



RAPPORT

# **Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Verdal kommune**

DELLEVERANSE 4 –  
BEREGNINGSFORUTSETNINGER OG  
STABILITETSBEREGNINGER

DOK.NR. 20170367-08-R  
REV.NR. 1 / 2018-08-21

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.



## Prosjekt

Prosjekttittel: Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag – Verdal kommune  
Dokumenttittel: Delleveranse 4 – Beregningsforutsetninger og stabilitetsberegninger  
Dokumentnr.: 20170367-08-R  
Dato: 2018-06-21  
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2018-08-21

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Norges vassdrag- og energidirektorat  
Kontaktperson: Ingrid Havnen  
Kontraktreferanse: Avrop til rammeavtale signert 12.05.2017

## for NGI

Prosjektleder: Ragnar Moholdt  
Utarbeidet av: Kristina Molland Edvardsen/Katharina Kahrs  
Kontrollert av: Ellen Katrine Wensaas Lied/Ragnar Moholdt

## Sammendrag

NGI er engasjert av NVE for å vurdere ni utvalgte kvikkleiresoner i Verdal kommune.

I delleveranse 1 av oppdraget utførte NGI en innledende vurdering av ni soner, der åtte soner ble tatt med til videre vurderinger basert på eksisterende kartgrunnlag og geotekniske rapporter innenfor sonene. Disse sonene ble befart for å kartlegge erosjon, tidligere skredaktivitet og terrenginngrep. For alle åtte sonene ble det anbefalt en videre utredning med supplerende grunnundersøkelser. I disse sonene ble det tegnet opp potensielle kritiske snitt og utarbeidet en borplan med supplerende grunnundersøkelser, gitt i delleveranse 2. Grunnundersøkelsene ble utført høsten 2017.

I delleveranse 3 av oppdraget ble de supplerende grunnundersøkelser tolket for å undersøke forekomst av sprøbruddmateriale. Beliggenheten av antatt sprøbruddmateriale ble tegnet opp i kritiske snitt og vurdert med tanke på mulige skredmekanismer, bebyggelse og erosjon.

Denne rapporten inneholder parametertolkning for sone 574 Fåren, som er den eneste sonen det ble valgt å utføre stabilitetsberegninger i Verdal kommune. Profil U er antatt til å være det mest kritiske snittet innenfor sonen, og stabilitetsberegninger er utført i dette snittet. I tillegg er det presentert tolkning av CPTU-sonderinger i soner som ikke utredes videre i prosjektet.

*I revisjon 1 av rapporten er det dimensjonert sikringstiltak for å oppfylle NVEs krav til prosentvis forbedring i profil U. Endringer i revisjon 1 er markert med skrift i kursiv.*

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Faregradsklassifisering</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Sikkerhetskrav</b>	<b>7</b>
3.1	Krav til beregningsmessig sikkerhet	7
3.2	NVEs anbefalte kriterier for beregninger og videre vurderinger i forhold til behov for sikring	9
3.3	Laster og lastfaktorer	9
<b>4</b>	<b>Metode for tolkning av beregningsparametere og lagdeling</b>	<b>10</b>
4.1	Udrenert skjærfasthet	10
4.2	Effektivspenningsparametere	12
4.3	Tolkning av lagdeling	12
<b>5</b>	<b>CPTU-tolkning i soner som ikke utredes videre</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Sone 574 Fåren</b>	<b>14</b>
6.1	Tolkningsgrunnlag	15
6.2	Kvalitet CPTU-sonderinger	15
6.3	Kvalitet ødometerforsøk	15
6.4	Beregningsparametere	16
6.5	Stabilitetsberegning	16
6.6	Anbefalte sikringstiltak	18
6.7	Ny vurdering av faregrad etter sikring	19
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>20</b>

## Tegning

005	Oversiktskart over kartlagt område
006	Kvartærgeologisk kart med marin grense og skredgroper
037	Situasjonsplan sone 574 Fåren

## Vedlegg

Vedlegg A	Tolkning av CPTU-sonderinger
Vedlegg B	Tolkning av ødometer
Vedlegg C	Lagdeling
Vedlegg D	Stabilitetsberegning
Vedlegg E	Faktaark

## Kontroll- og referanseside

# 1 Innledning

På oppdrag fra NVE skal NGI gjøre en utredning "light" av utvalgte kvikkleiresoner i kommunene Rissa, Levanger, Inderøy og Verdal i Trøndelag. Oppdraget består i å vurdere de mest kritiske områdene i sonene basert på eksisterende grunnundersøkelser, befaring og vurdering av kvikkleiras beliggenhet og løsne- og utløpsområder for potensielle skred. I disse områdene skal det utføres grunnundersøkelser nok til å kunne beregne stabiliteten i ett profil der stabiliteten vurderes som kritisk. Oppdraget er således en mellomting mellom en regional kartlegging og en detaljert soneutredning med stabilitetsberegninger i henhold til NVE-veilederen i flere profiler. Formålet er å gi grunnlag for prioritering av sikringstiltak i sonene.

Oppdraget er delt opp i 5 delleveranser. Foreliggende rapport omfatter delleveranse 4 for Verdal kommune.

Tabell 1-1: Oversikt over delleveransene i prosjektet

	Innhold	Rapportnr. / referanse
Delleveranse 1	Innledende vurderinger som grunnlag for utarbeidelse av grunnundersøkelsesprogrammet for hver sone.	20170367-03-R [1]
Delleveranse 2	Endelig borplan for hver sone med forslag til felt- og laboratorieundersøkelser og tilbudsgrunnlag for grunnundersøkelser.	20170367-01-TN [2]
Delleveranse 3	Omfatter reviderte vurderinger for faregrad, konsekvens og risiko, og anbefaling for hvilke soner som bør stabilitetsberegnes.	20170367-06-R [3]
<b>Delleveranse 4</b>	<b>Beregningsgrunnlag og stabilitetsberegninger</b>	<b>Foreliggende rapport</b>
Delleveranse 5	Endelig sluttrapport med anbefalinger for sikringstiltak og videre soneutredninger.	-

Sonene som i er vurdert i Verdal kommune er;

553 Tronestangen,  
 561 Øgstad,  
 574 Fåren,  
 576 Leirfald,  
 581 Gudding,  
 582 Ekren,  
 583 Jøssamoen,  
 586 Innleggshaugen  
 598 Vinnesmo

Det henvises til rapport [1] og [3] for ytterligere informasjon om de vurderte kvikkleiresonene i Verdal kommune.

Denne rapporten inneholder parametertolkning for sone 574 Fåren, som er den eneste sonen det ble valgt å utføre stabilitetsberegninger i Verdal kommune. Profil U er antatt til å være det mest kritiske snittet innenfor sonen, og stabilitetsberegninger er utført i dette snittet. I tillegg er det presentert tolkning av CPTU-sonderinger i soner som ikke utredes videre i prosjektet.

*I revisjon 1 av rapporten er det dimensjonert sikringstiltak for å oppfylle NVEs krav til prosentvis forbedring i profil U.*

## 2 Faregradsklassifisering

Sone 574 Fåren er klassifisert med faregradsklasse – *Middels*.

## 3 Sikkerhetskrav

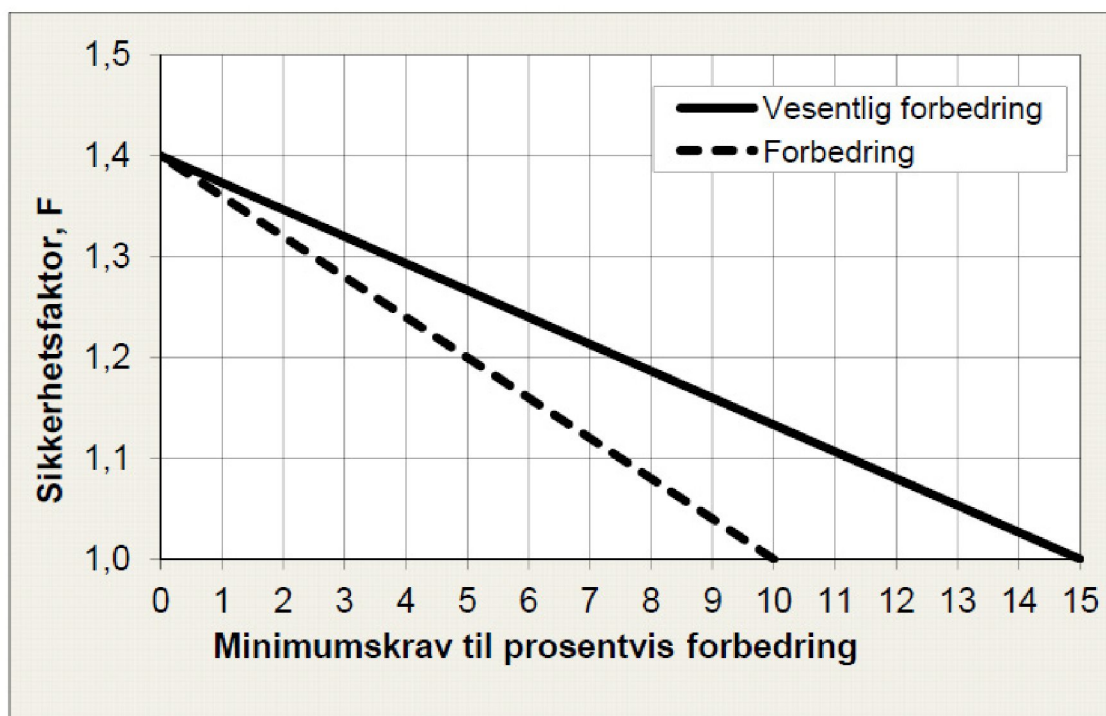
### 3.1 Krav til beregningsmessig sikkerhet

Ved utbygging i kvikkleireområder skal NVEs veileder 7/2014 [4] legges til grunn for vurdering av sikkerhetsnivå ved dimensjonering av stabiliserende tiltak, samt for metodikken ved selve stabilitetsberegningene.

Når det planlegges utbygging innenfor en faresone må tilfredsstillende sikkerhet dokumenteres med stabilitetsanalyser som viser:

- a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet  $F \geq 1,4$  eller
- b) "Forbedring" eller "Vesentlig forbedring" hvis  $F < 1,4$ , se Figur 1.

Krav til prosentvis forbedring er knyttet til dagens stabilitetssituasjon. For en skråning som beregningsmessig er labil ( $\gamma_m = 1,0$ ) er minimumskravet til "forbedring" en beregningsmessig økning av sikkerhetsfaktoren (materialfaktor) på 10 %. For "vesentlig forbedring" kreves 15% økning av sikkerhetsfaktoren. For høyere materialfaktor i dagens situasjon er kravet beskrevet ved en glidende avtakende skala, og for  $\gamma_m = 1,4$  kreves det således ingen forbedring. Se Figur 1.



Figur 1: Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser [4].

I gjeldende NVE-retningslinjer [4] er det ikke lenger krav (som tidligere) om at alle glidesirkler som har  $\gamma_m < 1,4$  i dagens situasjon skal ha forbedring iht. Figur 1 dersom det benyttes prosentvis forbedring. Størrelse av tiltak vurderes vanligvis derfor kun ut fra mest kritisk glideflate før og etter tiltak (og disse er normalt forskjellige). I enkelte tilfeller kan det likevel vurderes nødvendig å se på økning av sikkerhetsfaktorer for flere alternative glideflater.

Foreliggende utredning av faresoner utføres med tanke på sikring av eksisterende bebyggelse. Krav til sikkerhetsnivå som gitt i NVEs veileder 7/2014 [4] gjelder i utgangspunktet bare ved etablering av ny bebyggelse. Aktuelt sikkerhetsnivå må derfor bestemmes / godkjennes av oppdragsgiver (NVE). Anbefalt sikkerhetsnivå i foreliggende rapport er gitt ut fra en totalvurdering av erosjons- og stabilitetsforhold, samt effekten av tiltak mht. kostnader og nytte, jf. kap. 3.2.



## 3.2 NVEs anbefalte kriterier for beregninger og videre vurderinger i forhold til behov for sikring

Det er besluttet at dagens NVE-veileder skal legges til grunn for stabilitetsberegningene. Beregningene utføres derfor med reduksjon av aktiv skjærfasthet iht. NVE 7/2014 [4]. I og med at det her ikke er snakk om ny utbygging, men forslag til tiltak for å sikre eksisterende bebyggelse, er det satt opp egne kriterier for tiltak som fraviker fra ref. [4]:

- $\gamma_{m,cu} \sim 1.0$  (totalspenningsanalyse) og  $\gamma_{m,a\phi} \sim 1.0$  (effektivspenningsanalyse), og ingen / litt erosjon (tak opp mot 1.2, men potensialet for at noe skal kunne skje må vurderes) → Beskriv mulige tiltak.
- $\gamma_{m,cu} < 1.2$  (totalspenningsanalyse) og  $\gamma_{m,a\phi} < 1.25$  (effektivspenningsanalyse), og pågående erosjon som forverrer stabiliteten (aktiv / noe) → 5 % forbedring eller minimum 1.5 meter oppfylling. Utslaking av skråning ved behov.
- $\gamma_{m,cu} \geq 1.2$  og  $\gamma_{m,a\phi} \geq 1.25$ , men pågående erosjon som forverrer stabiliteten (aktiv / noe) (opp til  $\gamma_{m,cu/a\phi} = 1.4$ , men potensialet for vesentlig reduksjon av sikkerheten/ dybde til kvikkleire må også vurderes) → Anbefaling om det likevel bør erosjonssikres.

## 3.3 Laster og lastfaktorer

For trafikklast ved stabilitetsberegninger benyttes en jevnt fordelt last på 10 kPa med en lastfaktor 1,3 iht. [5].

I snittene med bolighus estimeres lastene i hvert enkelt tilfelle ut fra hvilke bygninger det er snakk om. Et konservativt, grovt estimat tilsier 10 kPa pr. etasje. Hvis det er kjeller vil huset som regel være kompensert, dvs. ingen last (eller negativ last). Ved mangel på informasjon gjøres det en vurdering som antas å være på konservativ side.

## 4 Metode for tolkning av beregningsparametere og lagdeling

### 4.1 Udrenert skjærfasthet

#### 4.1.1 Udrenert skjærfasthet fra CPTU-sonderinger

Tolkning av udrenert skjærfasthet fra CPTU er basert på korrelasjoner gitt i ref. [6] og [7].

For sprøbruddmateriale vil vanligvis rutineundersøkelser vise forstyrrede egenskaper for prøver, derfor kan resultatene spesielt fra rutineundersøkelser falle under anbefalt styrkeprofil. Topografiske forhold er ofte benyttet for vurdering av overkonsolidering, bl.a. ut fra antatt nederosjon av tidligere havbunn.

Innmålte poretryksprofiler er brukt for tolkning av udrenert skjærfasthet i borpunkt der det er installert poretrykkmålinger. Om innmålte poretrykk ikke er tilgjengelig er det brukt en antatt undertrykksprofil for toppen av skråningen (ca. 8 kPa/m) og overtrykksprofil (ca. 12 kPa/m) for foten av skråningen. Årsaken er at vannet drener vanligvis ned og ut av skråningen noe som fører til undertrykk ved skråningstopp. Tilsvarende er strømningsgradienten oppadrettet ved skråningsfot noe som medfører overtrykk.

#### 4.1.2 Udrenert skjærfasthet i overkonsolidert og normalkonsolidert leire

Leire som tidligere har hatt større overlagring enn den har i dag er konsolidert til et høyere spenningsnivå enn dagens topografi tilsier.

Overkonsolideringsgraden til leira er tolket fra resultatene fra CPTU-sonderinger og fra ødometerforsøk i laboratorium. Overkonsolideringsgraden er også tolket fra en vurdering ut fra dagens topografiske forhold. Dette er enklest dersom man har terreng som stiger på begge sider av en forsenkning, men vanskeligere å vurdere der avsetning er avsatt på skrått hellende terreng for eksempel langs kysten som typisk kan ha ensidig fall mot sjøen.

Ut fra overkonsolideringsnivået er udrenert skjærfasthet vurdert på basis av SHANSEP-metoden [8]. Det innebærer at forkonsolideringsnivå og dagens in situ-spenninger benyttes for å estimere skjærfasthetens variasjon med dybden. Poretrykket i grunnen har derved også betydning.

Aktiv skjærfasthet i overkonsolidert leire,  $S_{uA,ocr}$ , er beskrevet ved følgende sammenheng:

$$S_{uA,ocr} = \alpha \times p_0' \times OCR^m \quad (\text{for overkonsolidert leire})$$

hvor  $OCR = p_c'/p_0'$

- $p_0'$  = effektivt overlagingstrykk in situ
- $p_c'$  = forkonsolideringstrykk ut fra antatt tidligere terrengnivå (evt. inkludert «ageing»-effekt; her er generelt benyttet en ageing-faktor på 1,2)
- $\alpha$  og  $m$  = SHANSEP-parametere som er gitt for hver CPTU-tolkning

Erfaringsmessig varierer verdi av  $\alpha$  mellom 0,25 og 0,35, og verdi av  $m$  varierer mellom 0,6 og 0,9.

Normalkonsolidert leire (dvs. for områder uten større tidligere overlaging av masser enn dagens terrengnivå) vil erfaringsmessig ha følgende udrenerte minimumsskjærfasthet,  $S_{uA,nc}$ :

$$S_{uA,nc} = 0,28 p_0'$$

Tolkning av  $s_u$  basert på SHANSEP og NC-leire forhold er brukt når det trenger udrenert skjærstyrkeprofil på toppen eller foten av skråninger.

### 4.1.3 Anisotropiforhold

Anisotropiforhold anbefalt i NIFS rapport 14-2014 [9] er benyttet i beregningene. Disse er gitt i Tabell 4-1, der  $s_{uA}$ ,  $s_{uD}$  og  $s_{uP}$  er karakteristisk udrenert skjærfasthet, hhv. aktiv, direkte og passiv.

Tabell 4-1 Anbefalt anisotropifaktorer, ref. [9].

$I_p$	$S_{uD}/S_{uA}$	$S_{uP}/S_{uA}$
$I_p \leq 10 \%$	0,63	0,35
$I_p > 10 \%$	$0,63 + 0,00425 * (I_p - 10)$	$0,35 + 0,00375 * (I_p - 10)$

### 4.1.4 Sprøbruddmateriale og CPTU-sonderinger korrelert med blokkprøver

Iht. NVEs veileder 7/2014 [4] skal karakteristisk aktiv skjærfasthet reduseres med 15 % der det er tolket sprøbruddmateriale. Dette fordi det karakteristiske aktive styrkeprofilen i sprøbruddmateriale er tolket ut fra korrelasjon mellom blokkprøver og CPTU sonderinger.

## 4.2 Effektivspenningsparametere

For bestemmelse av effektiv friksjonsvinkel kan NTH-metoden benyttes for tolkning av friksjonsvinkel ( $f$ ) og attraksjon ( $a$ ) fra CPTU sondering iht. blant andre [10]. Det er en viss usikkerhet knyttet til denne metoden på grunn av usikkerhet i verdier av attraksjon ( $a$ ) og plastifikasjonsvinkel ( $\beta$ - som beskriver hvordan jord deformerer og glider ut under trykk fra konus). Tolkningen er vurdert opp mot erfaringsparametere gitt i [5].

I for mye lagdelte materialer er det vanskelig å bruke metoden fordi plastifikasjonsvinkel og attraksjon egentlig skulle ha vært spesifisert for hvert enkelt lag. Tolkede effektivspenningsparametere for lagdelte materialer ender gjerne opp med veldig store variasjonsområder. Det er derfor bestemt å benytte attraksjon,  $a$ , ut fra erfaringsparametere gitt i [5].

Tyngdetetthet,  $\gamma$  er for leire (og sprøbruddmateriale) er bestemt fra laboratorieundersøkelser. Tyngdetetthet for tørrskorpeleire og sand/grus laget er bestemt fra erfaringsparametere gitt i [5].

## 4.3 Tolkning av lagdeling

Lagdelingsprofil er gitt i tegning 800 i Vedlegg B.

Lagdelingene i snittene er tolket fra CPTU-sonderinger, dreietrykk-/totalsonderinger, resultater fra laboratorieanalyse av prøveserier og poretrykksmålere. Grunnundersøkelsene er gitt i datarapport ref. [11].

Tolkning av lagdeling er ofte beheftet med en viss usikkerhet. Noen ganger kan prøvetaking vise at antakelser om sensitiv/kvikk leire basert på dreietrykksondering er noe konservativ. I tilfeller hvor for eksempel dreietrykksondering ikke gir økende boremotstand i dybden, og hvor det ikke er opptatt jordprøver som kan verifisere materialtypen, vil en konservativ vurdering som regel tilsi at det antas sprøbruddmateriale.

Generelt er det ikke utført bergkontroll for boringer utført i forbindelse med utredning av kvikkleiresonene. Dybder til berg er derfor generelt usikre, og der boringer stopper på grunt nivå kan ikke dette uten videre tas som bevis på grunt beliggende berg. Det er ved etablering av beregningsprofiler generelt antatt stor dybde til berg, som regel tilsvarende maksimal boret dybde i løsmasser langs profilet, slik at dybde til berg ikke skal påvirke kritisk beregningsprofil.

## 5 CPTU-tolkning i soner som ikke utredes videre

Det er utført CPTU sonderinger i totalt 3 soner i Verdal kommune. Dette er i sone 574 Fåren, 576 Leirfald og 581 Gudding. De to sistnevnte sonene er bestemt ikke utredet videre i dette prosjektet. CPTU-sonderingene som er utført i sonene som ikke utredes videre er tolket og vedlagt i Vedlegg A. Disse er gitt i Tabell 5-1.

Tabell 5-1: CPTU sonderinger i soner som ikke utredes videre

Sone	CPTU- sondering	Kommentar
581 Gudding	581-18	Tolkning vist i Figur A4 i vedlegg A  SHANSEP-faktorer: $\alpha=0.3$ , $m=0.85$
581 Gudding	581-20	Tolkning vist i Figur A5 i vedlegg A  SHANSEP-faktorer: $\alpha=0.3$ , $m=0.85$
576 Leirfald	576-13	Tolkning vist i Figur A6 i vedlegg A. Løsmassene består av friksjonsmateriale, og udrenert skjærfasthet kan ikke tolkes.

## 6 Sone 574 Fåren

For sone 574 Fåren er snitt U antatt som kritisk snitt. Informasjon om snittet er gitt i Tabell 6-1.

Tolket lagdeling i snittet er gitt i tegning 800 i vedlegg C.

Tabell 6-1: Fåren kritisk snitt U

Situasjonsplan tegningnr.	037
Høydeforskjell	48 m
Maksimal helning	1:1.6
Bebyggelse	1 gård like i bakkant av snittet
Eksisterende grunnundersøkelser	NGI_81, SVV_40V_5980, SVV_CL_6020
Supplerende grunnundersøkelser	574-40, 574-41, 574-44
Erosjon	Noe*
Tolket tidligere terrengnivå	<p><u>Ved topp skråning:</u>                      Tidligere terrengnivå er tolket til kote +84 ved topp skråning fra CPTU sonderinger.</p> <p><u>Mot bunn av skråningen ved bp 574-40:</u>                      Tidligere terrengnivå er tolket til kote +44 fra ødometerforsøk i 574-40 på 11,30 m dybde.</p>
Poretrykk	<p>I toppen av skråning er det målt et undertrykk med gradient på 2,8 kPa fra antatt 2 m under terreng.</p> <p>I bunn av skråning er det antatt overtrykk med gradient på 12 kPa fra terrengoverflate.</p>

\*Endret fra "aktiv" til "noe" etter befaring 13.07.2017

## 6.1 Tolkingsgrunnlag

Tabell 6-2: Tolkingsgrunnlag

	Sonderinger	Kommentar
Dreietrykkssonderinger i snittet med/uten prøveserier (PR)	574-40 (PR) 574-41 (PR) 574-44 (PR)	Sonderingene og borprofilene er gitt i tegning 800 i Vedlegg C.
Ødometerforsøk	574-40 - 10,35m - 11,30m	Ødometerforsøk på 10,35 m er av dårlig kvalitet og er derfor ikke benyttet for tolkning av beregningsparametere. Forsøket er vist i vedlegg B.  Tolkning av ødometerforsøk fra 11,35 m er gitt i vedlegg B.
Poretrykksmålere (PZ)	574-44 (PZ)	I dybde 8m og 20m, gitt i tegning 800 i Vedlegg C.
CPTU-sonderinger i sonen	CPTU 574-42 CPTU 574-44	$s_u$ tolkning gitt i Figur A1 – A2 i Vedlegg A.  <u>SHANSEP-parametere:</u>  CPTU 574-42: $\alpha=0.28$ , $m=0.6$ CPTU 574-44: $\alpha=0.28$ , $m=0.6$  Tolkning av friksjonsvinkel iht. NTH-metoden er gitt i Figur A7 og A8 i Vedlegg A.

## 6.2 Kvalitet CPTU-sonderinger

Kvaliteten til CPTU-sonderingene 574-42C og 574-44C er vurdert i 10200523-RIG-RAP-003 Datarapport-Geotekniske undersøkelser, utlysningsområde 1-Verdal [11].

Begge sonderingene faller innenfor anvendelsesklasse 1 for spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk, og er derfor benyttet til for tolkning av beregningsparametere.

## 6.3 Kvalitet ødometerforsøk

Kvaliteten til utførte ødometerforsøk i borhull 574-40 er kontrollert iht. [12] og [13]. Resultatene er gitt i Tabell 6-3.

Ødometerforsøket på 10,35 m er av dårlig kvalitet, og er ikke benyttet til å tolke beregningsparametere. Ødometerforsøket på 11,30 m er iht. kriteriene av veldig god kvalitet.

Tabell 6-3: Tolket kvalitet på ødometerførsøk

Ødometerførsøk	$\Delta e/e_0$	Klassifisering iht. $\Delta e/e_0$	$M_0/M_L$	Klassifisering iht. $M_0/M_L$
574-40 - 10,35m	0,40	Veldig dårlig	22/15 = 1,47	Dårlig
574-40 – 11,30m	0,02	Veldig god til utmerket	13/2 = 6,5	Veldig god til utmerket

## 6.4 Beregningsparametere

En oppsummering av aktuelle jordartsparemetere som skal benyttes i beregningene er presentert i Tabell 6-4.

Tabell 6-4 Beregningsparametere

Materialparameter	$\varphi'$ [grader]	a [kPa]	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]	$s_u$ [kPa]	Anisotropiforhold	
					$s_{uD}/s_{uA}$	$s_{uP}/s_{uA}$
Tørrskorpeleire	32	0	18,5	-	-	-
Leire	30	0	20	$s_u$ profil	0,63 ( $I_p = 8 - 9$ )	0,35
Sprøbruddmateriale	30	0	20	$s_u$ profil	0,63 ( $I_p = 4 - 5$ )	0,35
Sand/grus	36	5	18	-	-	-

## 6.5 Stabilitetsberegning

Det er utført stabilitetsberegning på drenert og udrenert tilstand med parametere som gitt i Tabell 6-4.

### Drenert

Poretrykksprofil er lagt inn i topp skråning, ved borpunkt 574-44, litt over bunn skråning i borpunkt 570-40 samt nederst i ravinen. Det er installert poretrykksmålere i topp skråning (dybde 8m og 20m), som viser at det er en nedoverrettet gradient (grunnvannsstrøm mot ravine) til minst 20 m under terreng. Det er antatt overtrykk i bunn av ravinen. Alle poretrykksprofilene er modellert med hydrostatisk poretrykk (10 kPa) fra nivå med bekkeløp. Resultatene fra beregningen er gitt i Tabell 6-5 og tegning nr. 801 i vedlegg D.

### Udrenert

For udrenert analyse er det lagt inn 3 stk.  $s_u$ -profil.  $s_u$ -profilet som er benyttet i topp skråning er tolket fra CPTU sonderingene 574-42 og 574-44. Tolkningene er gitt i Vedlegg A.  $s_u$ -profilet ved topp skråning er plassert i knekkpunktet der skråningen flater ut for å modellere riktig styrkeprofil i skråningen.



Videre er SHANSEP benyttet for bestemmelse av su-profil ved sondering 574-40 og i bunn av skråningen. Siden de øvre 10 m av sondering 574-40 er sammenlignbar med 574-42 og 574-44, er det valgt å benytte SHANSEP-faktorer som er tolket fra CPTU sondering 574-42, da dette er den eneste CPTU-sonderingen fra de øvre 10 meterne.  $\alpha = 0.28$  og  $m=0.6$  er benyttet.

Resultatene fra beregningen er gitt i Tabell 6-5. Det er utført beregninger både med og uten reduksjon av den aktive udrenerte skjærstyrken i sprøbruddmateriale. *I revisjon 0 av rapporten ble minste beregningsmessige sikkerhet ( $\gamma_m$ ) funnet under 1,0, også der det ikke ble redusert med 15 % i den aktive udrenerte skjærstyrken. I revisjon 1 er su-profilene benyttet i beregningene vurdert på nytt for å gi et mer realistisk beregningsgrunnlag. Skjærstyrken ved sondering 574-40 og i bunn av skråningen ble først økt til samme skjærstyrke som ved skråningstopp, og deretter ble skjærstyrken i alle tre profilene økt med 10%. Dette gir sikkerhet  $\approx 1,0$  for kritisk glideflate.*

*Beregninger med sikringstiltak er utført med de oppjusterte  $s_u$ -profilene.*

Tabell 6-5 Resultat fra stabilitetsberegning i snitt U i sone 574 Fåren

Beskrivelse	Effektivspenningsanalyse (drenert)	Totalspenningsanalyse (udrenert) Redusert 15% for $s_{ua}$ / ikke redusert 15% for $s_{ua}$
Lavest sikkerhetsfaktor	$\gamma_m = 1,25$ Glideflaten er grunn og går så vidt ned i det øvre leirlaget (ikke sprøbruddlaget) under tørrskorpeleiren. Kan i prinsippet initiere til et retrogressivt skred.	$\gamma_m = 0,75 / 0,83$ før revurdering av su-profiler $\gamma_m = 1,02$ med oppjusterte su-profiler Glideflaten er dyp og går godt ned i sprøbruddlaget. Kan initiere retrogressivt skred.
Andre mulige glideflater	$\gamma_m = 1,29$ Glideflaten kan fjerne en betydelig del av skråningsfoten og går gjennom kvikkleirelag. Kan initiere retrogressivt skred.	$\gamma_m = 0,78 / 0,86$ før revurdering av su-profiler $\gamma_m = 1,12$ med oppjusterte su-profiler (sammensatt) Dyp glideflate med utgang i bunn av ravinen. Kan utløses ved erosjon eller utgraving i bunn av ravinen.  $\gamma_m = 0,96 / 1,05$ før revurdering av su-profiler $\gamma_m = 1,21$ med oppjusterte su-profiler Dyp glideflate, tvunget gjennom bunn av ravine med <i>restricted shear surface/Points</i> . Kan utløses ved erosjon eller utgraving i bunn av ravinen.

Beskrivelse	Effektivspenningsanalyse (drenert)	Totalspenninganalyse (udrenert) Redusert 15% for $s_{ua}$ / ikke redusert 15% for $s_{ua}$
Krav til tiltak – forbedring iht. NVE 7/2014	-	10 %
Krav til tiltak – vesentlig forbedring iht. NVE 7/2014	-	15 %
Etter tiltak	-	Kritisk glideflate: $\gamma_m = 1,07$ (ca. 5% forbedring)
Referanse tegninger	801	802 803 (med oppjusterte su-profiler) 804 (med sikringstiltak)

## 6.6 Anbefalte sikringstiltak

Det er lav sikkerhet i profilet. Skråningen er utsatt dersom en udrenert tilstand oppstår, som for eksempel ved utfylling av masser på topp skråning, utgraving mot nedre del av skråningen eller erosjon.

Fra befaring er det registrert "noe erosjon" i bekken. Iht. kriteriene som er bestemt i prosjektet (gitt i kap. 3.2) faller sonen innenfor kriteriet

- $\gamma_{m,cu} < 1.2$  (totalspenning analyse) og  $\gamma_{m,a\phi} < 1.25$  (effektivspenning analyse), og pågående erosjon som forverrer stabiliteten (aktiv / noe) → 5 % forbedring eller minimum 1.5 meter oppfylling. Utslaking av skråning ved behov.

Det anbefales som et minimum å erosjonssikre den nederste del av ravinen som er utsatt for erosjon for å unngå ytterligere forverring av stabiliteten i området. *Per i dag er det etablert erosjonssikring der bekken renner ut av sonen. Eksisterende sikring bør kontrolleres. Erosjonssikringstiltak kan være steinplastring med filterlag innerst. Filtrelag kan være finkornige lag av sand eller fiberduk fra selve skråningsfoten og et stykke oppover skråningen. I stabilitetsberegningene er det forutsatt en anleggsvei av sprengstein med 1,5 m tykkelse og ca. 1,6 m steinplastring oppover skråningen fra topp anleggsvei (Tegning 804). Det må vurderes nærmere i detaljprosjekteringen hvordan erosjonssikringen skal utformes. Det er ikke nok fall i bekken til at det kan fylles 1,5 m uten å trekke steinfyllingen oppstrøms til nord for Leirådalsvegen, og i så fall må det trolig lages en ny stikkrenne under Leirådalsvegen. Et alternativ kan være å masseutskifte med sprengstein i bekkebunnen slik at bekken ikke blir liggende høyere enn i dag. Dette må gjøres seksjonsvis og parallelt med et stabiliserende tiltak (som avlastning på toppen av skråningen).*

Erosjonssikring vil derimot ikke hjelpe på den mest kritiske skjærflaten i sonen da denne har utgang et stykke over bunn ravine. Her anbefales det en avlastning/avgraving av tørrskorpeleire i toppen av skråningen for å oppnå 5% forbedring av beregnet sikkerhet. I stabilitetsberegningene er det forutsatt avgraving av ca. 2,5 m ved skråningstopp og gradvis mindre avgraving bakover til ca. 30 m bak skråningstopp (Tegning 804). I tillegg anbefales det å nedplanere haugen sørøst i sonen. Avlastet materiale skal ikke mellomlagres på toppen av skråningen, men kjøres bort til deponi.

Det har vært vurdert å gjenbruke avlastet materiale som motfylling i bunnen av skråningen. Bekken har imidlertid for lite fall til at det kan legges en fylling lokalt ved profil U. I tillegg er ravinen bevokst med en del trær. For å få adkomst og plass til motfylling må trær i skråningen fjernes, noe som ikke er gunstig siden trærne er naturlig erosjonssikrende. Mulige alternativer kan være:

1. Legge om bekken permanent i en ca. 160 m lang strekning ved profil U og fyller opp det eksisterende bekkeløpet. Dette alternativet vil imidlertid føre til ekstra overskuddsmasser fra utgravingen for det nye bekkeløpet.
2. Heve vegen nedenfor Leirådalsvegen. Dette vil ha en stabiliserende effekt for glideflatene vurdert i kap. 6.5, men vil forverre stabiliteten i skråningen nedenfor fyllingen.

Før sikringstiltakene detaljprosjekteres, anbefales det å utføre supplerende grunnundersøkelser for å undersøke forekomst av sprøbruddmateriale rett ved bekken, både ved snitt U og nedenfor haugen sørøst i sonen. Skal en vurdere å legge om bekken, må det også utføres supplerende grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger i skråningen øst for bekken.

## 6.7 Ny vurdering av faregrad etter sikring

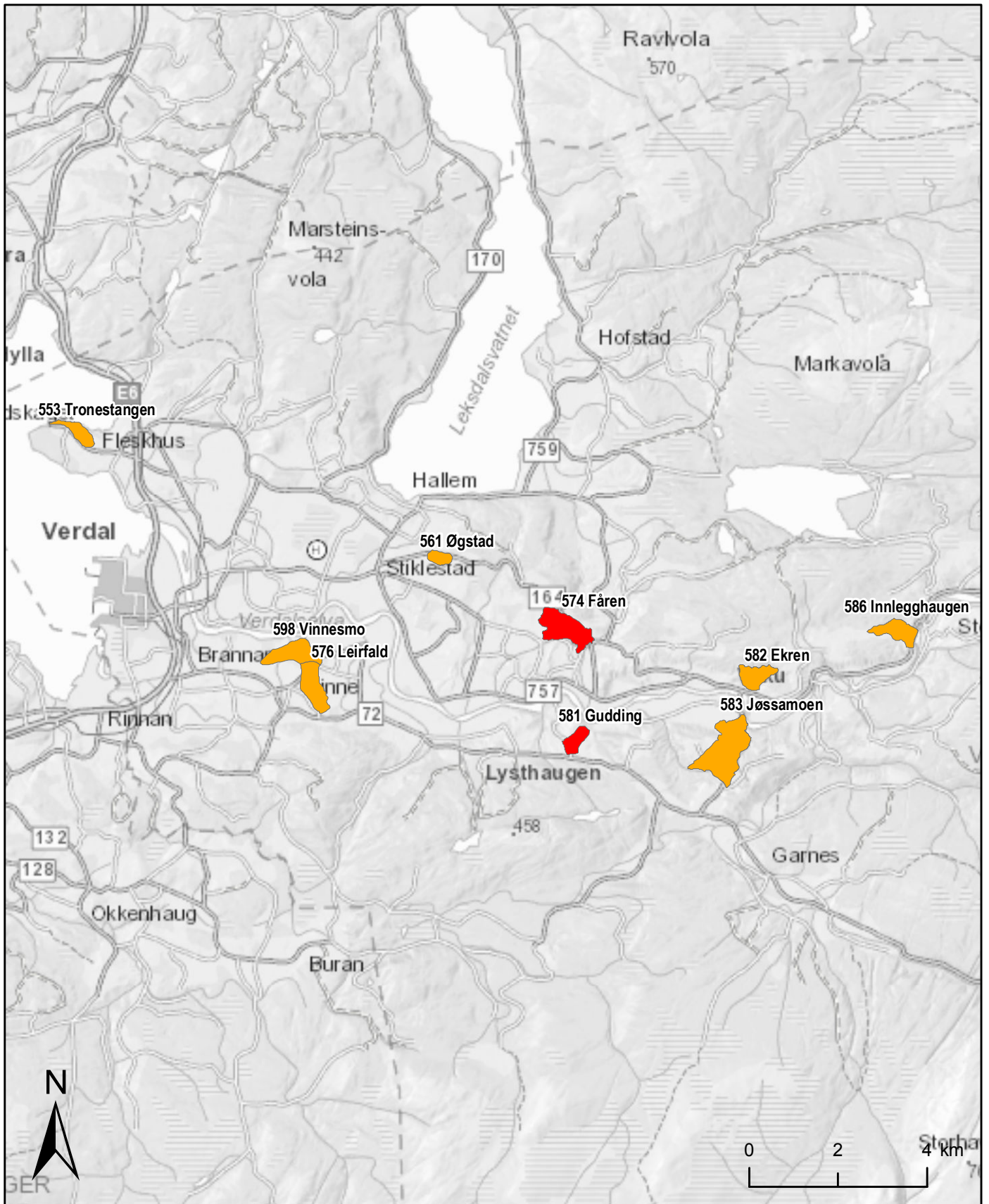
Ny vurdering av faregrad for sonen etter sikring er vist i Tabell 6. Faregraden vil forbli "middels", også i kritisk snitt. For å få lavere faregrad, må også de andre to bekkene i sonen erosjonssikres ("noe" -> "ingen" erosjon), og sikkerheten i kritisk snitt må forbedres ytterligere ("liten forbedring" -> "noe forbedring").

Tabell 6 Faregradsevaluering med anbefalte sikringstiltak

Kvikkleiresone	Faregrad (poeng)	
	Dagens situasjon	Med anbefalte sikringstiltak
574 Fåren	Middels (24)	Middels (24) Kritisk snitt: Middels (18)

## 7 Referanser

- [1] NGI, «20170367-03-R rev. 1 Kvikkleiresoneutredning "light" Trønderlag, Faresone Verdal kommune, Delleveranse 1,» 2017.
- [2] NGI, «20170367-01-TN Konkurransesgrunnlag geotekniske undersøkelser,» 2017.
- [3] NGI, «Delleveranse 3,» 2018.
- [4] NVE, «7/2014 Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper,» 2014.
- [5] Statens vegvesen, «Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging,» 2014.
- [6] K. Karlsrud, T. Lunne, D. Kort og S. Strandvik, «CPTU correlations for clays,» 2005.
- [7] NIFS , «77/2014 Vakg av karakteristisk CuA- profil basert på felt- og laboratorieundersøkelser,» 2014.
- [8] C. Ladd og R. Foott, «New design procedure for stability of soft clays,» Journal of the geotechnical engineering division, ASCE, Vol. 100, No GT7, July, p.p 763-786, 1974.
- [9] V. Thakur; F. Oset; M. Viklund; S-A. Strand; V. Gjelsvik; S. Christensen; O. A. Fauskerud; , «NIFS rapport 14-2014. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer,» Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket, 2014.
- [10] K. Senneset; R. Sandven; N. Janbu, «Shear strength parameters obtained from static cone penetration tests,» 1985.
- [11] Multiconsult, «10200526-RIG-RAP-003 Datarapport geotekniske undersøkelser - Verdal,» 2018.
- [12] T. Lunne, T. Berre og S. Strandvik, «Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay,» NGI, Publikasjon nr. 204, 1997.
- [13] K. Karlsrud og F. G. Hernandez-Martinez, «Strength and deformation properties of Norwegian clays from laboratory tests on high-quality block samples,» 2013.
- [14] Norsk geoteknisk forening, «NGF melding nr. 5, Veiledning for utførelse av trykksondering, rev. 3,» 1982.
- [15] NVE, *Møtereferat: Oppfølgingsmøte 3 – UO 1 - Rissa, Levanger/Inderøy og Verdal kommune (31.05.2018). Epost kommunikasjon, datert 04.06.2018*, 2018.



## Tegnforklaring

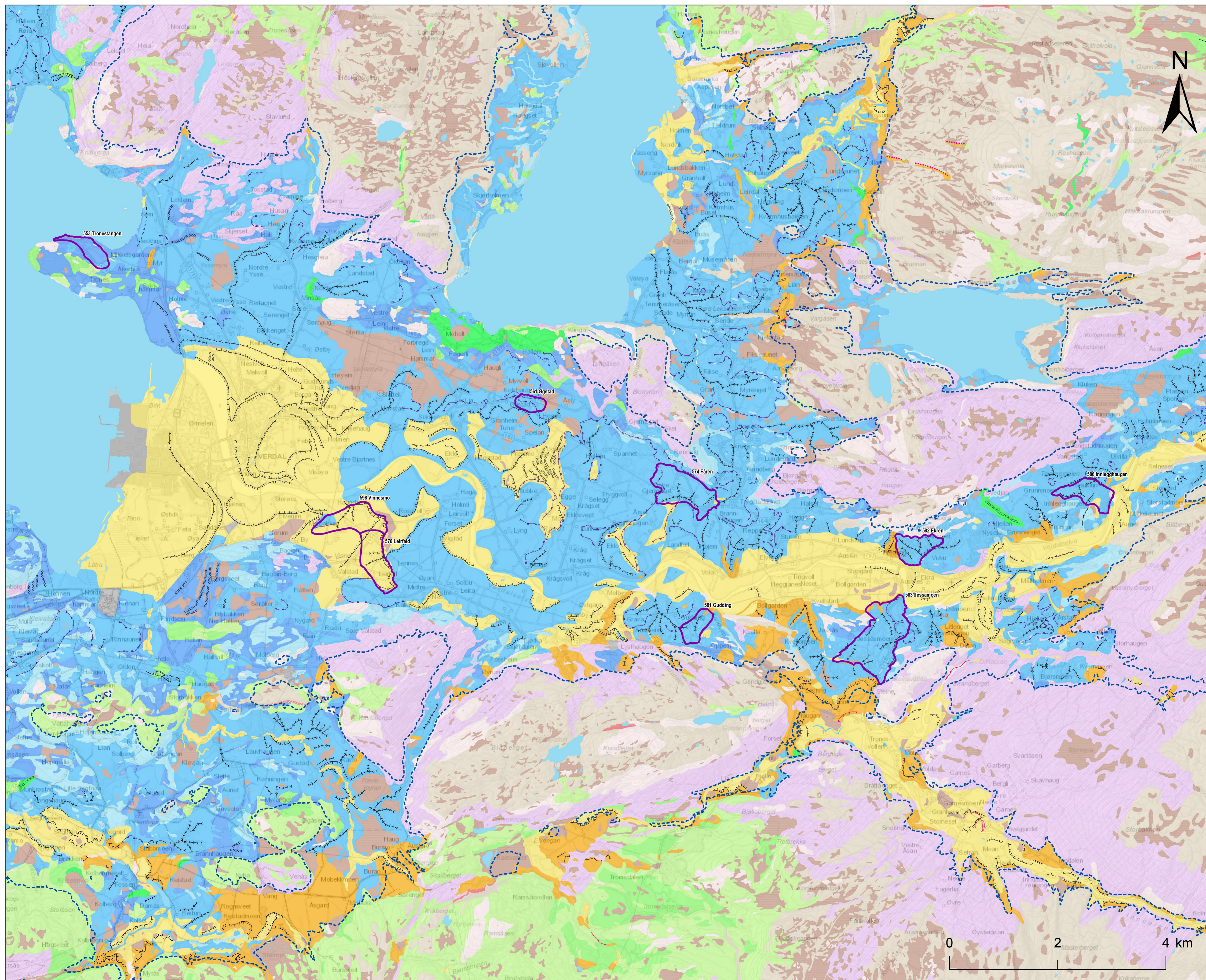
### Kvikkleirefaresoner

#### Skredfaregrad

- Lav
- Middels
- Høy

Målestokk (A4): 1:120 000 Datum: Euref89, Kartprojeksjon: UTM 33

<b>NVE</b>		
<b>Skredfarekartlegging</b>	Prosjektnr. <b>20170367</b>	Kartnr. <b>005</b>
	Oversiktskart Verdal	
	Utført <b>KST</b>	Dato <b>2017-06-19</b>
	Kontrollert <b>KME</b>	Godkjent <b>RMO</b>
		



**Tegnforklaring**

**Kvikkleirefasoner**

- Kvikkleirefasoner

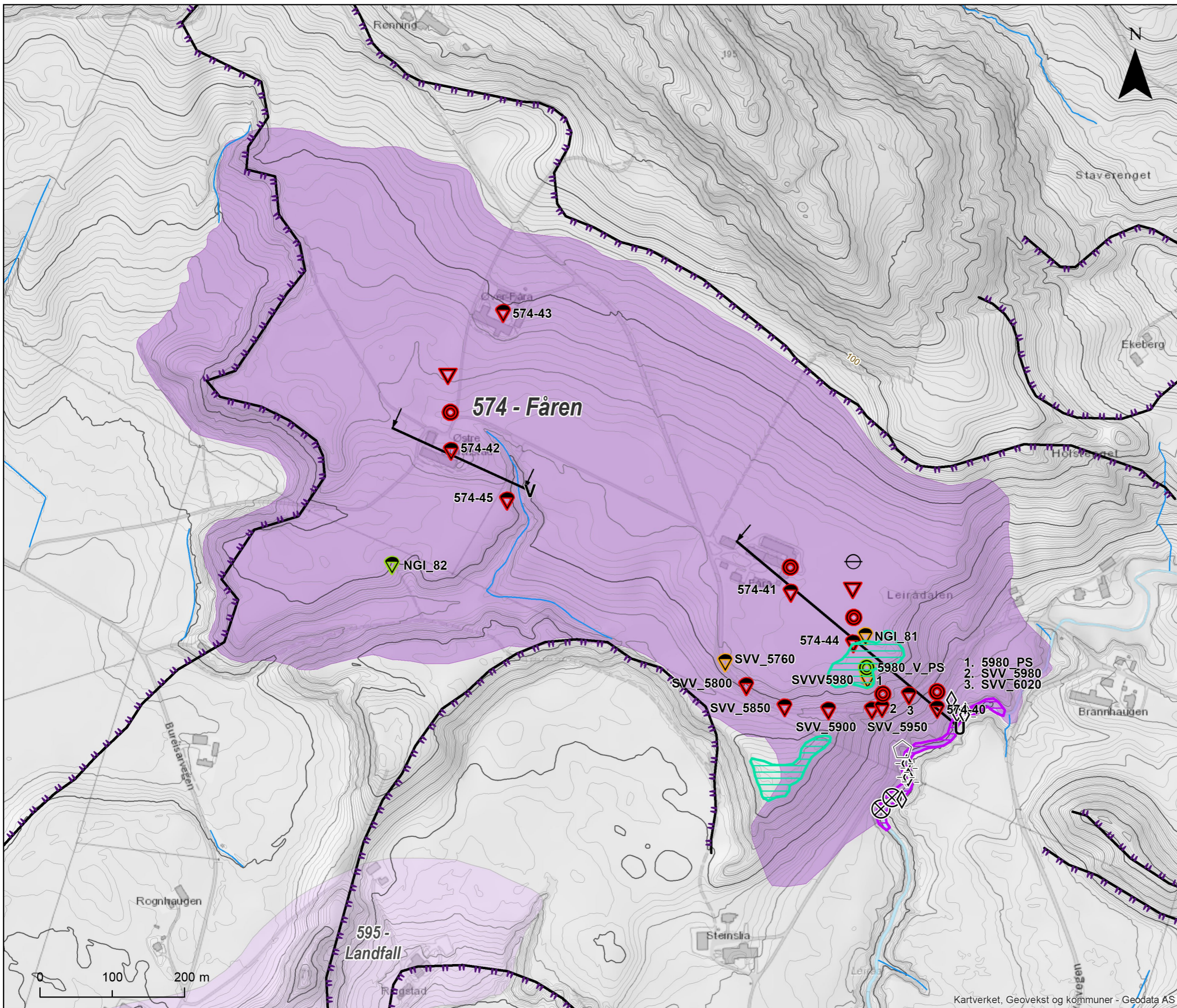
**Kvartærgeologi**

- Lasmasse/berggrunn under vann, uspesifisert
- Morenemateriale, uspesifisert
- Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Rogemorene
- Randmorene/randmorenebelte
- Moreneleire
- Drumlin
- Avsmeltingsmorene (Ablasjonsmorene)
- Innsjøavsetning (Lakustrin avsetning)
- Bresje-/brekkammer og innsjøavsetning (Glaslakustrin og lakustrin avsetning)
- Elveavsetning, sammenhengende dekke
- Elve- og bekkavsetning (Fluvial avsetning)
- Strandavsetning innsjø og/eller bresje
- Breeliv- og elveavsetning
- Breeliv- og bresje-/brekkammeravsetning (Glasfluvial og glaslakustrin avsetning)
- Bresje-/eler brekkammeravsetning (Glaslakustrin avsetning)
- Flomavsetning (uspesifisert)
- Flomavsetning, sammenhengende dekke
- Flomavsetning, usammenhengende/tynt dekke
- Vindavsetning (Eolik avsetning)
- Ryggformet breelivavsetning (Esker)
- Breelivavsetning (Glasfluvial avsetning)
- Haugformet breelivavsetning (Kame)
- Hav- og forandring av strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Hav- og forandring avsetning, uspesifisert
- Hav- og forandring avsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
- Marin strandavsetning, sammenhengende dekke
- Skjellsand
- Marin gytle
- Forvritningsmateriale, ikke inndelt etter mektighet
- Forvritningsmateriale, sammenhengende dekke
- Forvritningsmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Forvritningsmateriale, stein- og blokkrikt, dannet ved frostsprengning
- Steinravsetning
- Bart fjellfyll med tynt torvdekke, uspesifisert
- Bart fjell
- Bart fjellfyll med usammenhengende eller tynt løssmededekke
- Usammenhengende eller tynt løssmededekke over berggrunnen, flere løssasetyper, uspesifisert
- Humusdekket/tynt torvdekke over berggrunnen
- Sammenhengende løssmededekke av flere jordarter.
- Torv og myr (Organisk materiale)
- Steinrikt sigende skråningsmateriale
- Finkornig organiskholdig sigejord
- Fyllmasse (antropogent materiale)
- Steintipp
- Menneskepåvirket materiale, ikke nærmere spesifisert
- Leirkredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Leirkredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Fjellkredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Fjellkredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Steinsprangavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Snekredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Snekredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Jordkredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Jordkredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Fjellkred-/steinsprangavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Fjellkred-/steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Sno- og jordkredavsetning, sammenhengende dekke
- Sno- og jordkredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Jordkred- og steinsprangavsetning, sammenhengende dekke
- Jordkred- og steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
- Skredmateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- Skredmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
- Skredmateriale, ikke inndelt etter mektighet
- 1, Drumlin
- 101, Elve- eller bekkenedskjering
- 102, Tidligere elve- eller bekkeløp
- 105, Gjel utformet av elv og/eller breelv
- 106, Vitteform
- 107, Ravine
- 108, Terrassekant
- 12, Ryggformet breelivavsetning, esker
- 201, Strandvill
- 202, Strandlinje i løssmasser
- 21, Smeltevannsløp
- 26, Gjel utformet av smeltevann
- 27, Spjelfelt
- 306, Skredkant
- 351, Rygg
- 41, Iskontaktkråning
- Marin grense

Målestokk (A1): 1:32 000    Datum: EUREF89, Kartprosjekt: UTM33

NVE			
Skredfarekartlegging		Prosjekt:	Kart nr.
		20170367	006
Kvartærgeologi Verdal	Ufset	Dato	
	KST	2017-06-19	
	KME	Gjeldet	
	RMG		

0 2 4 km



## Tegnforklaring

### Kvikkleirefarezone

- Aktuell
- Øvrige kvikkleirefarezoner
- Anbefalt avlastning
- Anbefalt erosjonssikring

### Eksisterende og supplerende grunnundersøkelser

- CPTU
- Dreietrykkssondering
- Dreiesondering
- Poretrykksmåling
- Prøveserie
- Totalsondering
- Vingeboring

### Klassifisering

- Sannsynlig kvikkleire/sprøbruddmatr.
- Mulig kvikkleire/sprøbruddmatr.
- Antatt ingen kvikkleire/sprøbruddmatr.

### Observasjoner

- Berg i dagen
- Erosjon i bekk/elv
- Fylling
- Gammel skredgrop
- Leire
- Skredkant (NGU)
- Sikringstilak (NVE)

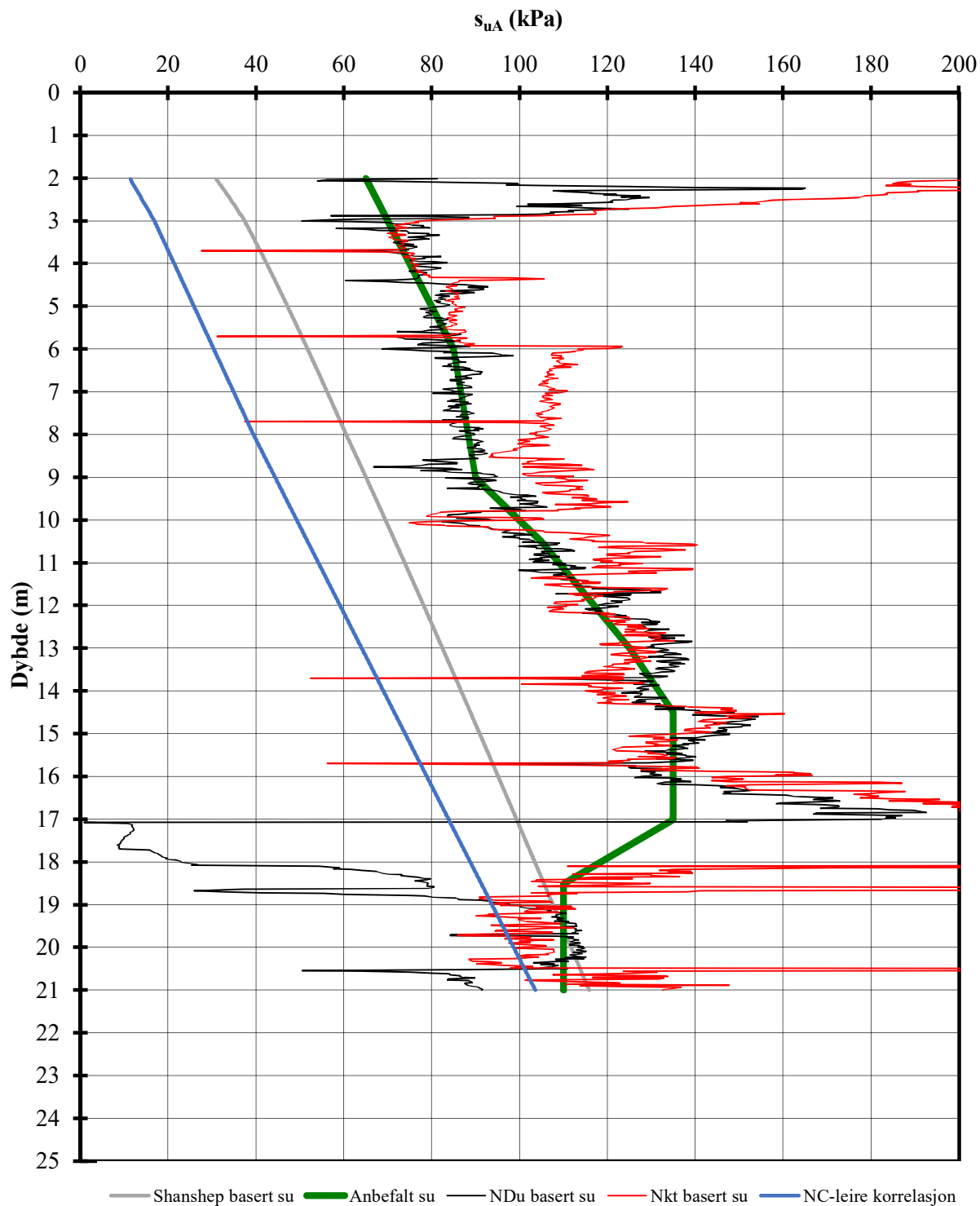
Målestokk (A3): 1:5 000 Datum: EUREF 89, Kartprojeksjon: UTM 33

Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag		
<b>Verdal kommune</b>	Prosjektr. <b>20170367</b>	Kart nr. <b>037</b>
-Klassifiserte grunnundersøkelser -Kritiske snitt -Befaringsobservasjoner -Anbefalte tiltak Farezone 574 Fåren	Utført <b>KKs</b>	Dato <b>2018-08-21</b>
	Kontrollert <b>EKW</b>	Godkjent <b>RMo</b>

# Vedlegg A

## TOLKNING AV CPTU SONDERINGER





Terrengkote : 68,1 m

P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\574 Fåren\CPTU-tolk\Kopi av CPTU 574-42.xlsm]OCR

### Kvikkleiresoneutredning "light"

Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.

Borhull574-42

Rapport nr.  
20170367

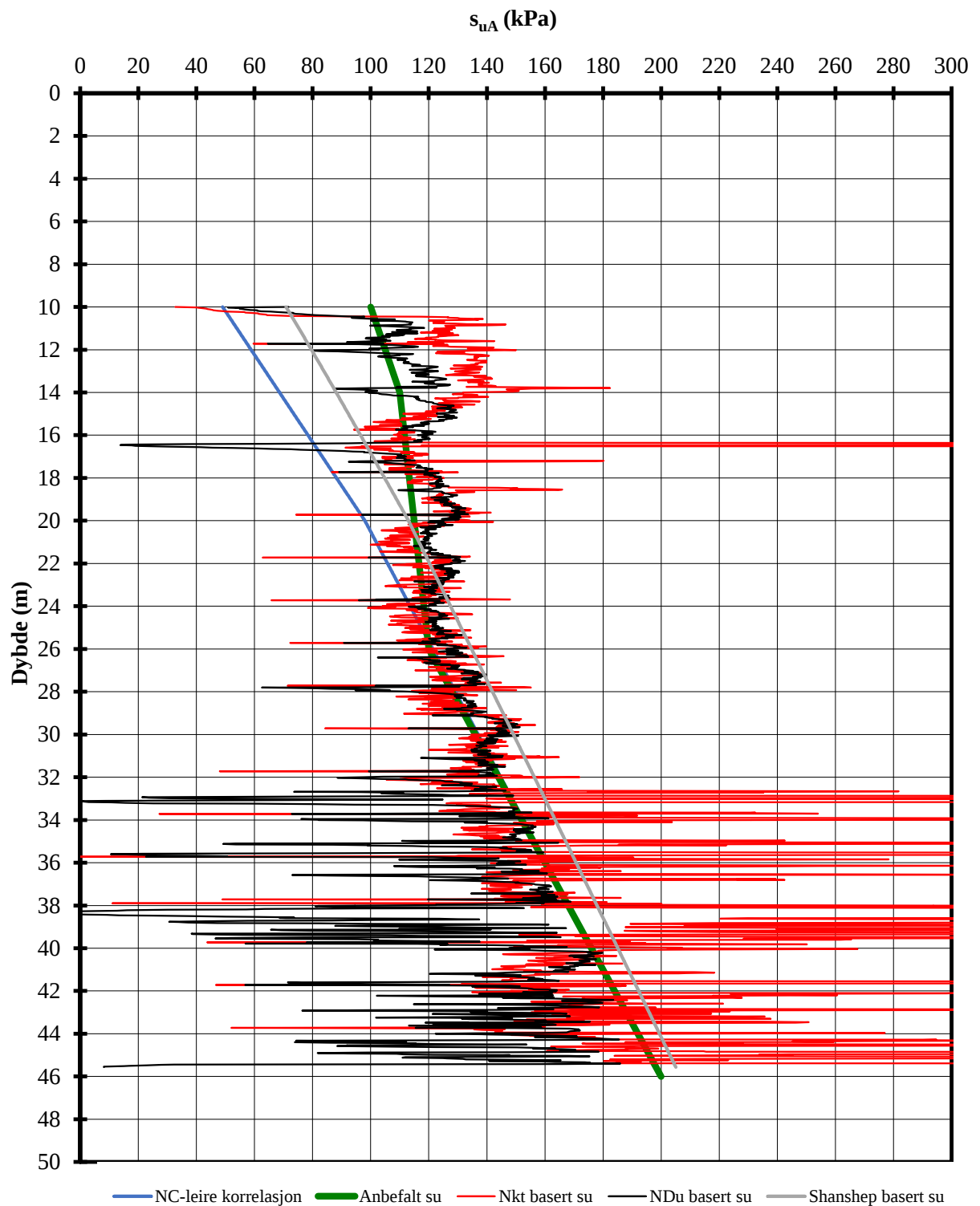
Figur nr.  
A1

Tegner  
KME

Dato  
14.05.2018


Kontrollert  
EKW/Rmo  
Godkjent  
Rmo

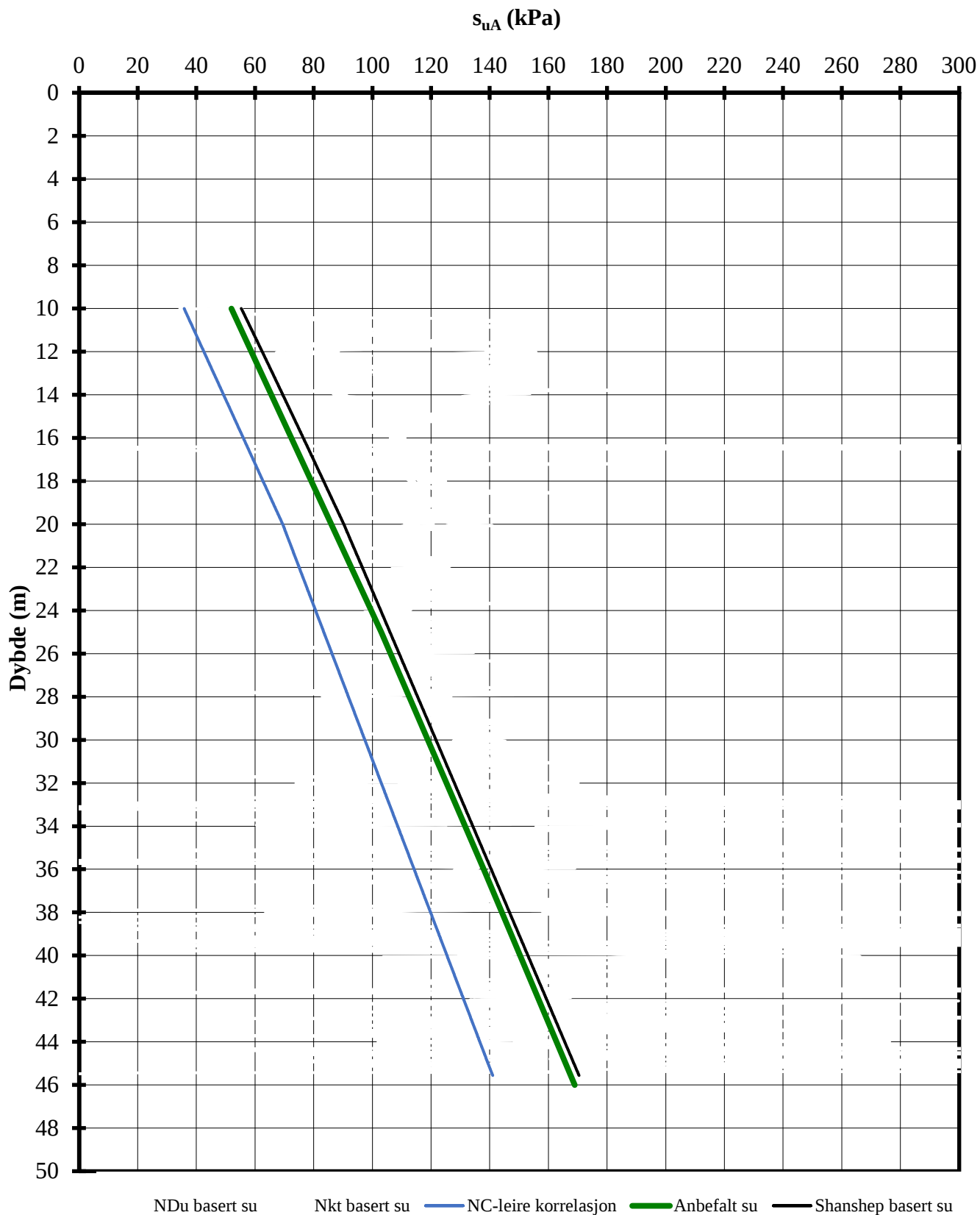




Terrengkote : 67,1 m


P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\574 Fåren\CPTU-tolk\CPTU 574-44.xlsm]sua profil

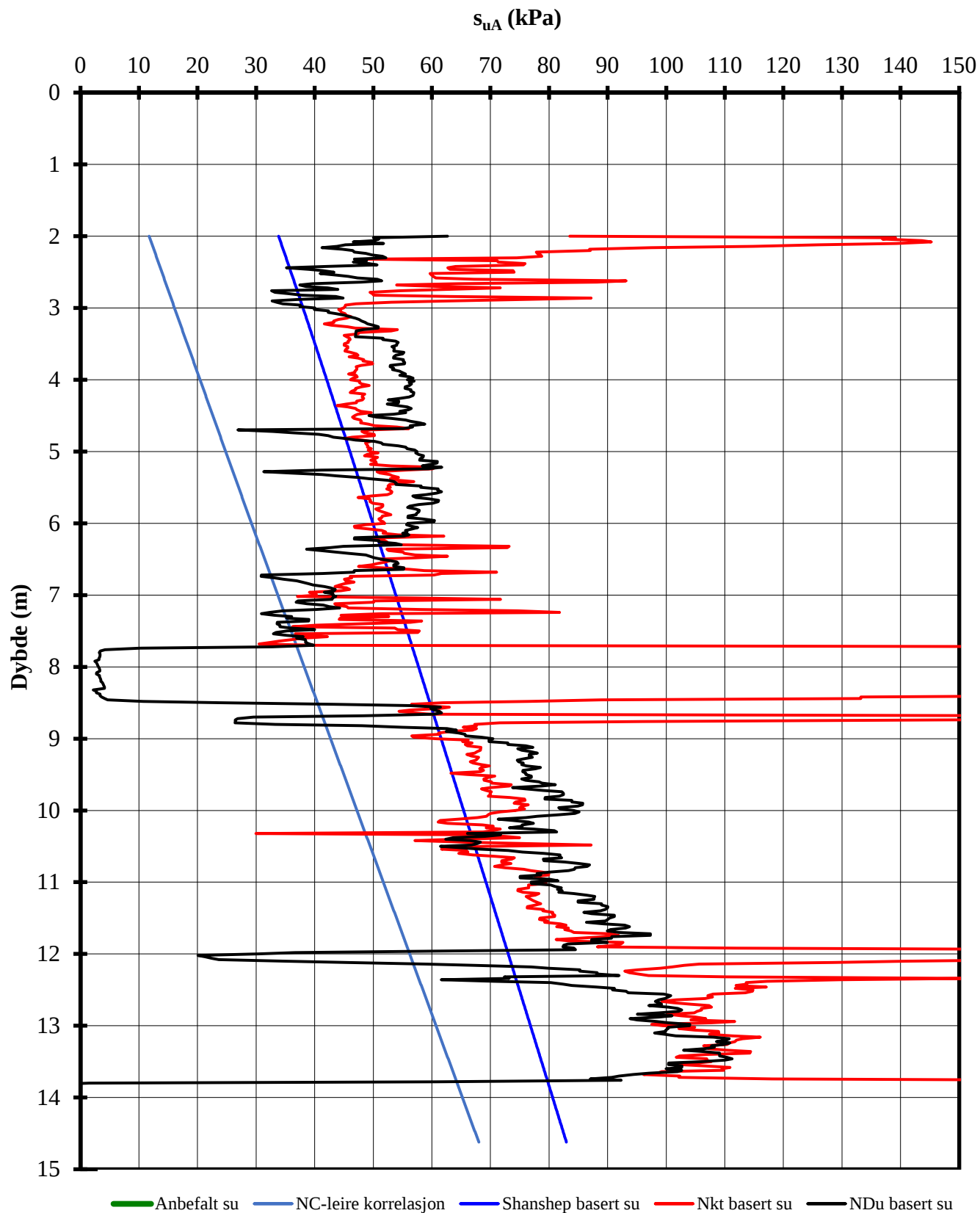
<b>Kvikkleiresoneutredning "light"</b>  Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.  Borhull574-44	Rapport nr. <b>20170367</b>	Figur nr. <b>A2</b>	
	Tegner <b>KME</b>	Dato <b>14.05.2018</b>	
	Kontrollert <b>EKW/Rmo</b>		
	Godkjent <b>Rmo</b>		



Terrengkote : 32 m


P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\574 Fåren\CPTU-tolk\CPTU 574-44\_i skråningen ved 574-40.xlsm]OCR

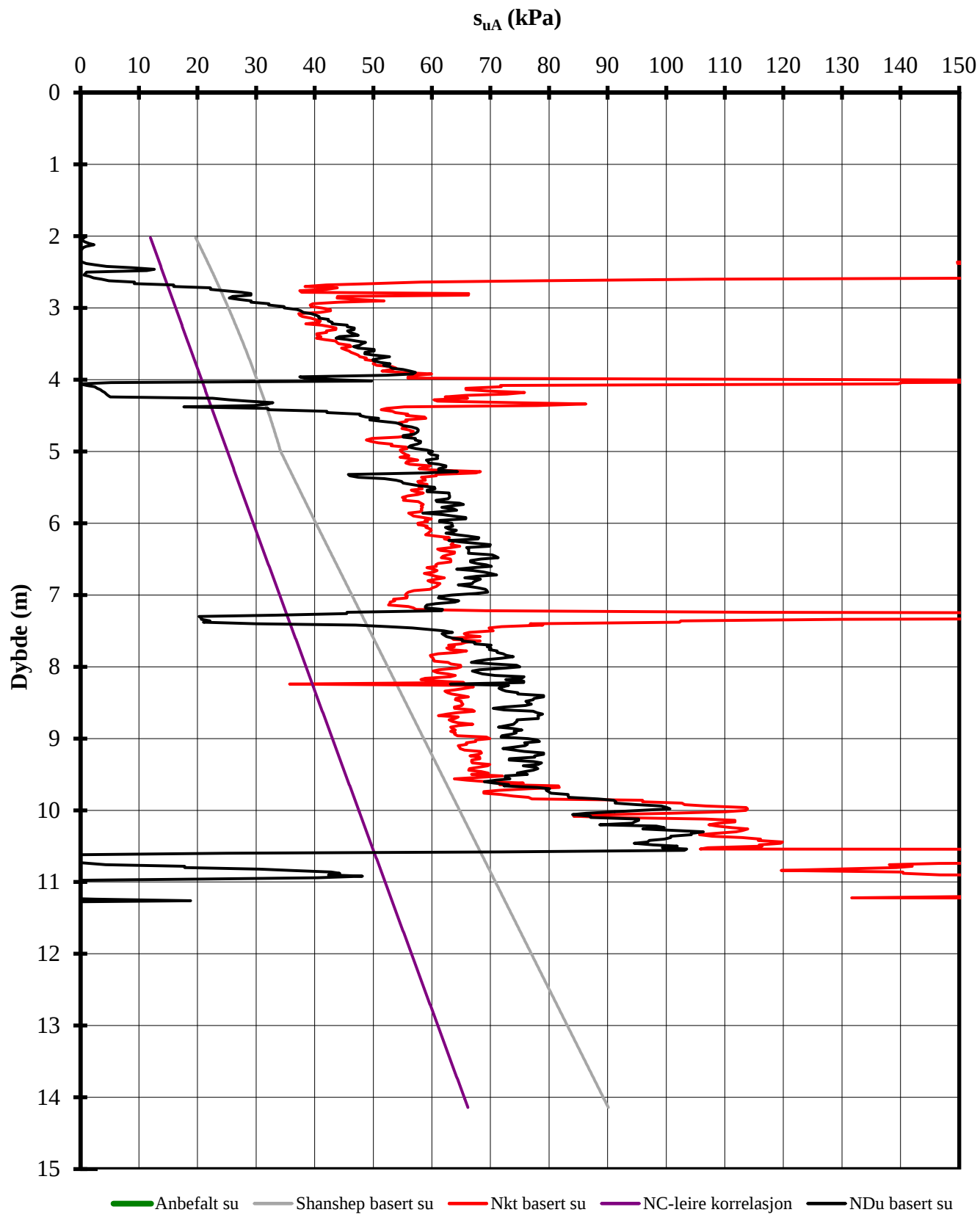
<b>Kvikkleiresoneutredning "light"</b>	Rapport nr. 20170367	Figur nr. A3
	Tegner KME	Dato 14.05.2018
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.  Borhull574-44	Kontrollert EKW/Rmo	
	Godkjent Rmo	



Terrengkote : 108.2 m


P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\581 Gudding\CPTU tolk\Før QC\CPTU-tolk2006 581-18.xlsm\sua profil

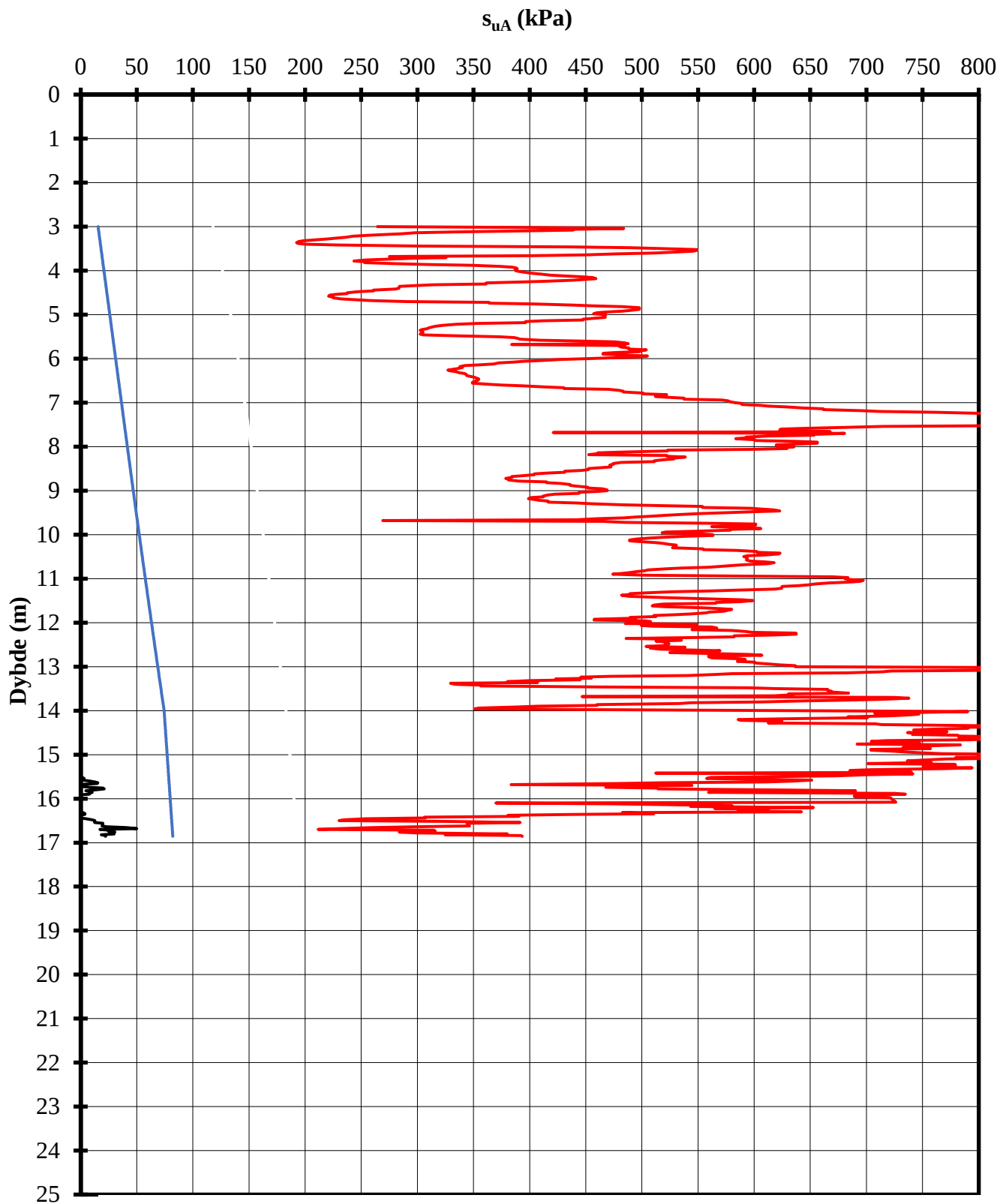
<b>Kvikkleiresoneutredning "light"</b>  Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.  Borhull581-18	Rapport nr. <b>20170367</b>	Figur nr. <b>A4</b>
	Tegner <b>KME</b>	Dato <b>14.05.2018</b>
	Kontrollert <b>Rmo</b>	
	Godkjent <b>RMo</b>	



Terrengkote : 112,5 m

P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\581 Gudding\CPTU tolk\[CPTU- 581-20\_etter QC.xlsm]sua profil


<b>vikleiresoneutredning "light"</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20170367	A5
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep.  Borhull581-20	Tegner	Dato
	KME	14.05.2018
	Kontrollert	
Godkjent		
	Rmo	

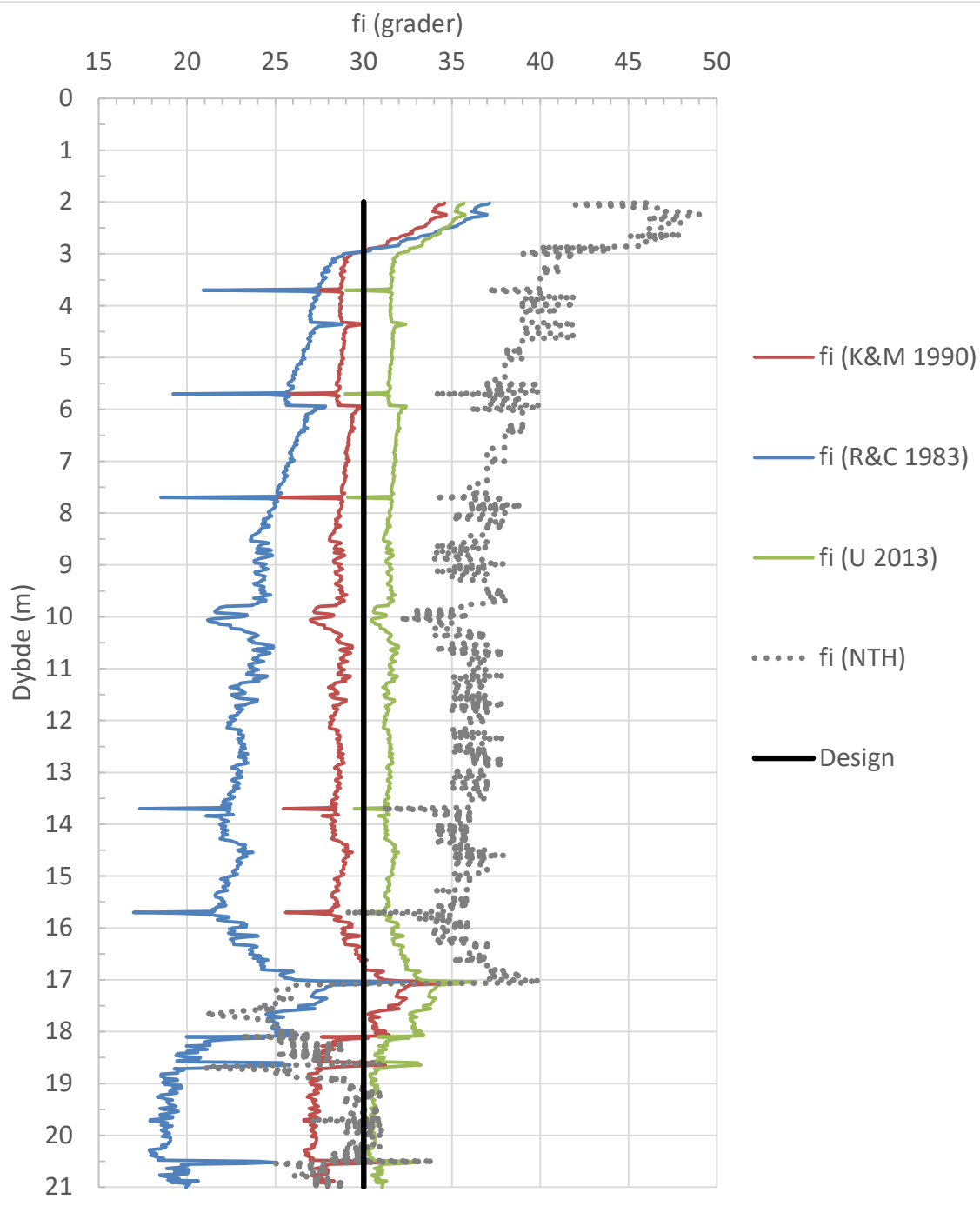


Shanshep basert su — Anbefalt su — NDu basert su — Nkt basert su — NC-leire korrelasjon

Terrengkote : 40,2 m

P:\2017\03\20170367\Beregninger\Verdal\576 Leirfald\Utskrift\_CPTU 576-13.xlsm\sua profil

<b>Kvikkleiresoneutredning "light"</b>	Rapport nr.	Figur nr.
	20170367	A6
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull576-13	Tegner	Dato
	KME	14.05.2018
	Kontrollert	
Godkjent		
	Rmo	



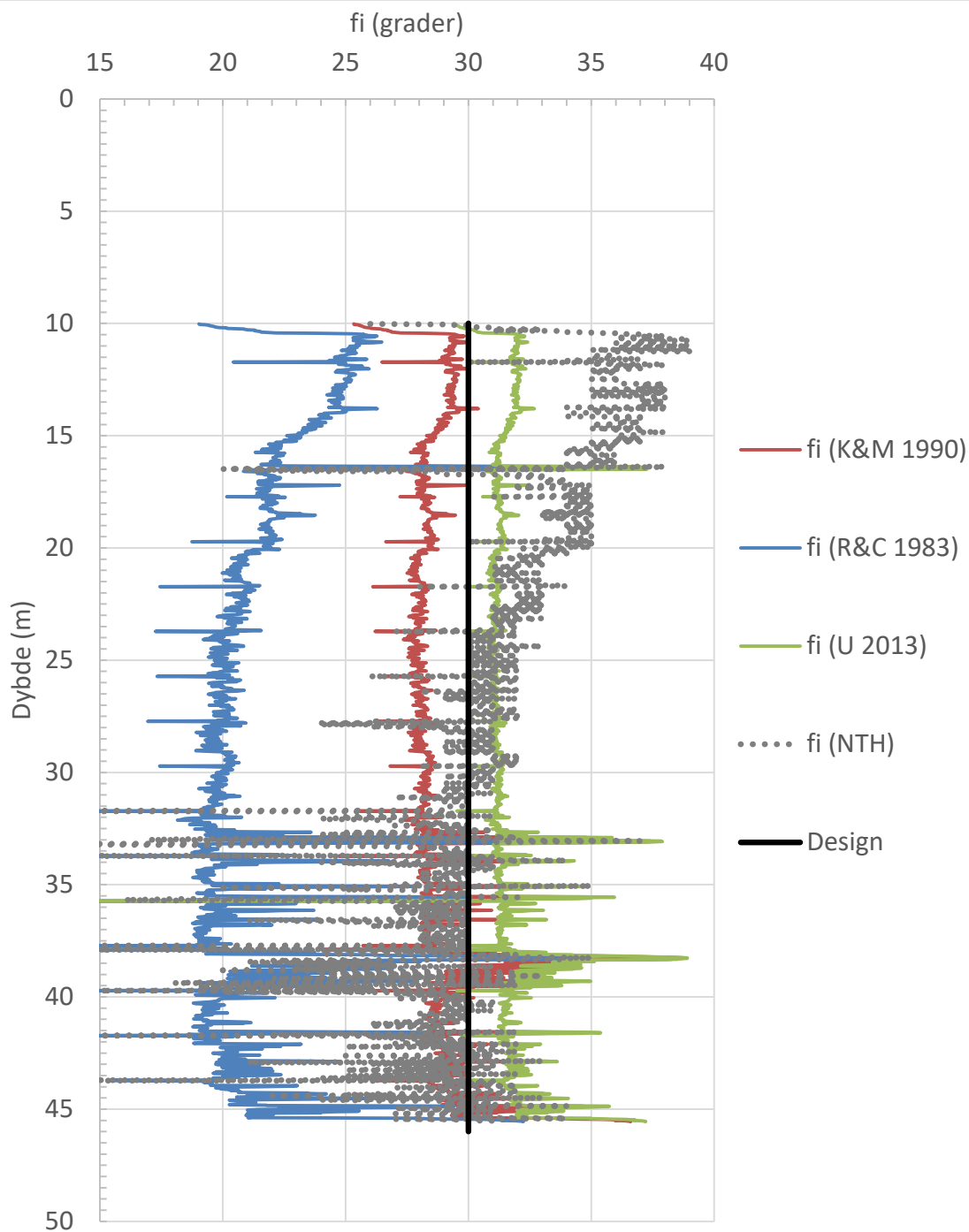
beta : -5

### Kvikkleiresoneutredning "light"

574 Fåren

Tolkning av friksjonsvinkel fra CPTU  
Borhull 574-42

Rapport nr. 20170367	Figur nr. A7
Tegner KME	Dato 14.05.2018
Kontrollert EKW	
Godkjent RMO	



beta : -5

### Kvikkleiresoneutredning "light"

574 Fåren

Tolkning av friksjonsvinkel fra CPTU  
Borhull 574-44

Rapport nr.  
20170367

Figur nr.  
A8

Tegner  
KME

Dato  
14.05.2018

Kontrollert  
EKW

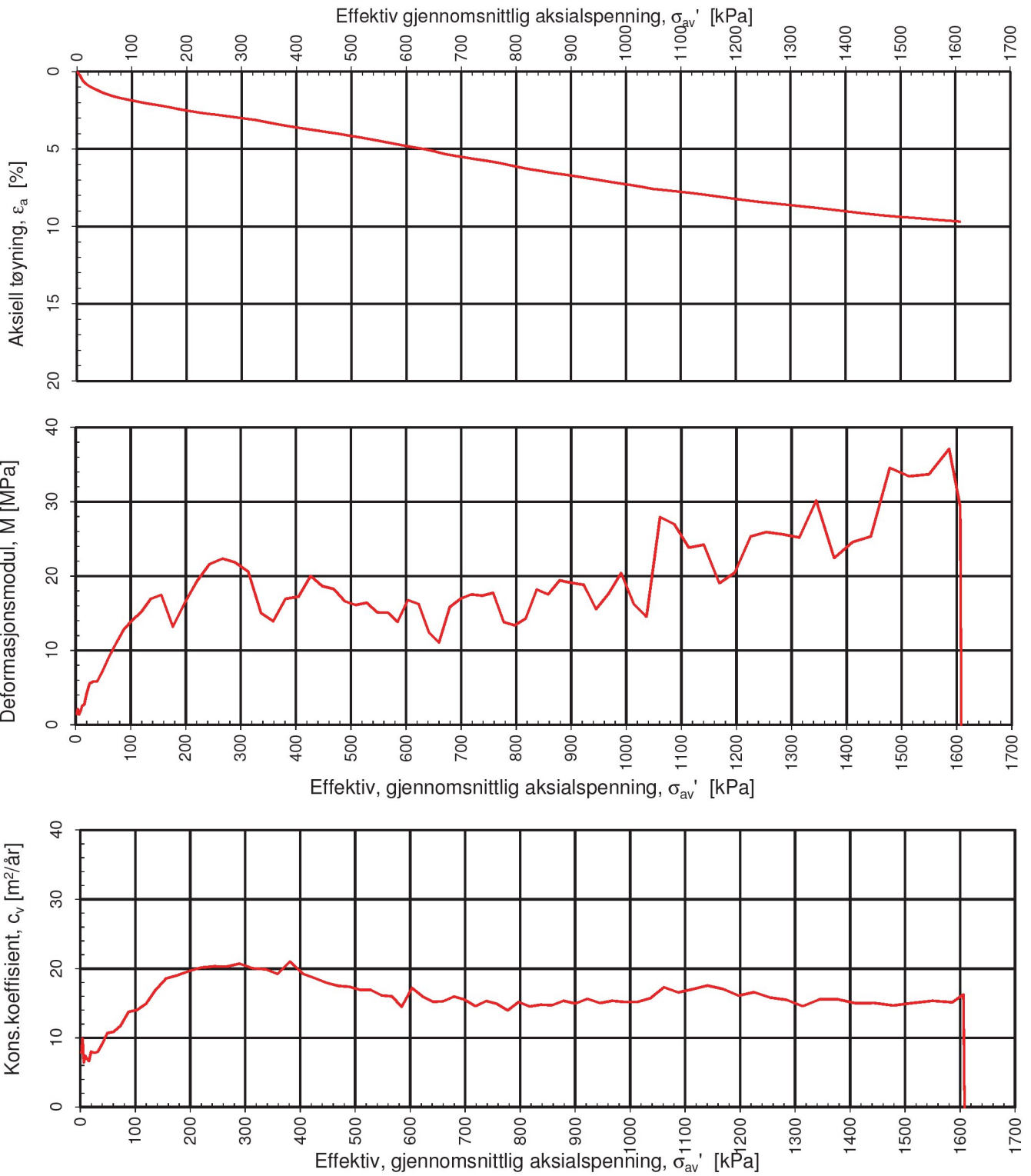
Godkjent  
RMO





# Vedlegg B

TOLKNING AV ØDOMETERFORSØK



Densitet  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>):  
Vanninnhold  $w$  (%):

**2,13**  
**21,75**

Effektivt overlagingstrykk,  $\sigma_{vo}'$  (kPa):

**112,71**

**NVE**

**Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1**

Kontinuerlig ødometerforsøk, CRS-rutine. Plott A:  $\sigma_{av}' - \epsilon_a$ , M og  $c_v$ .

Tegningens filnavn:

10200523-RIG-TEG-400\_h574-40, d10,35m

**Multi**  
**consult**

**MULTICONSULT AS**

Sluppenveien 15  
7037 Trondheim  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato:

06.12.2017

Dybde,  $z$  (m):

10,35

Borpunkt nr.:

574-40

Forsøknr.:

1

Tegnet av:

vt/kjt

Kontrollert:

ALM

Godkjent:

ANG

Oppdrag nr.:

10200523

Tegning nr.:

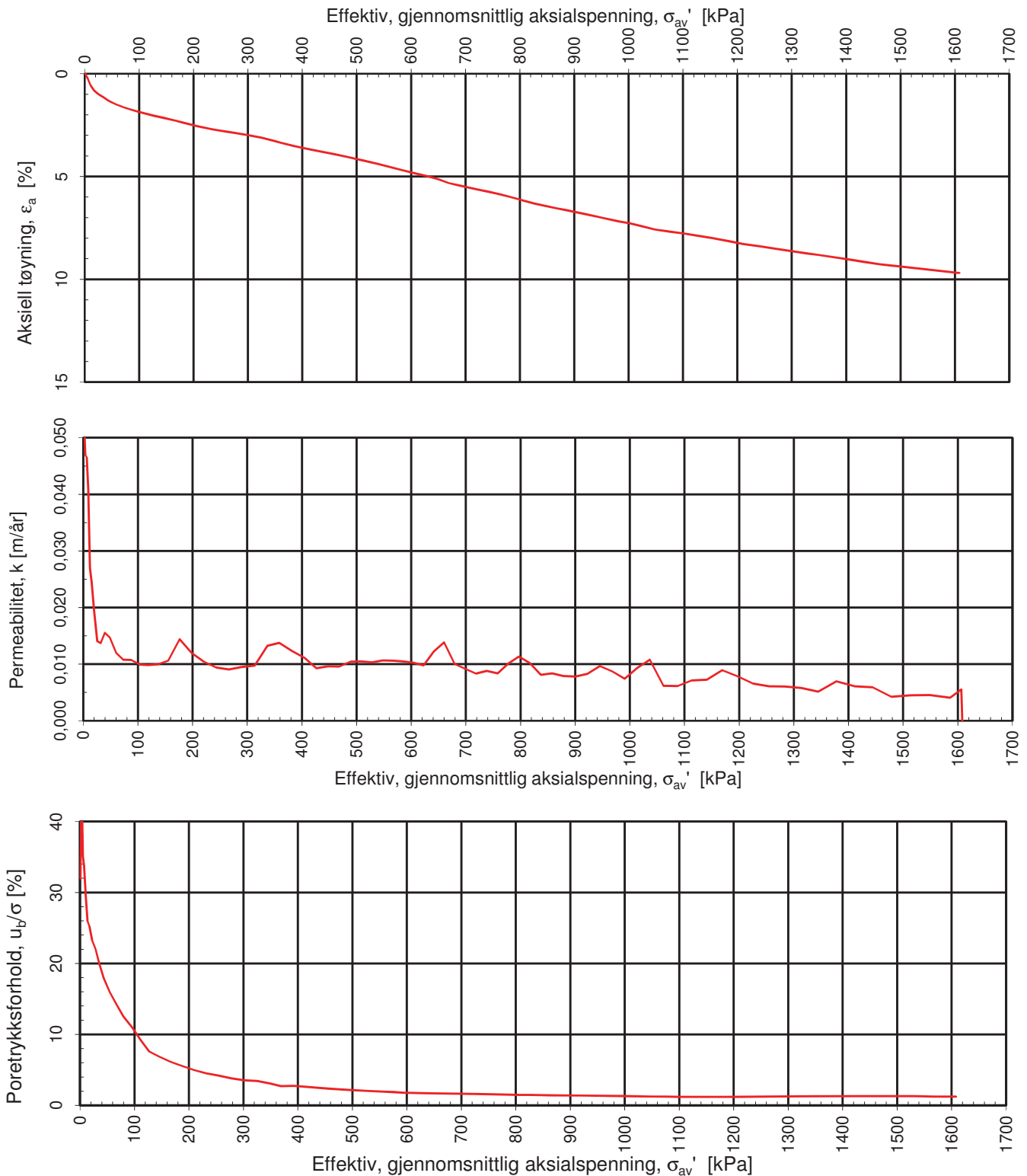
RIG-TEG-574.400.1

Prosedyre:

CRS

Programrevisjon:

24.06.2016



Densitet  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>):

2,13

Vanninnhold  $w$  (%):

21,75

Effektivt overlagingstrykk,  $\sigma_{v0}'$  (kPa):

112,71

**NVE**

**Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1**

Kontinuerlig ødometerforsøk, CRS-rutine. Plott B:  $\sigma_{av}' - \epsilon_a$ ,  $k$  og  $u_b/\sigma$ .

Tegningens filnavn:

10200523-RIG-TEG-400\_h574-40, d10,35m

**Multi  
consult**

**MULTICONSULT AS**

Sluppenveien 15  
7037 Trondheim  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato:

06.12.2017

Dybde,  $z$  (m):

10,35

Borpunkt nr.:

574-40

Forsøknr.:

1

Tegnet av:

vt/kjt

Kontrollert:

ALM

Oppdrag nr.:

10200523

Tegning nr.:

RIG-TEG-574.400.2

Prosedyre:

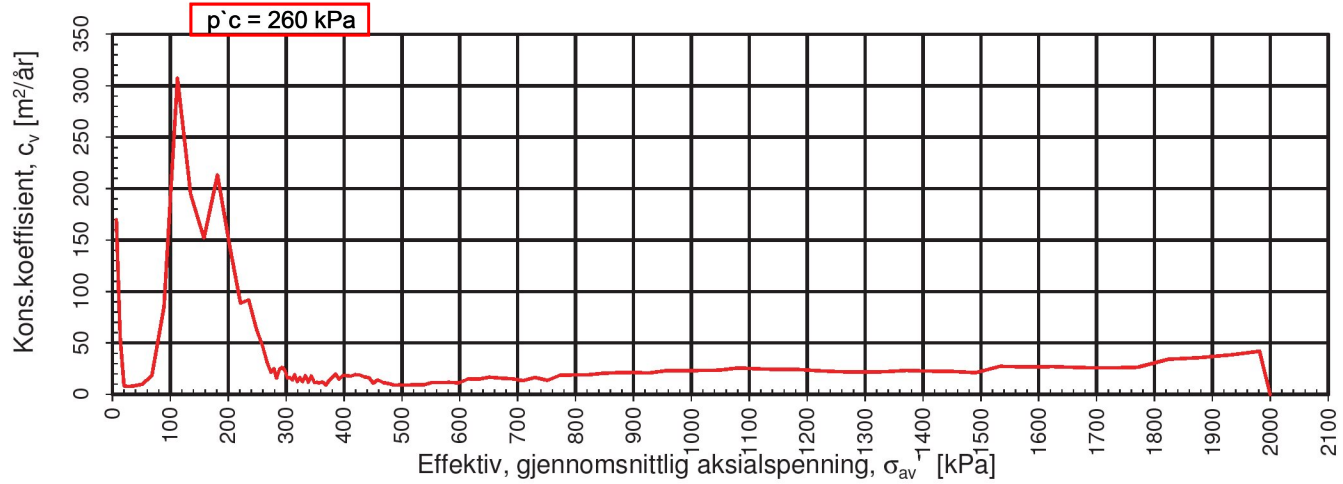
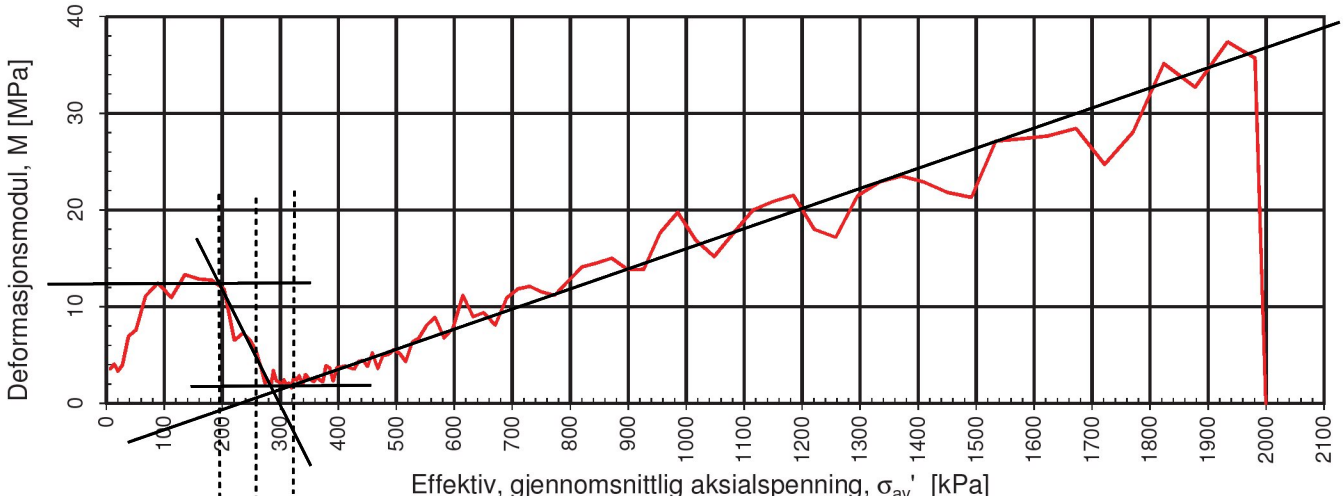
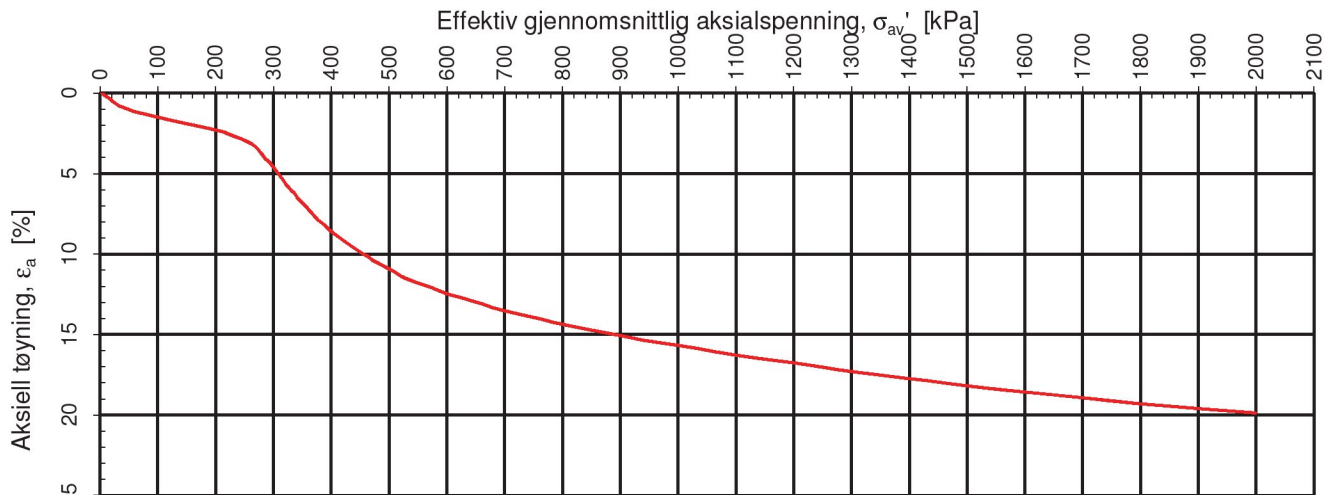
CRS

Godkjent:

ANG

Programrevisjon:

24.06.2016



Densitet  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>): **2,12**  
 Vanninnhold  $w$  (%): **18,60**  
 Effektivt overlagingstrykk,  $\sigma_{vo}'$  (kPa): **121,93**

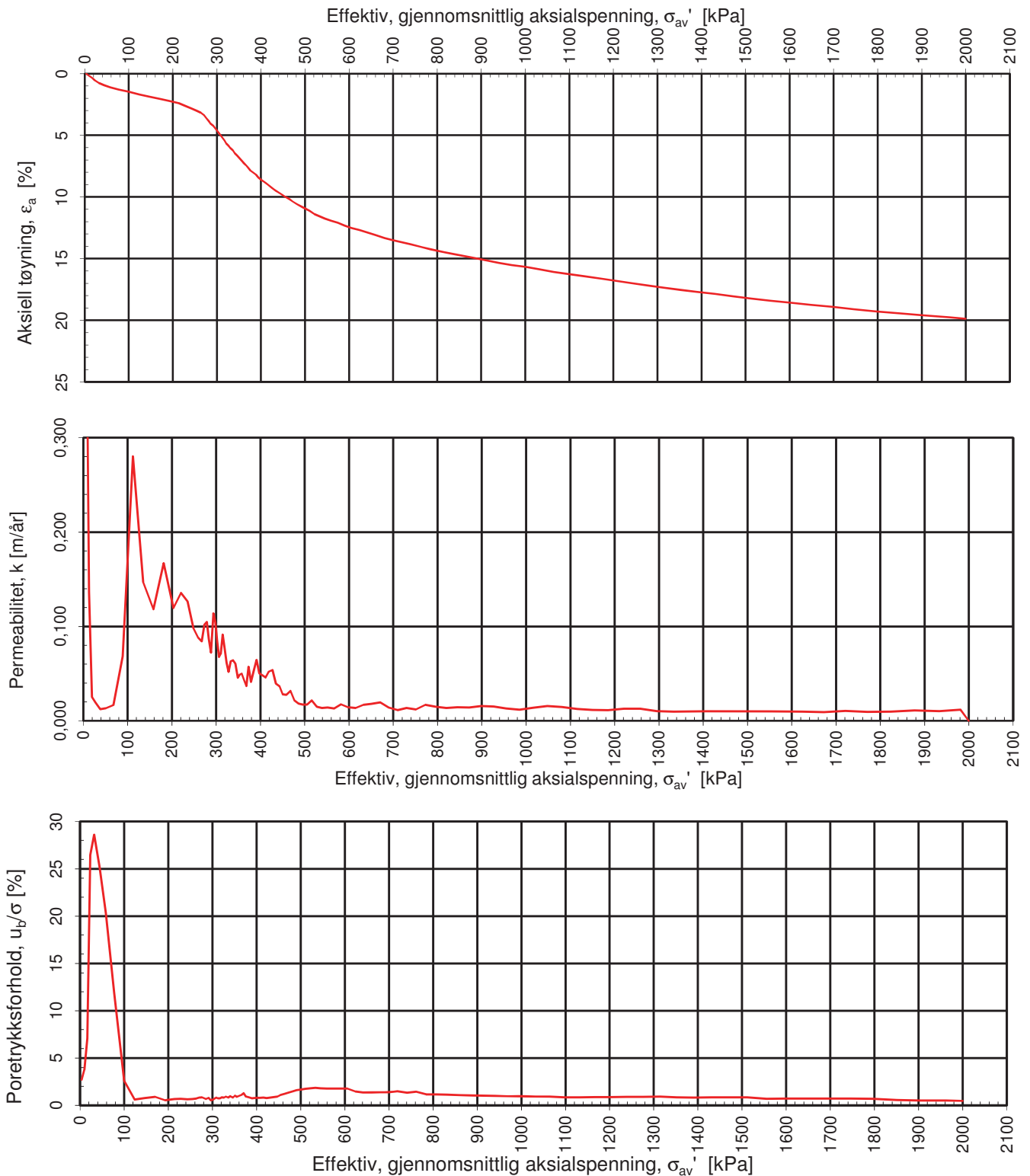
**NVE**  
**Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1**

Tegningens filnavn:  
 10200523-RIG-TEG-401\_h574-40, d11,30m

Kontinuerlig ødometerforsøk, CRS-rutine. Plott A:  $\sigma_{av}' - \epsilon_a, M$  og  $c_v$ .

Godkjent: **ANG**  
 Programrevisjon: 24.06.2016

<b>MULTICONSULT AS</b> Sluppenveien 15 7037 Trondheim Tlf.: 73 10 62 00 Faks: 73 10 62 30	Forsøksdato:	Dybde, $z$ (m):	Borpunkt nr.:
	07.12.2017	11,30	574-40
	Forsøknr.:	Tegnet av:	Kontrollert:
2	vt/kjt	ALM	
Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Prosedyre:	
10200523	RIG-TEG-574-401.1	CRS	



Densitet  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>):

2,12

Vanninnhold  $w$  (%):

18,60

Effektivt overlagingstrykk,  $\sigma_{vo}'$  (kPa):

121,93

**NVE**

**Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1**

Kontinuerlig ødometerforsøk, CRS-rutine. Plott B:  $\sigma_{av}' - \epsilon_a$ ,  $k$  og  $u_b/\sigma$ .

Tegningens filnavn:

10200523-RIG-TEG-401\_h574-40, d11,30m

**Multi  
consult**

**MULTICONSULT AS**

Sluppenveien 15  
7037 Trondheim  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato:

07.12.2017

Dybde,  $z$  (m):

11,30

Borpunkt nr.:

574-40

Forsøknr.:

2

Tegnet av:

vt/kjt

Kontrollert:

ALM

Oppdrag nr.:

10200523

Tegning nr.:

RIG-TEG-574-401.2

Prosedyre:

CRS

Godkjent:

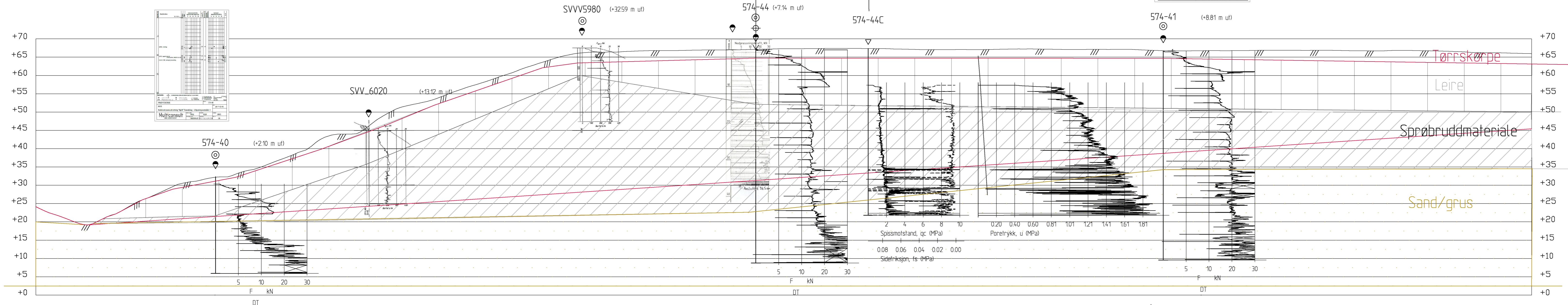
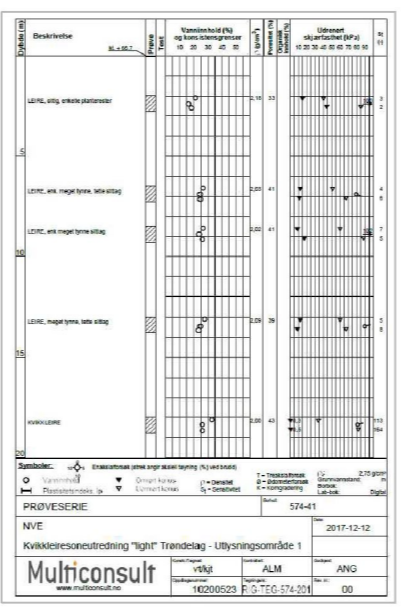
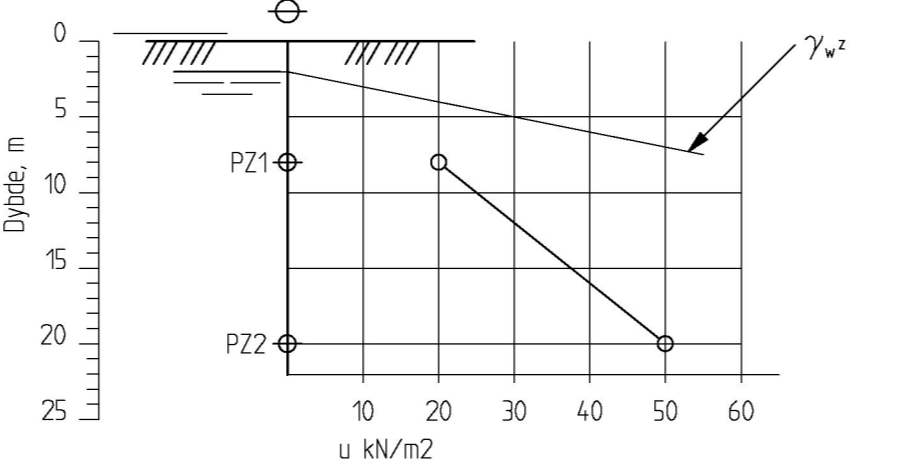
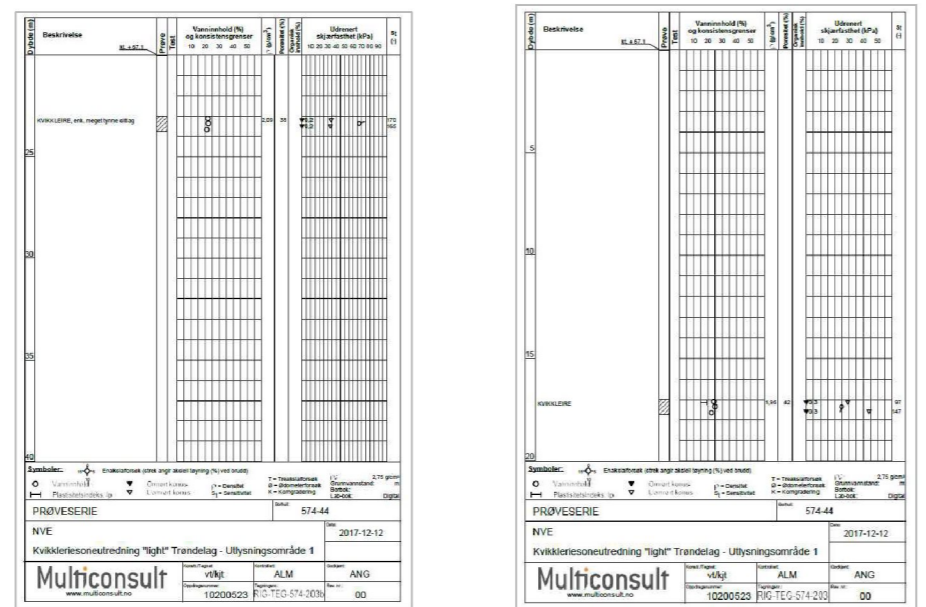
ANG

Programrevisjon:

24.06.2016

# Vedlegg C

## TOLKNING AV LAGDELING



- FORKLARINGER:**
- Dreiesonering
  - Enkel sonering
  - ▽ Trykksonering
  - ⊖ Boring avsluttet
  - ⊖ Antall fjell, berg
  - ⊖ Fjellkontrollboring
  - ⊖ Dreietrykksonering
  - ⊖ Totalsonering
  - ⊖ Prøveserie
  - ⊖ Prøvegrop
  - ⊖ Vingeboring
  - ⊖ Poretrykksmåling
  - ⊖ Fjell i dagen
  - ⊖ Antall stein, blokk eller fast grunn
  - ⊖ Boret i fjell

1:15-linje

Profil U-U  
1 : 500

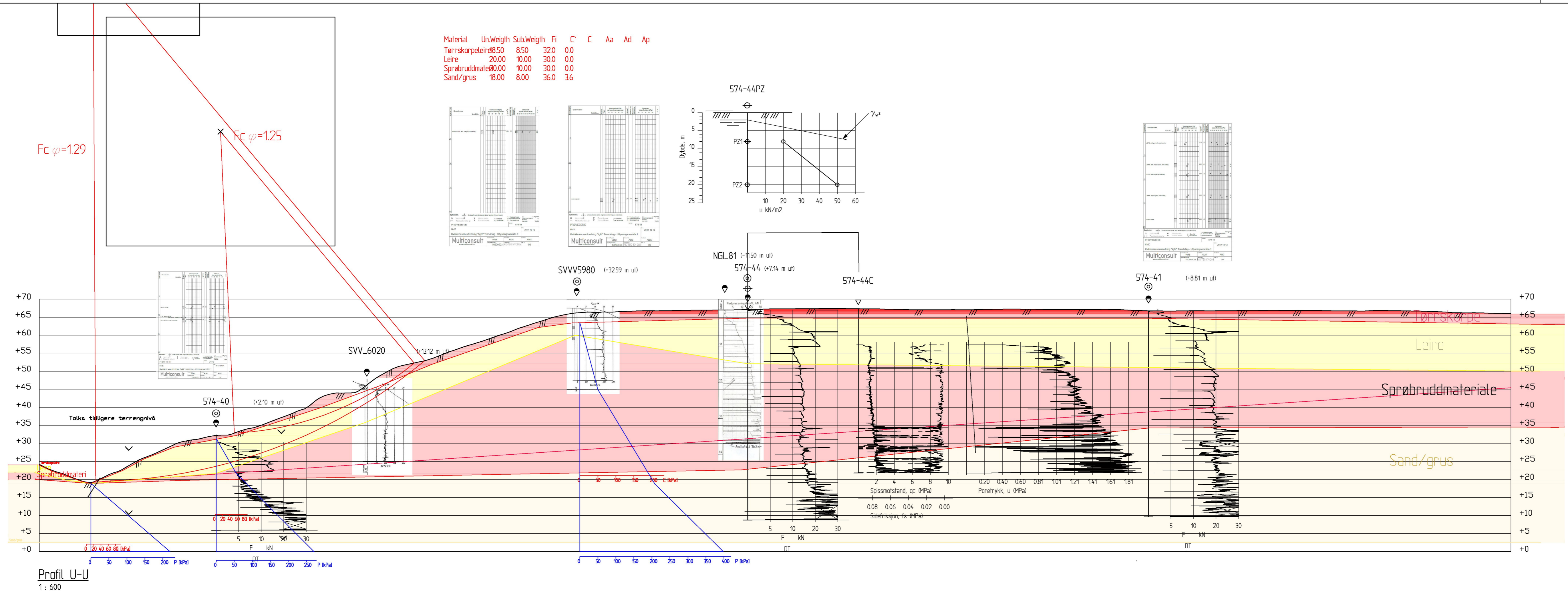
00	Lagdelling	2018-05-14	KME	EKW	RMo
Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn	Kontr	Godkj
Norges vassdrags- og energidirektorat		Status			
Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag		Original format			
Sone 574 Fåren		A-3.0			
Profil U		Tegnings filnavn			
Lagdelling		Profil U_Lagdelling.dwg			
		Målestokk			
		1500			
		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	Konstr./Tegnet	Kontr./E	Godkjent
		2018-05-14	KME	EKW	RMo
		Dokumentnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20170367	800		00

# Vedlegg D

## STABILITETSBEREGNINGER

Tegning 801	Drenert analyse
Tegning 802	Udrenert analyse
Tegning 803	Udrenert analyse – Oppjusterte su-profiler pga. $F < 1,0$
Tegning 804	Udrenert analyse – Med sikringstiltak





Profil U-U  
1 : 600

Fcf=125  
Resulti file : g:\geoarkiv\20170367\stabgraf.nit\574 fåren snitt u - effektiv.R4

Fcf=129  
Resulti file : g:\geoarkiv\20170367\stabgraf.nit\574 fåren snitt u - effektiv.R7

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

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

1:15-linje

00	Udrenert analyse (totalspenningsanalyse)	2018-06-21	KME	EKW	RMo
Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
<b>Norges vassdrags- og energidirektorat</b> <b>Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag</b>					
Sone 574 Fåren Profil U Drenert analyse (Effektivspenningsanalyse)					Original format A_3.0 Tegningens filnavn Profil U_574 fåren snitt - til rapport.dwg Målestokk <b>1:600</b>
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 2018-06-21 Oppdragsnr. <b>20170367</b>	Konstr./Tegnet KME Tegningsnr. <b>801</b>	Kontrollert EKW	Godkjent RMo Rev. <b>00</b>

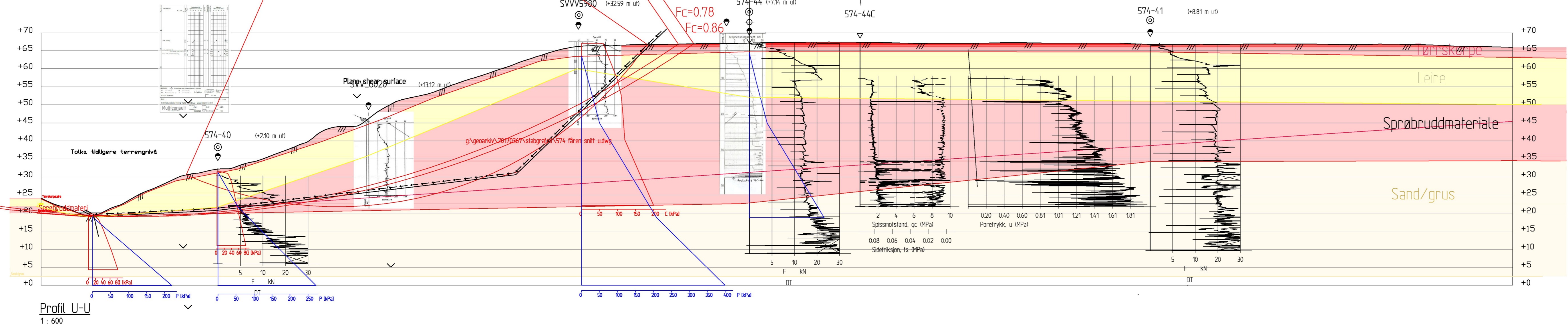
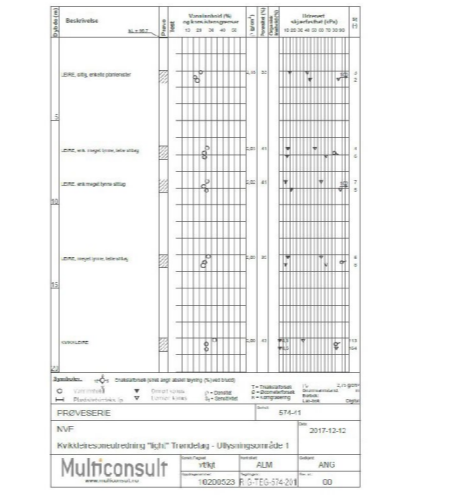
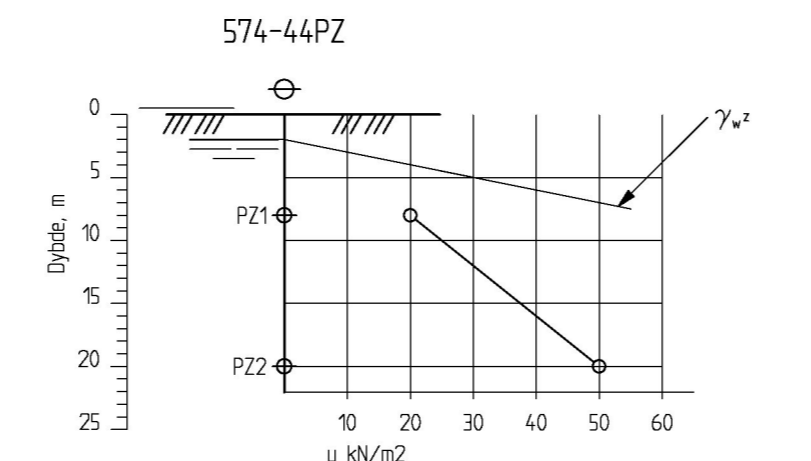
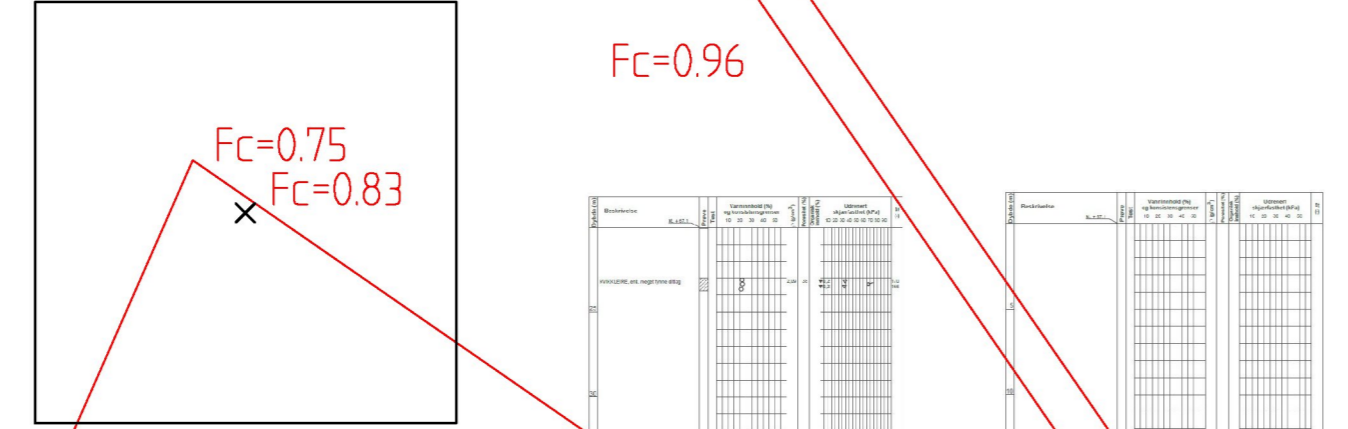
Fc=0.83 / 0.86 / 1.05  
Ikke redusert Su aktiv

Material	Un	Weight	Sub.Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørskorpeleire	8.50	8.50	32.0	0.0					
Leire	20.00	10.00			C-prof	1.00	0.63	0.35	
Sprøbruddmaterie	80.00	10.00			C-prof	1.00	0.63	0.35	
Sand/grus	18.00	8.00	36.0	36					

Fc=0.75 / 0.78 / 0.96  
Redusert Su aktiv

Material	Un	Weight	Sub.Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørskorpeleire	8.50	8.50	32.0	0.0					
Leire	20.00	10.00			C-prof	1.00	0.63	0.35	
Sprøbruddmaterie	80.00	10.00			C-prof	0.85	0.63	0.35	
Sand/grus	18.00	8.00	36.0	36					

Search area (tangent)



Profil U-U  
1 : 600

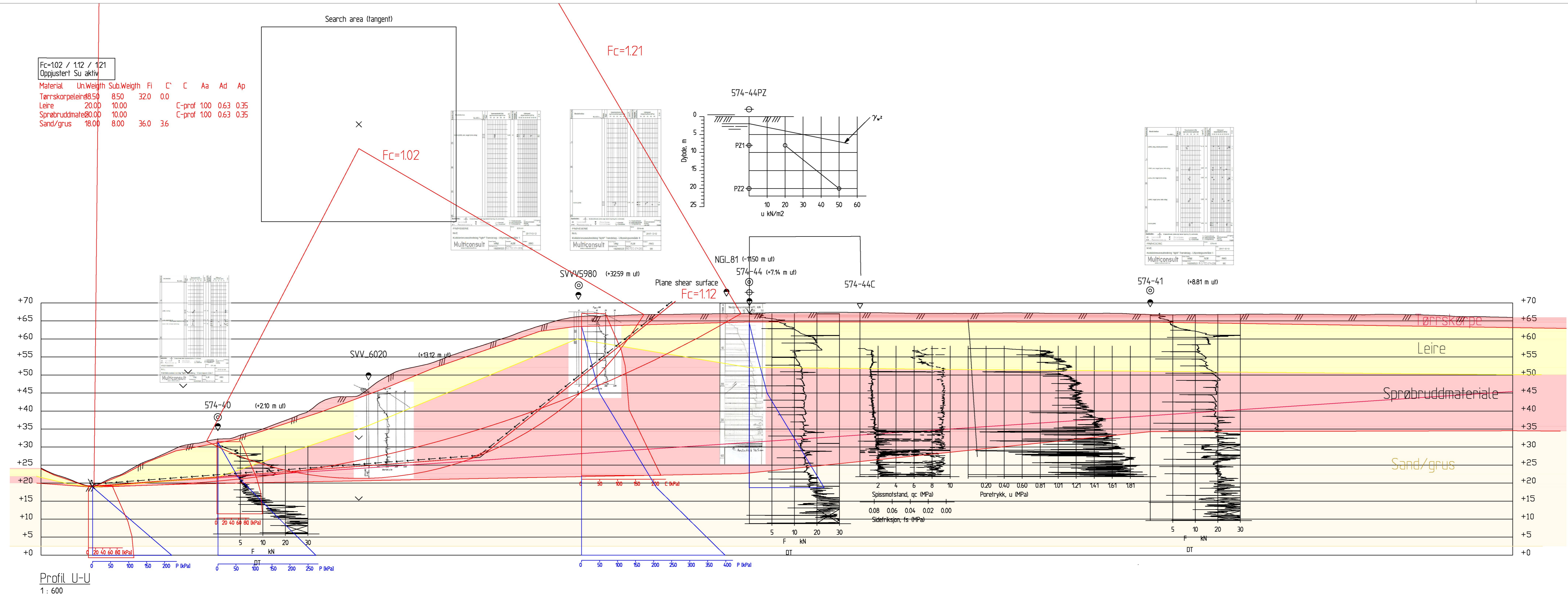
- FORKLARINGER:**
- Dreiesonering
  - Enkel sonering
  - ▽ Trykksonering
  - ⊛ Fjellkontrollboring
  - ⊖ Dreietrykksonering
  - ⊕ Totalsonering
  - ⊙ Prøveserie
  - Prøvegrop
  - + Vingeboring
  - ⊖ Poretrykksmåling
  - ⊗ Fjell i dagen

- ┆ Boring avsluttet
- ┆ Antall fjell, berg
- ┆ Antall stein, blokk eller fast grunn
- ┆ Boret i fjell

1:15-linje

00	Udrenert analyse (totalspenningsanalyse)	2018-06-21	KME	EKW	RMo
Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn	Kontr	Godkj
Norges vassdrags- og energidirektorat		Status			
Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag		Original format			
Sone 574 Fåren		A-3.0			
Profil U		Tegnings filnavn			
Udrenert analyse (Totalspenningsanalyse)		Profil U_574_fåren_snitt_til_rapport.dwg			
1600		Målestokk			
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	Kontr./Kontrollert	Godkjent
20170367		2018-06-21	KME	EKW	RMo
802		Dokumentnr.	Tegningsnr.	Rev.	
00					

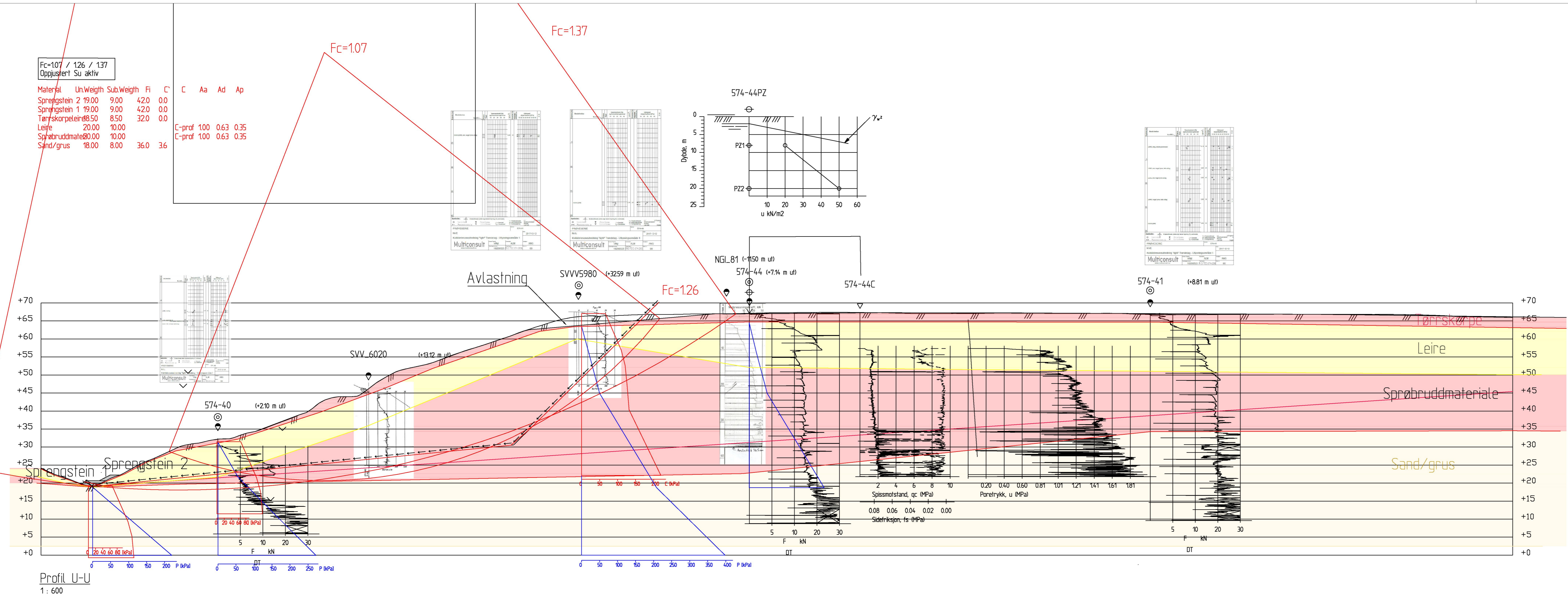
Fc=1.02 / 1.12 / 1.21		Oppjustert Su aktiv	
Material	Un	Weight	Sub.Weight
Tørnskorpeleire	8.50	8.50	32.0
Leire	20.00	10.00	0.0
Sprøbruddmateriale	80.00	10.00	0.0
Sand/grus	18.00	8.00	36.0
C	Aa	Ad	Ap
C-prof 1.00	0.63	0.35	
C-prof 1.00	0.63	0.35	



- FORKLARINGER:
- Dreiesonering
  - Enkel sonering
  - ▽ Trykksonering
  - ⊗ Fjellkontrollboring
  - ⊖ Dreietrykksonering
  - ⊕ Totalsonering
  - ⊙ Prøveserie
  - Prøvegrop
  - + Vingeboring
  - ⊖ Poretrykksmåling
  - ⊗ Fjell i dagen
- | Boring avsluttet  
 | Antall fjell, berg  
 xxx
- | Antall stein, blokk eller fast grunn  
 | Boret i fjell  
 xxx
- 1:15-linje

00	Udrenert analyse (totalspenningsanalyse) med oppjusterte su-profiler	2018-08-21	KKS	EKW	RMo
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Norges vassdrags- og energidirektorat		Original format		A-3.0	
Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag		Tegningens filnavn		574_FÅREN_SMITT_U_tegning_803.dwg	
Sone 574 Fåren		Målestokk		1:600	
Profil U		NGI			
Udrenert analyse (Totalspenningsanalyse)		Dato		2018-08-21	
Oppjusterte su-profiler pga Fc < 1,0		Oppdragsnr.		20170367	
		Konstr./Tegnet		KKS	
		Kontrollert		EKW	
		Godkjent		RMo	
		Rev.		00	
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					

Fc=1.07 / 1.26 / 1.37		Oppjustert Su aktiv						
Material	Un.Weight	Sub.Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Sprengstein 2	19.00	9.00	420	0.0				
Sprengstein 1	19.00	9.00	420	0.0				
Tørskorpeleire	8.50	8.50	320	0.0				
Leire	20.00	10.00			C-prof 100	0.63	0.35	
Sprøbruddmateriale	8.00	10.00			C-prof 100	0.63	0.35	
Sand/grus	18.00	8.00	360	3.6				



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

- | Boring avsluttet
- | Antall fjell, berg
- xxx
- | Antall stein, blokk eller fast grunn
- | Boret i fjell
- 1:15-linje

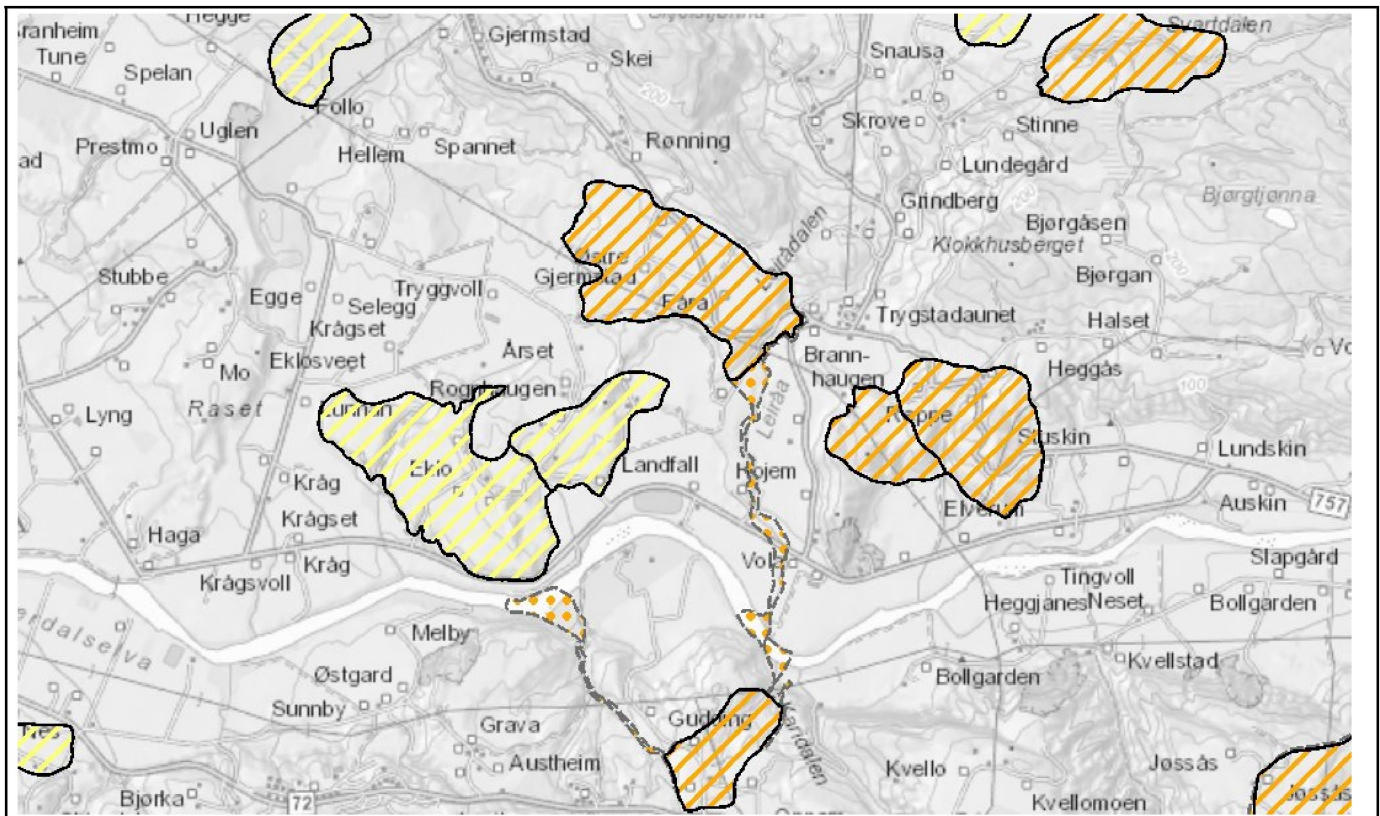
00	Udrenert analyse (totalspenningsanalyse) med sikrings tiltak	2018-08-21	KKs	EKW	RMo
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Norges vassdrags- og energidirektorat		Original format			
Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag		A-3.0			
Sone 574 Fåren		Tegningens filnavn	574_FÅREN_SMITT_U_tegning_804.dwg		
Profil U		Målestokk	1:600		
Udrenert analyse (Totalspenningsanalyse)					
Med sikrings tiltak					
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	Kontr./KKS	Godkjent
		2018-08-21	KKs	EKW	RMo
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20170367	804	00	

# Vedlegg E

FAKTAARK

## Kvikkleiresone 574: Fåren - Kommune: Verdal

Faregradklasse	Middels
Konsekvensklasse	Alvorlig
Risikoklasse	3
Grunnforhold	Kvikkleire påvist, sikkerhetsfaktor < 1,4
Sonestatus	Supplerende undersøkelser/stabilitetsberegning
Opprettet	15.1.2004
Sist oppdatert	16.8.2018
Sist oppdatert av	STIFTELSEN NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT



### Bemerkninger

I forbindelse med NVE prosjekt "kvikkleiresoneutredning light Trøndelag" er det utført innledende vurderinger, befaring, grunnundersøkelser og stabilitetsvurdering i sone 574 Fåren i 2017 og 2018. Faktaark er oppdatert, og utløpsområde er skissert. På grunnlag av NGIs befaring 13.07.2017 er erosjonsscore for sonen endret fra "aktiv" til "noe". Dette har ført til en endring av faregrad fra "høy" til "middels". Sonen har ikke blitt kvalitetssikret.

### Referanser

86041-1 og 2, NVE klassifisering av kvikkleire

Norges Geotekniske Institutt 20170367-08-R Beregningsgrunnlag og stabilitetsberegninger

**Referanser**

datert 21.6.2018

Multiconsult 10200523-RIG-RAP-003 rev00 Datarapport geotekniske grunnundersøkelser - Verdal datert 2.2.2018

Norges Geotekniske Institutt 20170367-06-R Delleveranse 3 Kvikkleiresoneutredning light Trøndelag Verdal kommune Rev 01 datert 23.5.2018

**Fareberegning**

Faktor	Beskrivelse	Faregrad	Score	Vekt	Poeng
Skredaktivitet	Sonen grenser til Verdalsraset	Høy	3	1	3
Skråningshøyde i meter	Svært høy skråning mot øst. Fra elva Leiråa og opp på platået er det ca. 48 m høydeforskjell.	>30	3	2	6
Forkonsolidering pga terrengsenkning	Utførte trykksonderinger indikerer et tidligere terrengnivå på ca. 20 meter over dagens terreng i skråning mot sørøst. Det er tolket at materialet er overkonsolidert i toppen og at det nærmer seg normalkonsolidert med dybden.	1,0-1,2	3	2	6
Poretrykk	Det er installert poretrykksmålere i borpunkt 574-44 som ligger på skråningstopp sørøst i sonen. Poretrykksmålerene er installert i dybde 8m og 20m, og poretrykksavlesningene er på hhv. 20 kPa og 50 kPa som viser at det er undertrykk i punktet.	-(0-20)	-1	3	-3
Kvikkleiremektighet	Fra 8 m dybde til sonderingsslutt på 20 m nederst i profilet. Lengre oppe i skråningen og på platået indikerer sonderinger sprøbruddmateriale varierende fra ca. 7 til 15 m dybde. Tykkelsen på sprøbruddmatr. laget reduseres nedover i skråningen.	>H/2	3	2	6
Sensitivitet	Fra lab.	>100	3	1	3
Erosjon	Det er 3 bekker, bekk mot øst har utløst flere utglidninger. Det pågår noe erosjon i Leiråa, spesielt i yttersvingene	Noe	2	3	6

Fareberegning					
	(befaring NGI 13.07.2017). I de andre to bekkene ble det registrert noe erosjon av NVE i 2003 (ikke befart i 2017).				
Inngrep	En bekk er lukket inne og på sørsiden av sonen. Fra befaring 13.07.2017 ble det registrert at elven Leirå er delvis plastret sør i kvikkleiresonen.	Liten forbedring	-1	3	-3
Total poengsum					24
Prosent av maks					47.06
Sist oppdatert	14.8.2018				

Konsekvensberegning					
Faktor	Beskrivelse	Konsekvens	Score	Vekt	Poeng
Boligheter	1 bolighus og 3 gårdsbruk.	Spredt ≤ 5	1	4	4
Næringsbygg	1 næringsbygg	<10	1	3	3
Annen bebyggelse	Ingen.	Ingen	0	1	0
Veier	FV164 Leirådalsvegen. ÅDT: 270 (2017). NVDB - <a href="http://www.vegvesen.no/vegkart">www.vegvesen.no/vegkart</a>	100-1000	1	2	2
Toglinje	Ingen.	Ingen	0	2	0
Kraftnett	Antatt distribusjonsnett.	Distribusjon	1	1	1
Oppdemning	Et potensielt skred sørøst i sonen vil ha utløp i bekken Leiråa. Det ligger flere gårder langs Leiråa som ligger høyere i terreng, blir sannsynligvis ikke påvirket. Oppdemning kan dog føre til flom og ev. brist, og hus kan ligge utsatt til.	Middels	2	2	4
Total poengsum					14
Prosent av maks					31.11
Sist oppdatert	6.8.2018				



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Delleveranse 4 – Beregningsforutsetninger og stabilitetsberegninger		<b>Dokumentnr./Document no.</b> 20170367-08-R
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport / Report	<b>Oppdragsgiver/Client</b> Norges vassdrag- og energidirektorat	<b>Dato/Date</b> 2018-06-21
<b>Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract</b> Oppdragsgiver / Client		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.no.&amp;date</b> 1 / 2018-08-21
<b>Distribusjon/Distribution</b> FRI: Kan distribueres av Dokumentsenteret ved henvendelser / FREE: Can be distributed by the Document Centre on request		
<b>Emneord/Keywords</b> CPTU, Ødometerforsøk, kvikkleiresoner		

<b>Stedfesting/Geographical information</b>	
<b>Land, fylke/Country</b> Norge, Trøndelag	<b>Havområde/Offshore area</b>
<b>Kommune/Municipality</b> Verdal	<b>Feltnavn/Field name</b>
<b>Sted/Location</b> Verdal	<b>Sted/Location</b>
<b>Kartblad/Map</b>	<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> Sone: Øst: Nord:	<b>Koordinater/Coordinates</b> Projeksjon, datum: Øst: Nord:

<b>Dokumentkontroll/Document control</b> Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
<b>Rev/Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egenkontroll av/ Self review by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by:</b>	<b>Uavhengig kontroll av/ Independent review by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by:</b>
0	Originaldokument	2018-06-19 Kristina Molland Edvardsen	2018-06-19 Ellen Katrine Wensaas Lied		
1	Etter uavhengig kontroll Multiconsult Stabilitetsberegninger med sikringstiltak	2018-08-15 Katharina Kahrs	2018-08-15 Ellen Katrine Wensaas Lied		

<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 21. august 2018	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> Ragnar Moholdt
--	-------------------------------------	--

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 datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

[www.ngi.no](http://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 laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

