvær.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Norges vassdrags- og energidirektorat Sikringstiltak - Indre Fosen kommune		Status Original format A-3.0 Tegningsfilnavn Prinsipp_erosjonssikring.dwg Målestokk			
Sone 944 Sandmo Prinsipp-tegning for erosjonssikring					
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 2022-02-07 Oppdragsnr. 20210050	Konstr./Tegnet TLe Tegningsnr. 010	Kontrollert RMo	Godkjent TLe Rev. 0

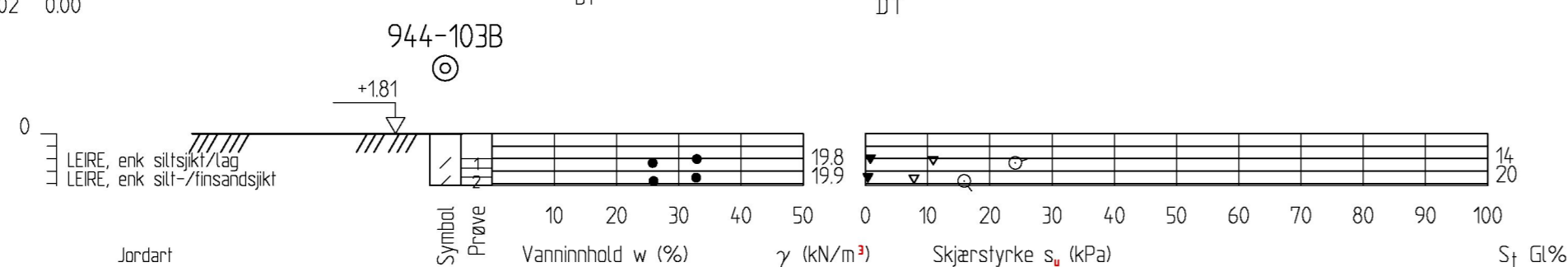


- FORKLARINGER:**
- Dreiesonering
 - Enkel sonering
 - ▽ Trykksonering
 - ⊗ Fjellkontrollboring
 - ⬇ Dreietrykksonering
 - ⊕ Totalsonering
 - ⊕ Prøveserie
 - Prøvegrop
 - + Vingeboring
 - ⊖ Poretrykksmåling
 - ⊗ Fjell i dagen
- | Boring avsluttet
 | Antatt fjell, berg
 xxx
- | Antatt fjellfærtøp
 | 1:15-linje
 ▨ Antatt sprøbruddmateriale

Rev	Bestrivelse	Dato	Tegn	Kontr	Godkj
Norges vassdrags- og energidirektorat					
Sikringstiltak - Indre Fosen kommune					
Sone 944 Sandmo				Målestokk	
Profil F				1500	
Lagdeling				NGI	
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	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		2021-09-06	TLe	RMo	TLe
		Oppdragsnr:	Tegningsnr:	Rev.	
		20210050	100	0	



Profil G-G
1 : 500



FORKLARINGER:

- Dreiesonering
- Enkel sonering
- ▽ Trykksonering
- ⊙ Fjellkontrollboring
- ⊖ Dreietrykksonering
- ⊕ Totalsonering
- ⊗ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊕ Poretrykksmåling
- ⊗ Fjell i dagen

┆ Boring avsluttet

┆ Antatt fjell, berg

┆ Antatt fjellførte

┆ 1:15-linje

▨ Antatt sprøbruddmateriale

┆ Antatt stein, blokk eller fast grunn

┆ Boret i fjell

┆ Antatt fjellførte

┆ 1:15-linje

▨ Antatt sprøbruddmateriale

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn	Kontr	Godkj

Norges vassdrags- og energidirektorat
Sikringsiltak - Indre Fosen kommune

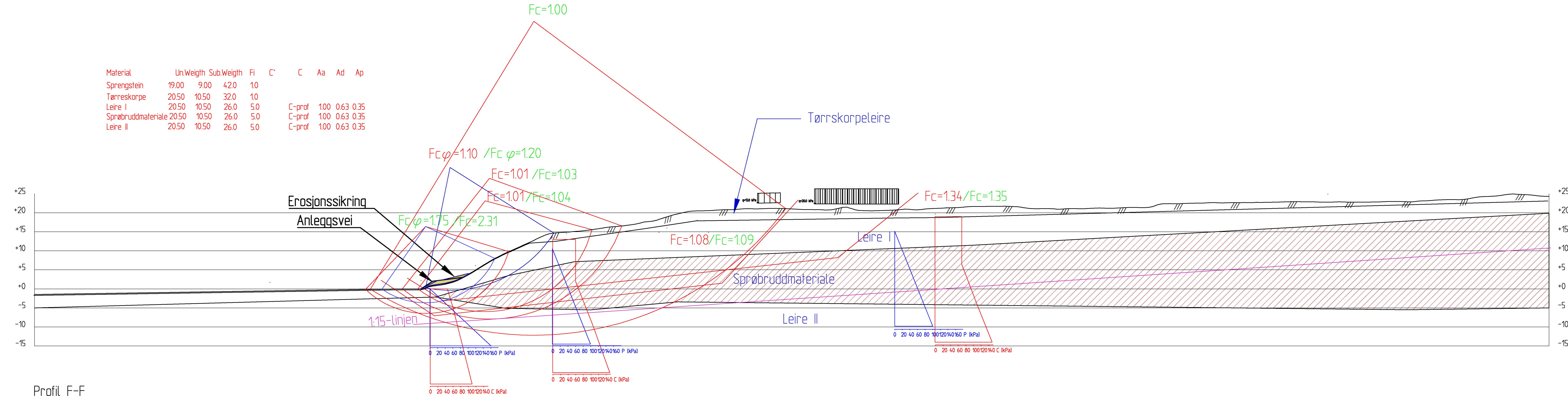
Sone 944 Sandmo
Profil G
Lagdeling

Målestokk
1500

NGI

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 2021.09.06	Konstr./Tegnet TLe	Kontrollert RMO	Godkjent TLe
Oppdragsnr. 20210050	Tegningsnr. 101	Rev. 0		

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Sprengstein	19.00	9.00	42.0	1.0				
Tørreskorpe	20.50	10.50	32.0	1.0				
Leire I	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	1.00	0.63	0.35
Sprøbruddmateriale	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	1.00	0.63	0.35
Leire II	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	1.00	0.63	0.35



Profil F-F
1 : 500

FORKLARINGER:

- Dreiesondring ✪ Fjellkontrollboring ⊙ Prøveserie ⊖ Poretrykkmåling
- Enkel sondring ⬇ Dreietrykksondring □ Prøvegrop ⚡ Fjell i dagen
- ▽ Trykksondring ⊕ Totalsondring + Vingeboring

- | Boring avsluttet | Antatt stein, blokk eller fast grunn
- | Antatt fjell, berg | Boret i fjell

- Antatt fjellfærløp
- 1:15-linje
- ▨ Antatt sprøbruddmateriale
- Erosjonssikring
- Anleggsveien

Fc=xx /Fc=xx Sikkerhetsfaktor før tiltak/Sikkerhetsfaktor etter erosjonssikring

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn	Kontr	Godkj

Norges vassdrags- og energidirektorat
Sikringstiltak - Indre Fosen kommune

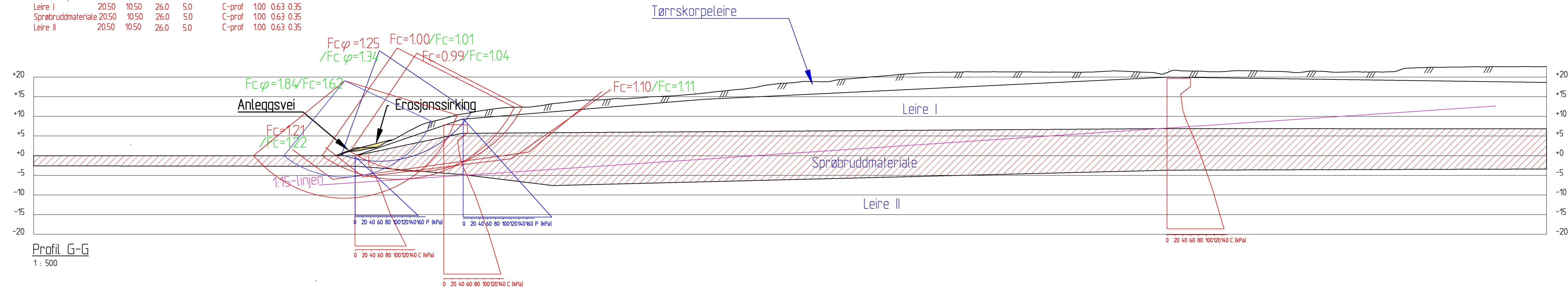
Sone 944 Sandmo
Profil F
Stabilitetsberegninger
Drenert - Udrenert tilstand

Målestokk: 1500

NGI

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: 2022-02-01 Oppdragsnr: 20210050	Konstr./Tegnet: TLe Tegningsnr: 300	Kontrollert: RMo	Godkjent: TLe	Rev: 0
---	--	--	------------------	---------------	--------

Material	Un.Weigh	Sub.Weigh	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Sprengstein	19.00	9.00	42.0	1.0				
Tørreskorpe	20.50	10.50	32.0	1.0				
Leire I	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	100	0.63	0.35
Sprøbruddmateriale	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	100	0.63	0.35
Leire II	20.50	10.50	26.0	5.0	C-prof	100	0.63	0.35



Profil G-G
1 : 500

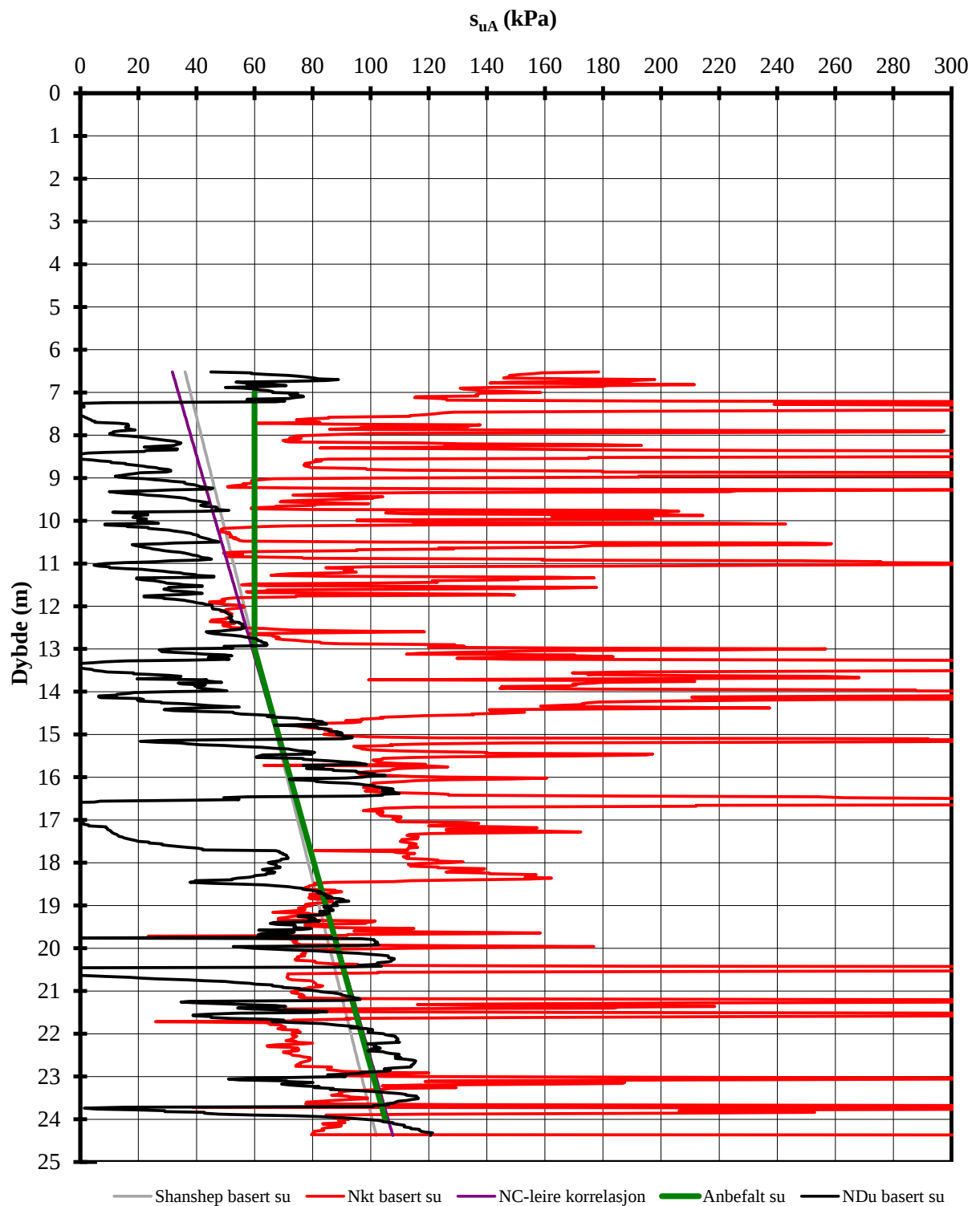
- FORKLARINGER:**
- Dreiesondring
 - Enkel sondring
 - ▽ Trykksondring
 - ⊛ Fjellkontrollboring
 - ⬇ Dreietrykksondring
 - ⊕ Totalsondring
 - ⊙ Prøveserie
 - Prøvegrop
 - + Vingeboring
 - ⊖ Poretrykksmåling
 - ⋈ Fjell i dagen
- | Boring avsluttet | Antatt stein, blokk eller fast grunn
 | Antatt fjell, berg | Boret i fjell
 --- Antatt fjellførsløp
 --- 1:15-linje
 ▨ Antatt sprøbruddmateriale
 ■ Erosjonssikring
 ■ Anleggsveien
 Fc=xx /Fc=xx Sikkerhetsfaktor før tiltak/Sikkerhetsfaktor etter erosjonssikring

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.	
Norges vassdrags- og energidirektorat Sikringstiltak - Indre Fosen kommune		Status Original format A-3.0 Tegningens filnavn Profil G-stabilitetsberegninger.dwg Målestokk 1500				
Sone 944 Sandmo Profil G Stabilitetsberegninger Dreneret - Udrenert tilstand		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 2022-02-01 Oppdragsnr. 20210050	Konstr./Tegnet TLe Tegningsnr. 301	Kontrollert RMo Godkjent TLe Rev. 0

Vedlegg A

TOLKNING AV CPTU

Borhull 944-10
Borhull 944-100
Borhull 944-101
Borhull 944-103
Borhull 944-105



Terrengekote : 14,6 m

Tidligere kotenivå : 20 m

α - faktor


m - faktor

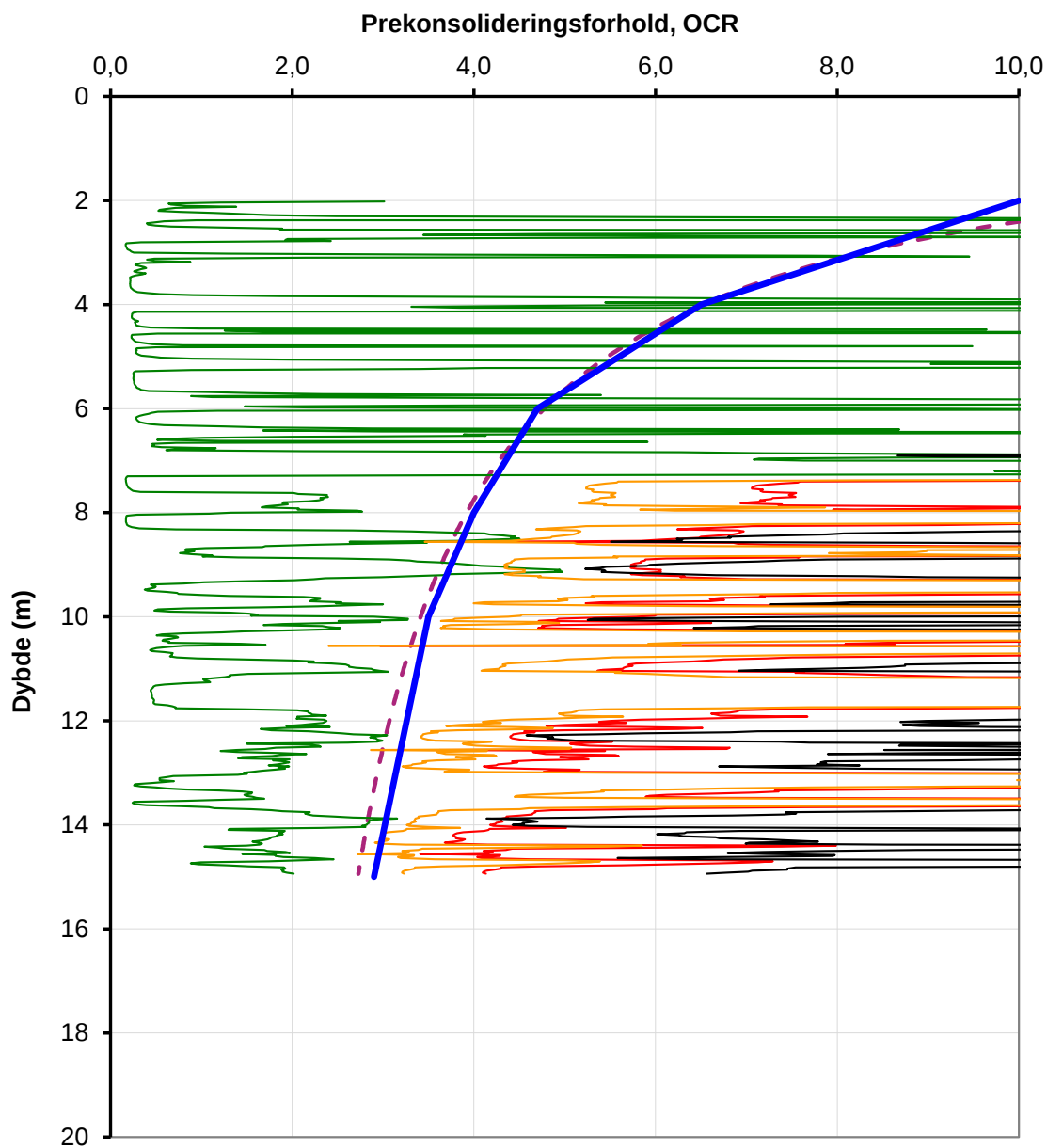
0,25

0,6

Undertrykk (innmålt): 4 kPa/m

Grunnvanndybde : 4 m

Kvikkleire utretning "light"	Rapport nr.	Figur nr.
	20210050	A01
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og SHANSEP Borhull 944-10	Tegner	Dato
	TLe	14.05.2018
	Kontrollert	
Godkjent		
	TLe	



- - OCR (Tidligere terrengnivå)
- OCR (Poretrykk, ref. [1] fig. 16)
- OCR, $k \cdot Q_t$ (ref. [2] lign. [26])
- Ødometer
- OCR (Q_t , ref. [1] lign. (11))
- OCR (B_q , ref. [1] fig. 15)
- OCR trendlinje

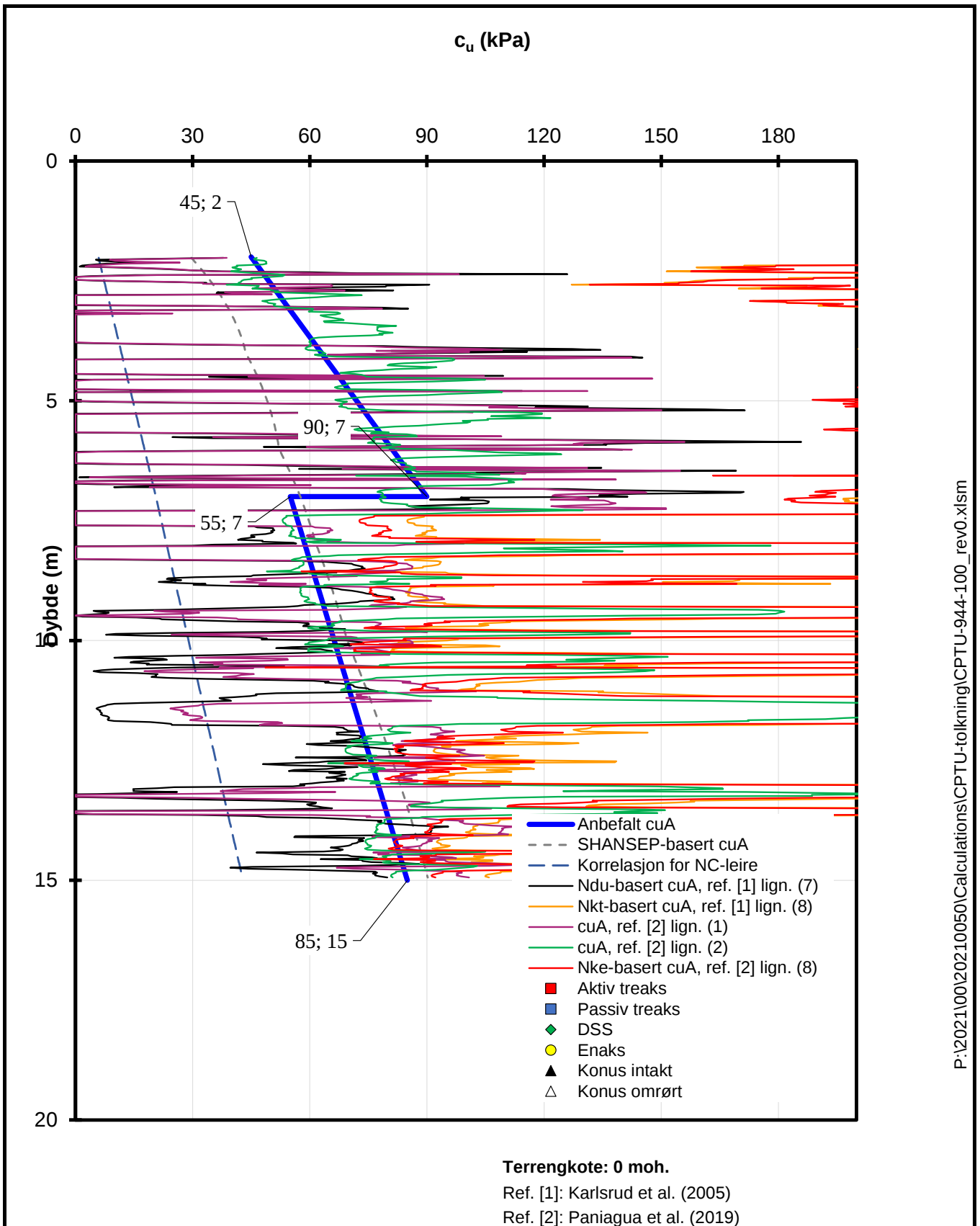
Terrengekote: 0 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-100_rev0.xlsm

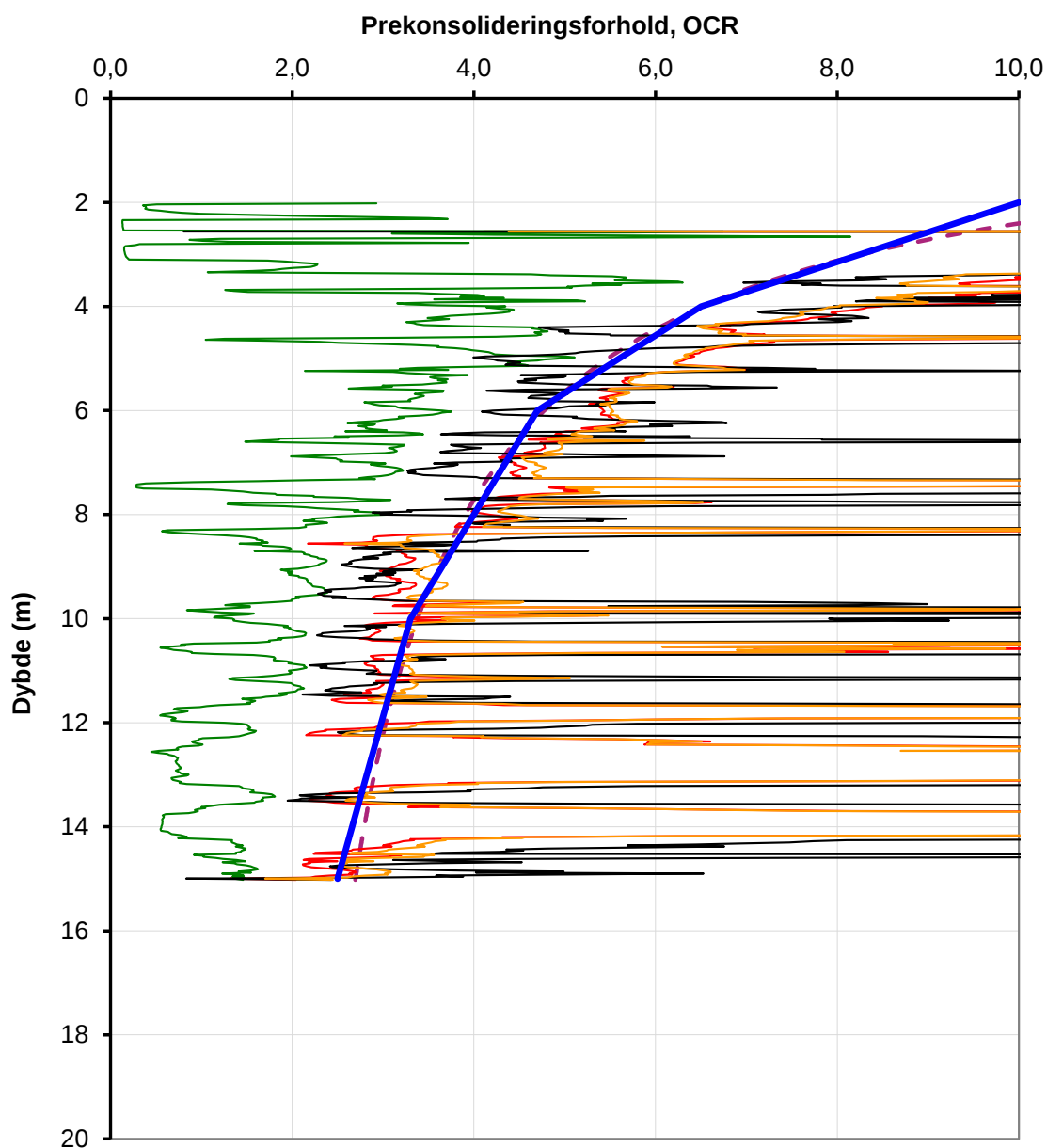
Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak			Rapport nr. 20210050	Figur nr. A02
Overkonsolideringsforhold, $OCR = \sigma_c' / \sigma_{v0}'$			Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	Antatt tidligere kote nivå:	19	Kontrollert Rmo	
944-100	Romvekt, avlastet (kN/m3)	19		
Aging faktor		1,2	Godkjent TLe	
		k-faktor	0,45	



P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-100_rev0.xlsm

Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak		Rapport nr. 20210050	Figur nr. A03
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk		Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	SHANSEP-parametre:		Kontrollert Rmo
944-100	α -faktor 0,3	m-faktor 0,7	Godkjent TLe





- OCR (Tidligere terrengnivå)
- OCR (Poretrykk, ref. [1] fig. 16)
- OCR, $k \cdot Q_t$ (ref. [2] lign. [26])
- OCR (Q_t , ref. [1] lign. (11))
- OCR (B_q , ref. [1] fig. 15)
- OCR trendlinje
- Ødometer

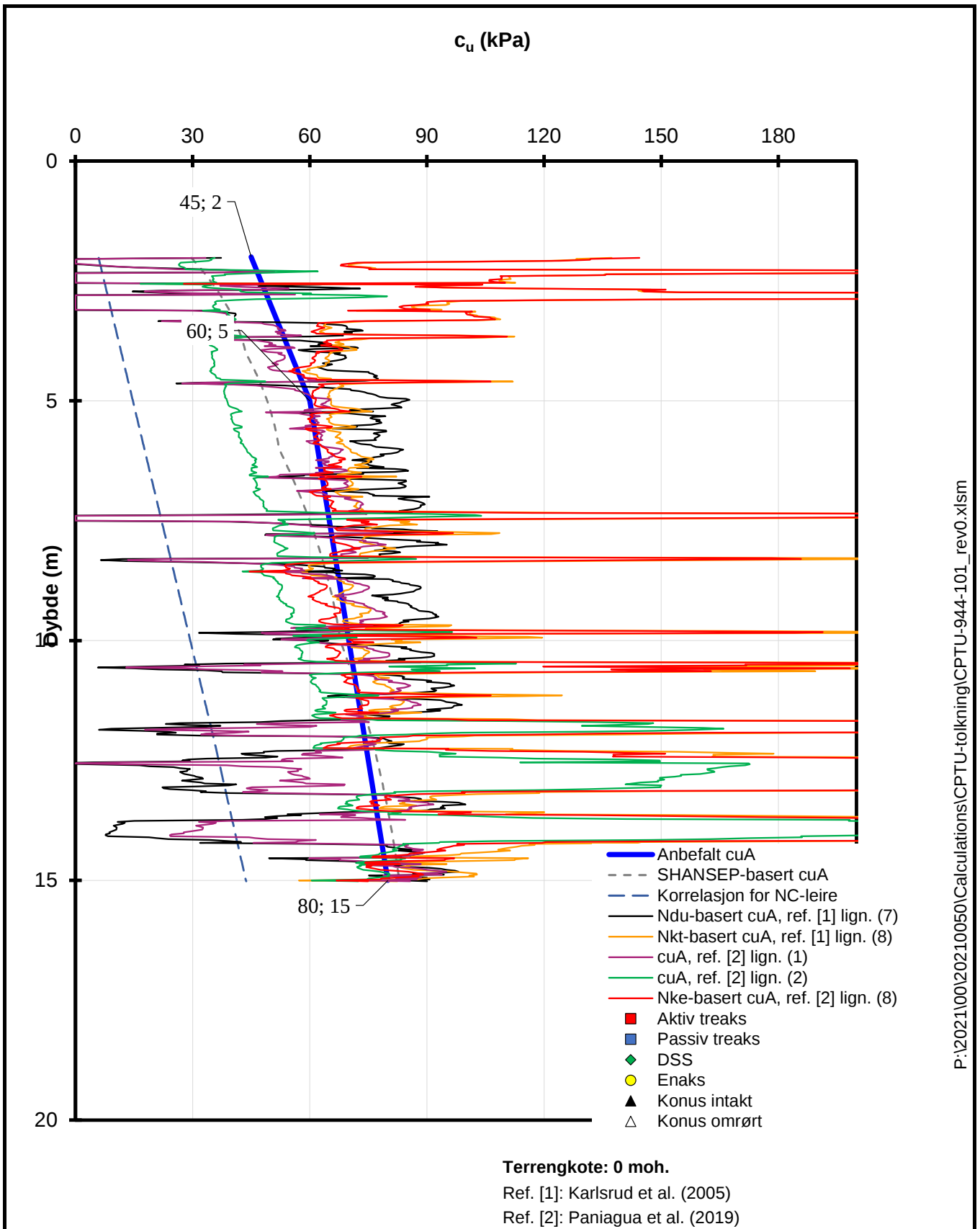
Terrengekote: 0 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-101_rev0.xlsm

Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak			Rapport nr. 20210050	Figur nr. A04
Overkonsolideringsforhold, $OCR = \sigma_c' / \sigma_{v0}'$			Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	Antatt tidligere kote nivå:	19	Kontrollert Rmo	
944-101	Romvekt, avlastet (kN/m3)	19	Godkjent	
	Aging faktor	1,2	TLe	
		k-faktor	0,45	



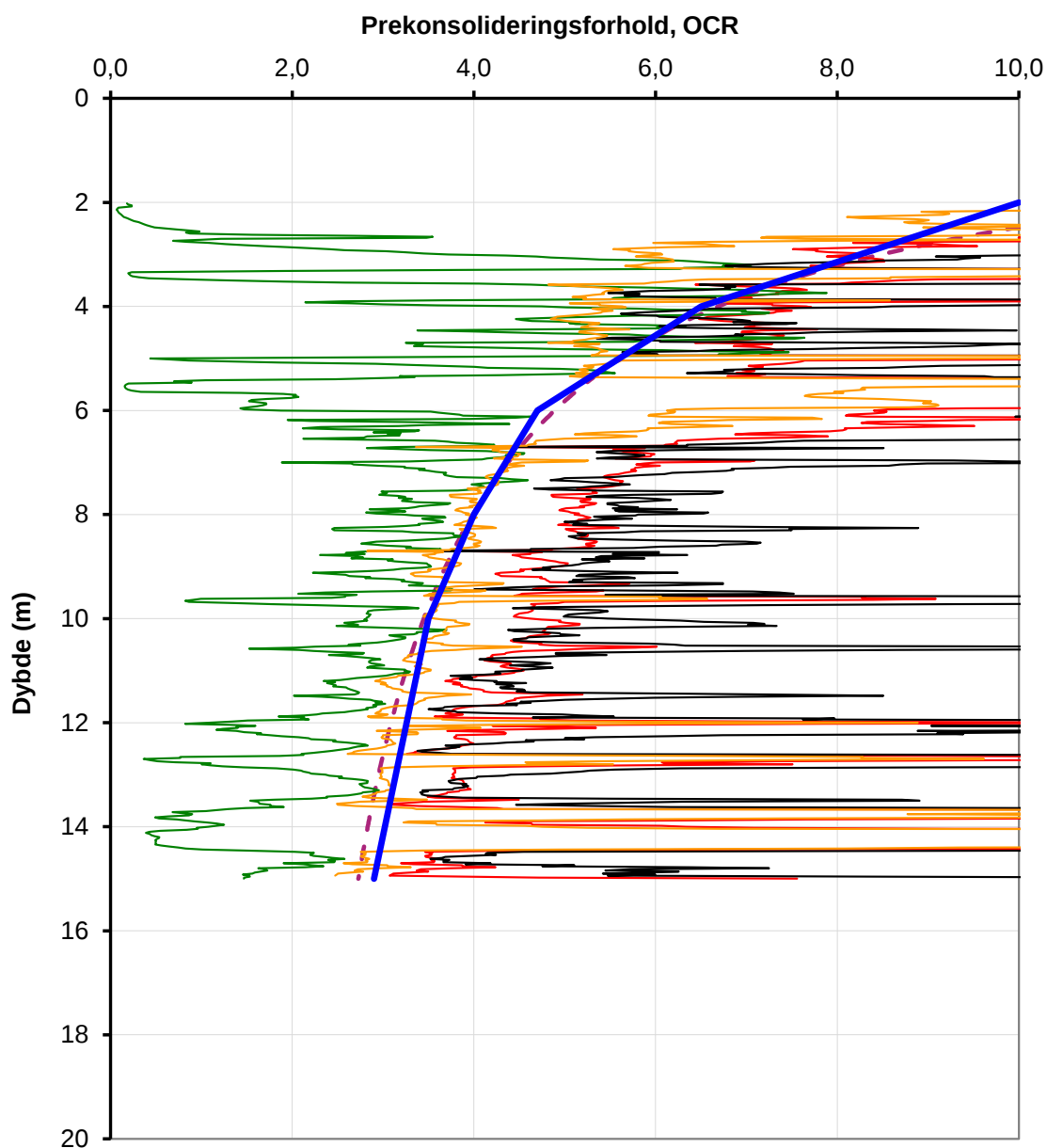
Terrengkote: 0 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak		Rapport nr. 20210050	Figur nr. A05
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk		Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	SHANSEP-parametre:		Kontrollert Rmo
944-101	α -faktor 0,3	m-faktor 0,7	Godkjent TLe





- - OCR (Tidligere terrengnivå)
- OCR (Poretrykk, ref. [1] fig. 16)
- OCR, $k \cdot Q_t$ (ref. [2] lign. [26])
- Ødometer
- OCR (Q_t , ref. [1] lign. (11))
- OCR (B_q , ref. [1] fig. 15)
- OCR trendlinje

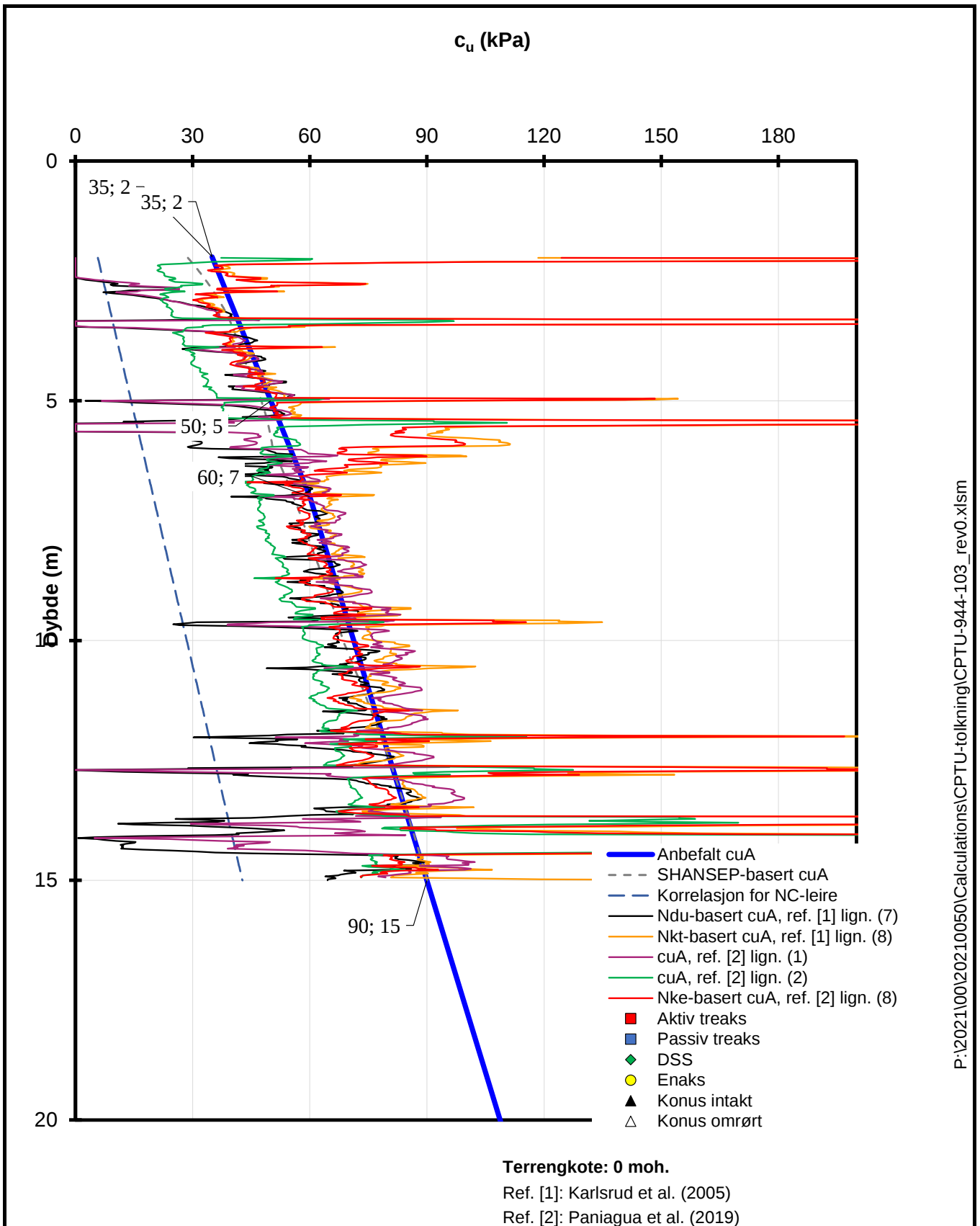
Terrengekote: 0 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-103_rev0.xlsm

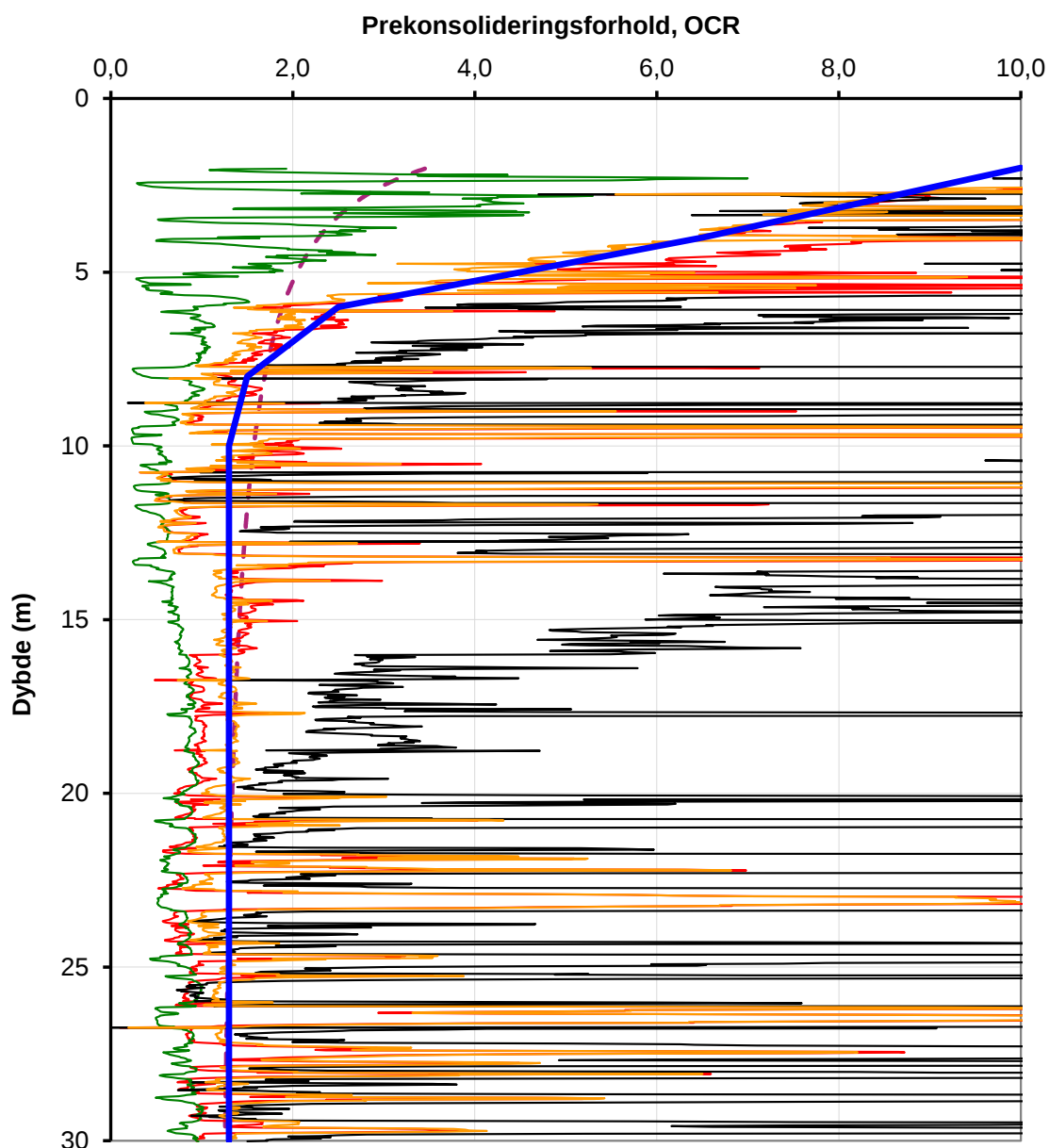
Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak			Rapport nr. 20210050	Figur nr. A06
Overkonsolideringsforhold, $OCR = \sigma_c' / \sigma_{v0}'$			Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	Antatt tidligere kote nivå:	19	Kontrollert Rmo	
944-103	Romvekt, avlastet (kN/m3)	19		
Aging faktor		1,2	Godkjent TLe	
		k-faktor	0,45	



P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-103_rev0.xlsm

Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak		Rapport nr. 20210050	Figur nr. A07
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk		Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	SHANSEP-parametre:		Kontrollert Rmo
944-103	α -faktor 0,3	m-faktor 0,7	Godkjent Tle






- OCR (Tidligere terrengnivå)
- OCR (Poretrykk, ref. [1] fig. 16)
- OCR, $k \cdot Q_t$ (ref. [2] lign. [26])
- Ødometer
- OCR (Q_t , ref. [1] lign. (11))
- OCR (B_q , ref. [1] fig. 15)
- OCR trendlinje

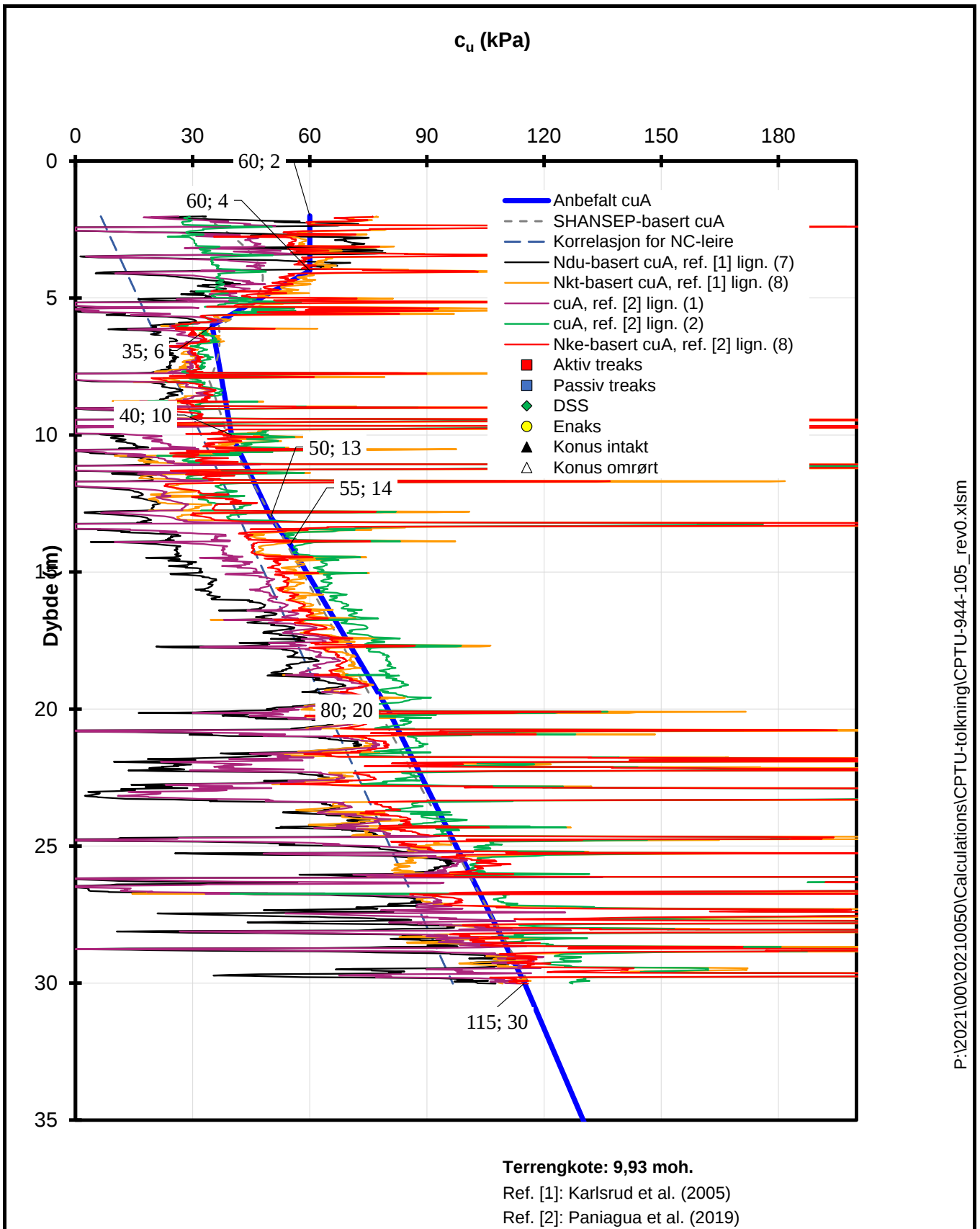
Terrengekote: 9,93 moh.

Ref. [1]: Karlsrud et al. (2005)

Ref. [2]: Paniagua et al. (2019)

P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-105_rev0.xlsm

Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak			Rapport nr. 20210050	Figur nr. A08
Overkonsolideringsforhold, $OCR = \sigma'_c / \sigma_{v0}'$			Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	Antatt tidligere kote nivå:	15	Kontrollert Rmo	
944-105	Romvekt, avlastet (kN/m3)	19	Godkjent Tle	
	Aging faktor	1,2	k-faktor 0,45	



P:\2021\00\20210050\Calculations\CPTU-tolkning\CPTU-944-105_rev0.xlsm

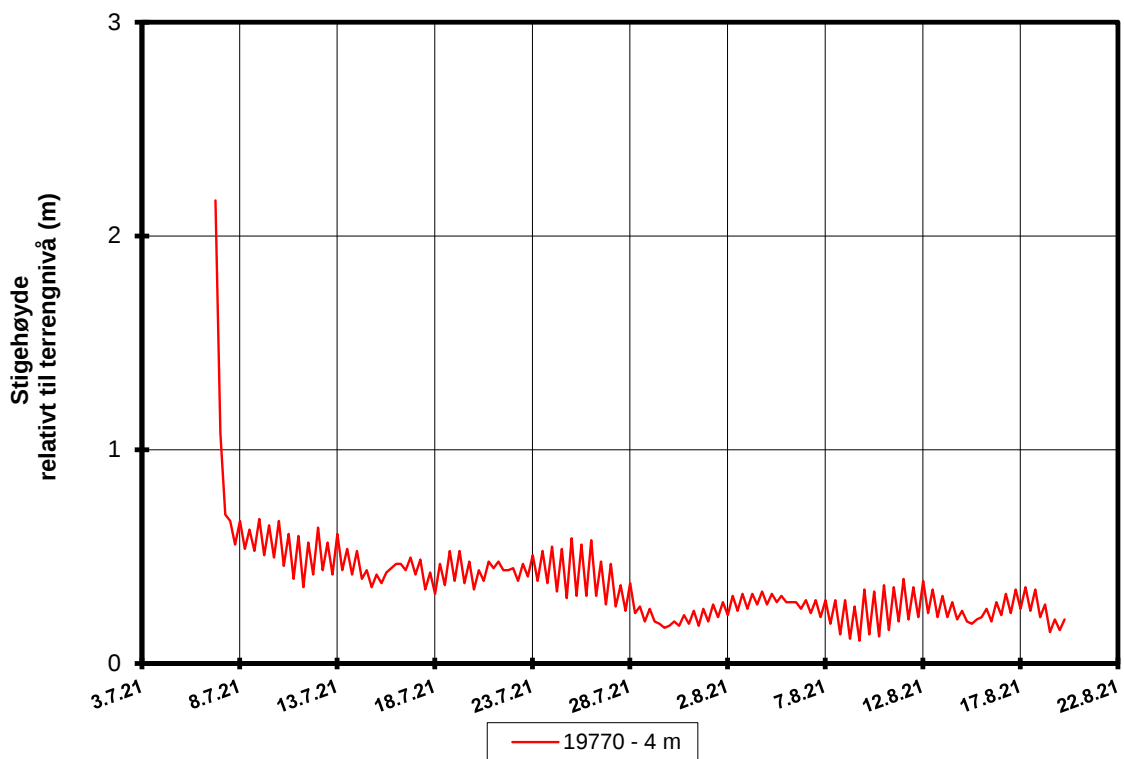
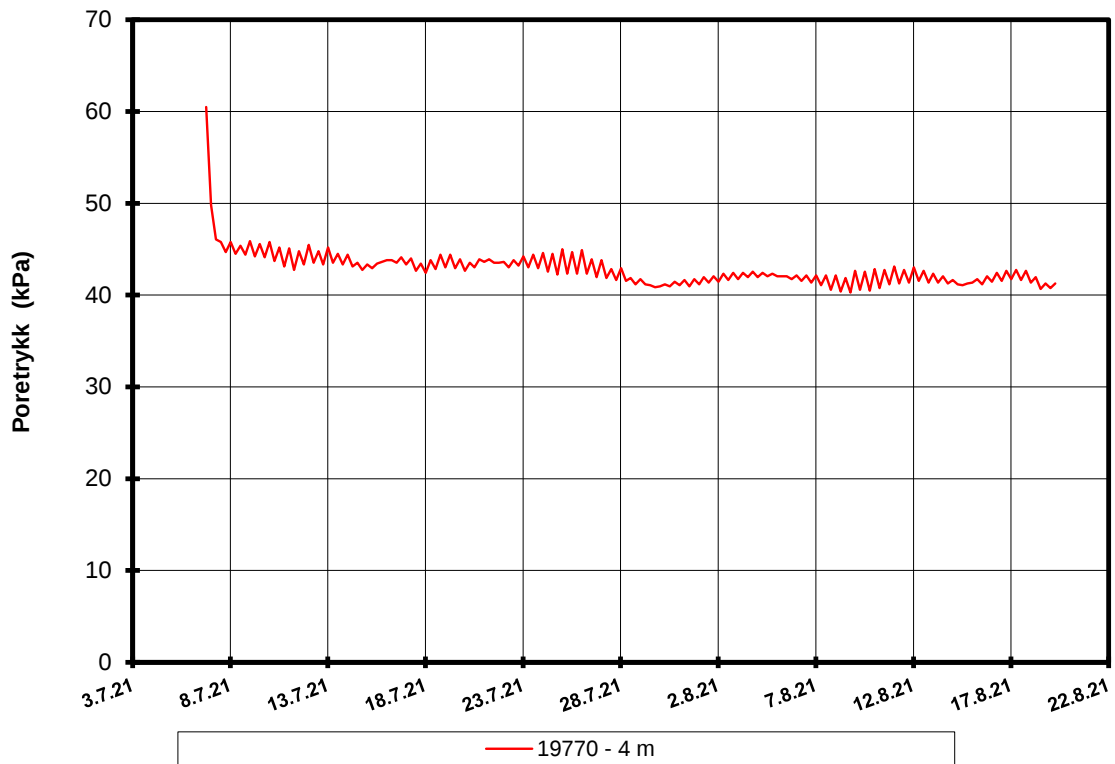
Oppdrag: Sandmo og Solem-Foss: Sikringstiltak		Rapport nr. 20210050	Figur nr. A09
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering, SHANSEP og labforsøk		Tegner TLe	Dato 06.07.2021
Borhull	SHANSEP-parametre:		Kontrollert Rmo
944-105	α -faktor 0,28	m-faktor 0,7	Godkjent TLe



Vedlegg B

TOLKNING AV PORETRYKKSÅLERE

Borhull 944-101
Borhull 944-105



Sikringstiltak - Sandmo

Resultater fra elektriske poretrykksmålere (PVT)

Borhull: 944_101

Terrengkote målere: 1,6 moh

Dato for installasjon: 2021-07-06

Rapport nr.

20210050

Figur nr.

B1

Tegner

TLe

Dato

01.09.2021

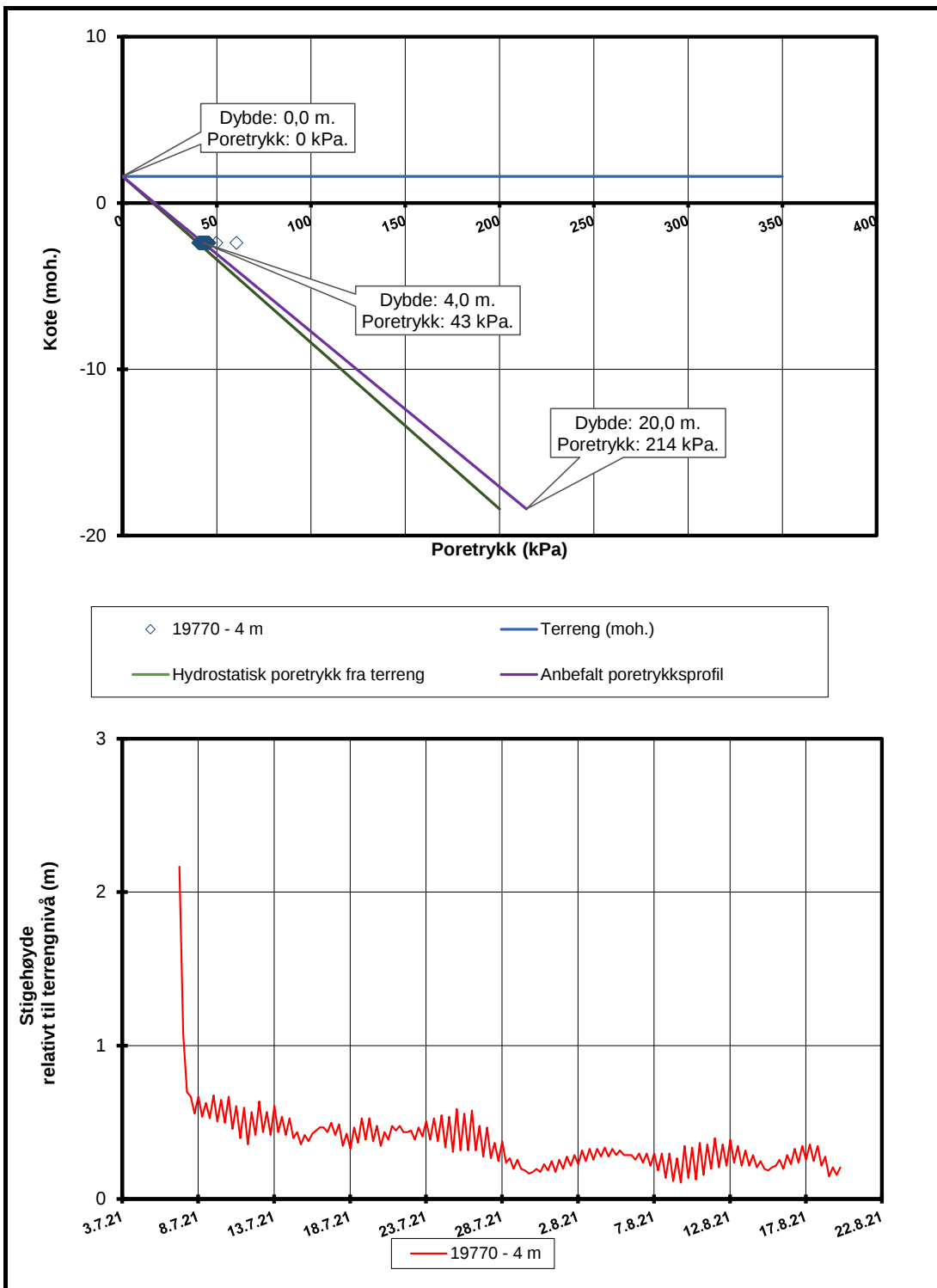
Kontrollert

Rmo

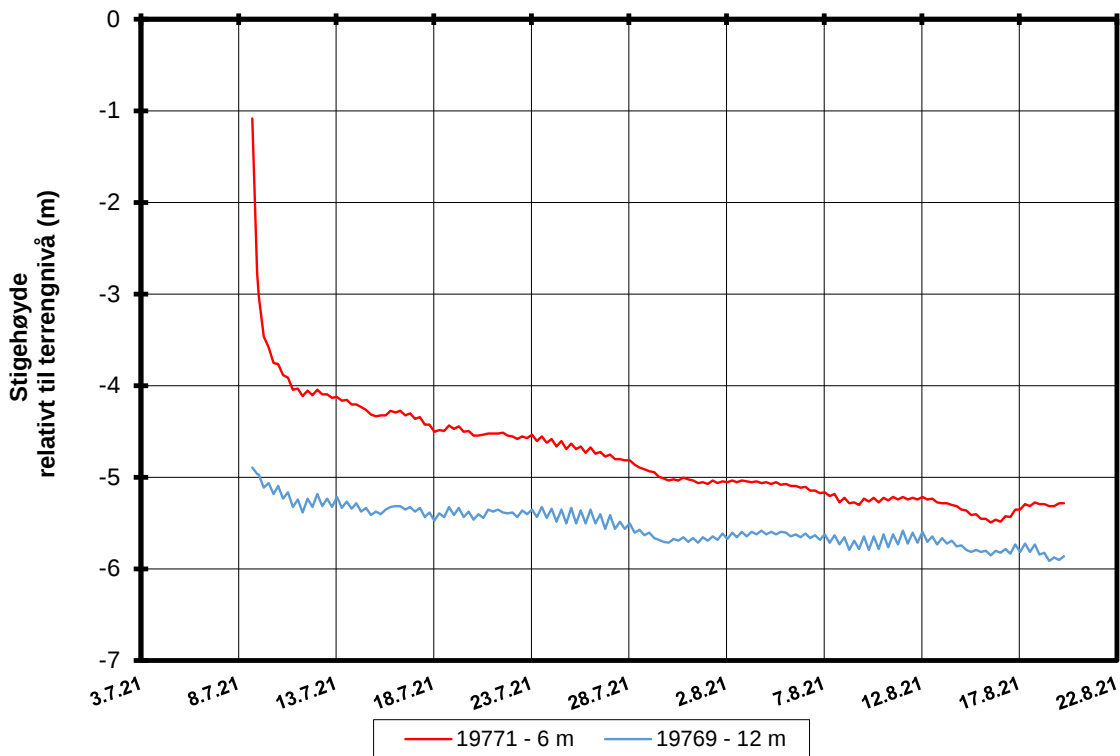
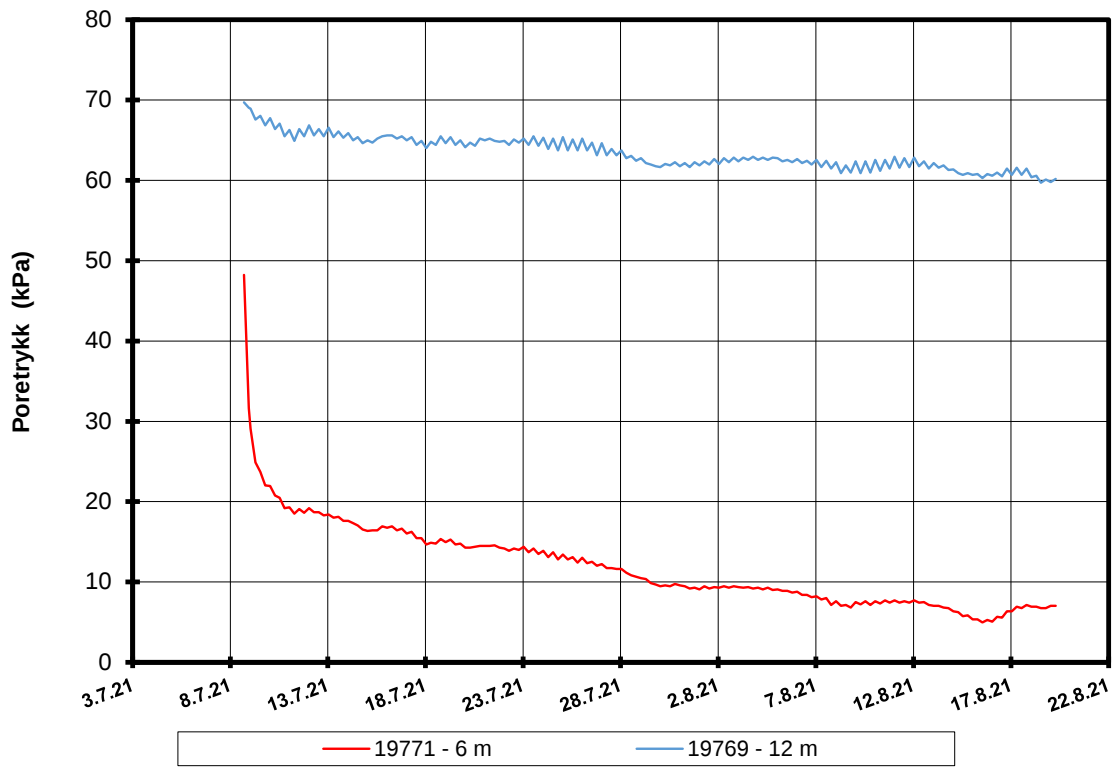
Godkjent

TLe

NGI



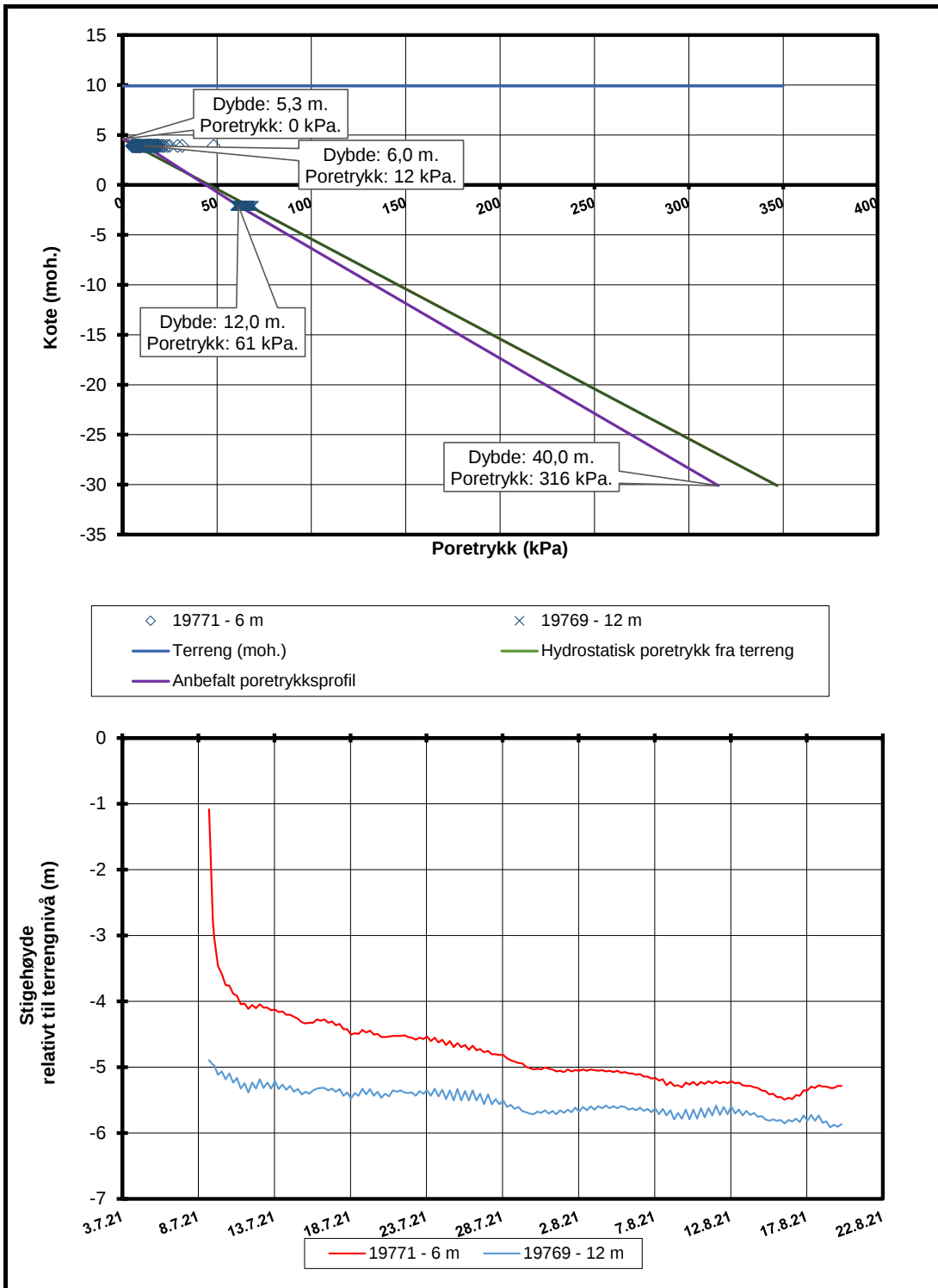
Sikringstiltak - Sandmo		Rapport nr. 20210050	Figur nr. B2
Resultater fra elektriske poretrykksmålere (PVT)		GV-dybde (m)	Tegner TLe
Borhull: 944_101		0,0	Kontrollert
Terrengekote målere: 1,6 moh		Gradient (kPa/m)	Rmo
Dato for installasjon: 2021-07-06		10,71	Godkjent TLe
			Dato 01.09.2021
			NGI



Sikringstiltak - Sandmo

Resultater fra elektriske poretrykksmålere (PVT)
 Borhull: 944_105
 Terrenghøyde målere: 9,9 moh
 Dato for installasjon: 2021-07-06

Rapport nr. 20210050	Figur nr. B3
Tegner TLe	Dato 01.09.2021
Kontrollert Rmo	NGI
Godkjent TLe	



Sikringstiltak - Sandmo		Rapport nr. 20210050	Figur nr. B4
Resultater fra elektriske poretrykksmålere (PVT)		GV-dybde (m)	Tegner
Borhull:	944_105	5,3	TLe
Terrengekote målere:	9,9 moh	Gradient (kPa/m)	Kontrollert
Dato for installasjon:	2021-07-06	9,08	Rmo
			Godkjent
			TLe
			NGI
			Dato 01.09.2021

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Kvikkleiresonene 944 Sandmo– Erosjonssikringstiltak, stabilitetsvurdering og anbefaling til utførelse		Dokumentnr./Document no. 20210050-01-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/Client Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Dato/Date 2022-02-14
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 0
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Sandmo, kvikkleire, stabilitet, erosjonssikring		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Trøndelag	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Trondheim	Felt navn/Field name
Sted/Location Leira	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, bloknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: UTM32 Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/Self review by:	Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:
0	Originaldokument	2022-02-14 Thi Minh Hue Le	2022-02-14 Ragnar Moholdt		

Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release	Dato/Date 14. februar 2022	Prosjektleder/Project Manager Thi Minh Hue Le
---	--------------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within 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 following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

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.

