

# Rapport

Oppdragsgiver: **NVE Region Midt-Norge**

Oppdrag: **Kartlegging av kvikkleiresone  
459 Lund, Melhus**

Emne: **Beregnings- og vurderingsrapport  
Utredning av kvikkleiresone**

Dato: **13. mars 2009**

Rev. - Dato: **21. desember 2009**

Oppdrag- / Rapportnr.: **4 132 11 – 3**

Oppdragsleder: **Olav Årbogen**

Sign.: 

Saksbehandlere: **Rolf Sandven, Erik Tørum**

Sign.: 

Kontaktperson hos Oppdragsgiver: **Mads Johnsen**

## Sammendrag:

I forbindelse med program for økt sikkerhet mot leirskred har Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) region Midt-Norge tildelt Multiconsult utredning av kvikkleiresone 459 på Lund i Melhus kommune. Denne rapporten inneholder en detaljvurdering av sonen og presenterer stabilitetsberegninger og aktuelle tiltak.

Kvikkleiresonen ligger delvis i en sørvendt terrengskråning, delvis på flatt område, ca 1 km nord for Lundamo sentrum. I det alt vesentlige består området av dyrket mark og gårdstun, med noe krattskog langs områdets søndre begrensning ned mot Lundesokna. I øst er det tildels bratte fjellskråninger ned mot området, mens terrenget i sør nede ved elva er småkupert, spesielt i områdets vestre del.

Grunnundersøkelsene er rapportert separat i Multiconsult rapport 413211-1. Det er i vesentlig grad påvist kvikk/sensitiv leire innenfor sonen. I vest og sørøst tilrås sonen utvidet noe i og med at det er påvist kvikkleire noe utenfor den opprinnelige sonen. Våre anbefalinger til revidert status på denne sonen er:

- ✓ Faregrad: Middels (tidligere middels)
- ✓ Konsekvens: Meget alvorlig (tidligere alvorlig)
- ✓ Risiko: Klasse 4 (tidligere klasse 4)

Det er utført stabilitetsberegninger i to profiler med både ADP- og effektivspenningsanalyse. Det er beregnet minimum sikkerhetsfaktor tilnærmet  $F_s = 1,2$  for skjærflater som går ned i (mulig) kvikkleire. Denne sikkerheten betraktes som tilstrekkelig for dagens tilstand der det ikke skal gjøres inngrep. Det er imidlertid påvist labil sikkerhet mot overflateglidning ved yttersving av Lundesokna vest i sonen.

Det tilrås at det gjøres tiltak for å bedre sikkerheten mot overflateglidninger for denne yttersvingen av elva. Plastringen bør føres opp til toppen av skråningen for å redusere faren for overflateglidninger. Eventuelt kan det slakes ut, men dette vil kreve noe av arealet for dyrket mark. Detaljutforming av tiltak forutsettes utført i samarbeid mellom NVE og rådgiver geoteknikk. Dette bør fortrinnsvis bestemmes basert på en befaring.

1	21.12.2009	Utsendt med implementerte kommentarer fra 3. partskontroll
0	13.03.2009	Utsendt for 3. partskontroll
<b>Utg.</b>	<b>Dato</b>	<b>Tekst</b>

## Innholdsfortegnelse

1.	Innledning .....	4
2.	Utførte grunnundersøkelser .....	5
2.1	Generelt .....	5
2.2	Vurdering av prøve kvalitet .....	6
2.2.1	CPTU .....	6
2.2.2	Treaksialforsøk .....	6
3.	Terreng og grunnforhold .....	7
3.1	Generelt .....	7
3.2	Området øst for E6 .....	7
3.2.1	Terreng .....	7
3.2.2	Grunnforhold .....	7
3.3	Området vest for E6 .....	8
3.3.1	Terreng .....	8
3.3.2	Grunnforhold .....	8
4.	Vurdering av kvikkleireforekomst og klassifisering av sonene .....	8
4.1	Utbredelse av kvikkleire .....	8
4.2	Tiltaksklasse og krav til stabilitet og kontroll .....	9
4.3	Skadekonsekvens evaluering .....	9
4.4	Faregradsevaluering .....	10
4.5	Risikoklasse .....	12
4.6	Nytt forslag til soneinndeling og klassifisering .....	13
5.	Stabilitetsberegninger .....	14
5.1.1	Vurdering av stabilitetskritiske profiler .....	14
5.1.2	Styrkeparametere og beregningsmetodikk .....	14
5.1.3	Beregningsresultater og vurderinger .....	16
6.	Behov for tiltak .....	17
7.	Sluttkommentar .....	18
8.	Referanser .....	18

## Tegninger

413211-0:	Oversiktskart
-1a:	Borplan med forslag til ny soneinndeling
-40.1 til -40.3:	Tolkning av CPTU, borpunkt 1
-43.1 til -43.3:	Tolkning av CPTU, borpunkt 5
-46.1 til -46.3:	Tolkning av CPTU, borpunkt 6
-78 :	CAUc treksialforsøk, PR2 54 mm, borpunkt 5, dybde 10,65 m
-79:	CAUc treksialforsøk, PR2 54 mm, borpunkt 5, dybde 16,55 m
-80:	CAUc treksialforsøk, PR2 76 mm, borpunkt 5, dybde 10,65 m
-81:	CAUc treksialforsøk, PR2 76 mm, borpunkt 5, dybde 16,55 m
-82:	Samleplott CAUc treksialforsøk
-90:	Poretrykksmålinger og tolket u-profil
-102:	Profil A GeoSuite – ADP (uten tiltak)
-103:	Profil A GeoSuite – drenert (uten tiltak)
-104:	Profil B GeoSuite – ADP (uten tiltak)
-105:	Profil B GeoSuite – drenert (uten tiltak)

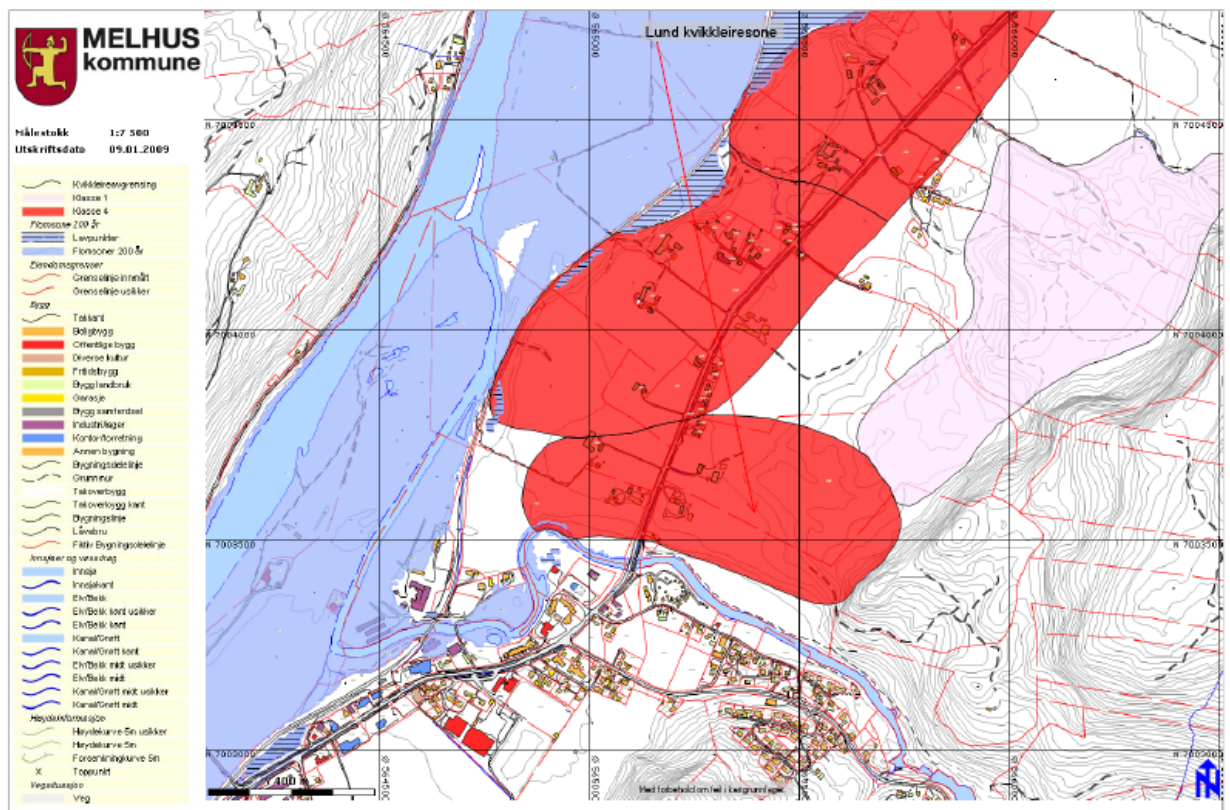
## 1. Innledning

I forbindelse med program for økt sikkerhet mot leirskred har Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) region Midt-Norge tildelt Multiconsult utredning av kvikkleiresone 459 på Lund i Melhus kommune, se oversiktskart 413211-0. Arbeidet er i fase 3 av dette programmet, der det skal utføres supplerende grunnundersøkelser og foreslås eventuelle stabilitetsforbedrende tiltak. Det er i den forbindelse utført grunnundersøkelser for å oppnå sikrere bestemmelse av kvikkleirens utbredelse, gi input til stabilitetsberegninger og dermed revurdere sonens faregrad og risiko. Det inngår også i oppdraget å foreslå eventuelle tiltak for å bedre stabiliteten i sonen, først og fremst i og langs vassdrag. Figur 1-1 viser en oversiktsskisse over sonen (lengst sør) slik den er trukket før dette arbeidet startet.

Det aktuelle området ligger delvis i en sørvendt terrengkråning, delvis på flatt område, ca 1 km nord for Lundamo sentrum. I det alt vesentlige består området av dyrket mark og gårdstun, med noe krattskog langs områdets søndre begrensnings ned mot Lundesokna.

Det er tidligere utført spredte grunnundersøkelser i området i forbindelse med nasjonal kvikkleirekartlegging, samt for veger og jernbane nær det aktuelle området (NGI, Statens Vegvesen, NSB).

På bakgrunn av undersøkelsene er det gitt en kortfattet beskrivelse av grunnforholdene med antatt kvikkleireutbredelse, som grunnlag for stabilitetsvurderinger og revisjon av faresonen.



Figur 1-1 Kvikkleiresone Lund ([www.melhus.kommune.no](http://www.melhus.kommune.no)).

Sonen er opprinnelig klassifisert med faregrad **Middels** i henhold til NGI's faresonekart. Kvikkleiresonen hadde før dette arbeidet startet status som vist i Tabell 1-1.

Tabell 1-1 Status kvikkleiresone før supplerende undersøkelser.

	Lund (459)
Faregradsklasse	Middels
Konsekvensklasse	Alvorlig
Risikoklasse	4

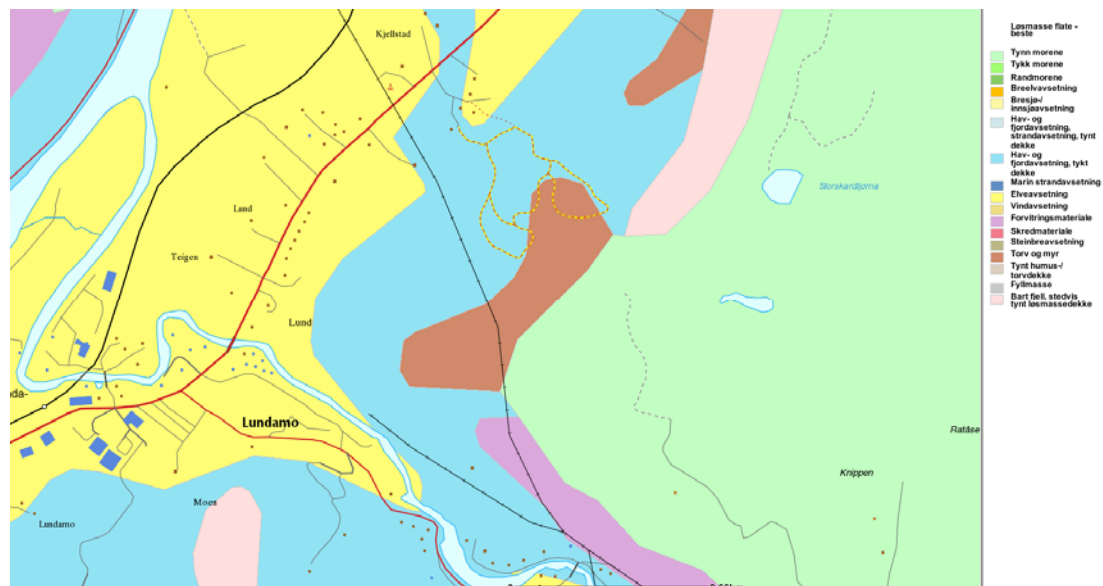
## 2. Utførte grunnundersøkelser

### 2.1 Generelt

Nye undersøkelsepunkter er plassert med bakgrunn i grunnundersøkelsens overordnede siktemål, som er en sikrere bestemmelse av kvikkleirens utbredelse og egenskaper. Feltarbeidet ble utført i uke 49-52 2008, og det er utført dreietrykksonderinger, prøvetakinger, CPTU og poretrykksmålninger. I forhold til opprinnelige planer er undersøkelsesområdet utvidet noe mot vest og sør da innledende dreietrykksonderinger indikerte kvikkleireforekomster utenfor faregradssonen. Det utvidede programmet gir et godt grunnlag for vurdering av kvikkleirens utstrekning ned mot jernbanen i vest, samtidig som resultatene kan benyttes ved kartlegging av tilgrensende faresone i nord.

Det er også utført et forskningsprosjekt i regi av Multiconsult på effekten av 76 mm kontra tradisjonell 54 mm stempelprøvetaking. Undersøkelsen indikerer bare små forskjeller mellom de to prøvediameterne ved de foreliggende grunnforholdene. Resultatene av treaksialforsøk utført på 76 mm prøver er inkludert i vurderingene i denne rapporten.

Figur 2-1 og Figur 2-2 viser henholdsvis kvartærgeologisk løsmassekart og saltvannsavsetninger. Disse må oppfattes som orienterende.



Figur 2-1 Kvartærgeologisk løsmassekart ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).



Figur 2-2 Saltvannsavsetninger ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

For en detaljert beskrivelse av grunnundersøkelsene henvises det til Multiconsult rapport nr. 413211-1 /2/.

## 2.2 Vurdering av prøve kvalitet

### 2.2.1 CPTU

Kvalitetsklasser for CPTU er vurdert etter NGF Melding 5 /13/ og forslag til internasjonal standard EN-ISO 22476-1, som ennå ikke er formelt godkjent som standard i Norge. Kvaliteten er vurdert etter viktige forhold som måleområde, registrerte nullpunktsavvik, måleintervall, helning av stangsystemet og vurdering av poretrykksrespons. Det tilføyes for øvrig at NGF 5 vil bli revidert i forhold til ny EN-ISO 22476-1 og at de krav som i dag stilles til målnøyaktighet vil bli tilpasset den nye standarden.

I undersøkelsen er det benyttet en sonde med 5 tonn lastkapasitet og 2500 kPa poretrykksmåler. Nullpunktsavvik før/etter sondering tilfredsstillende (< 5 % avvik) for alle profiler og enkeltmålinger, bortsett fra poretrykksmåling i CPTU1. Poretrykksresponsen er meget god for profil CPTU 1 og CPTU 5, mens utsuging av metningsmediet i grove lag gir manglende poretrykksrespons for dybdeintervallet 0-11 m i CPTU 6. Helningsavviket er lavere enn 10° i alle profiler. CPTU 6 vurderes i Kvalitetsklasse 3 (Lav) pga manglende poretrykksmetning i deler av profilet, CPTU 1 vurderes i Kvalitetsklasse 2 pga noe høyt nullpunktsavvik i poretrykksmålingen, mens CPTU 5 tillegges mest vekt som klassifisert i Kvalitetsklasse 1.

### 2.2.2 Treksialforsøk

Treksialforsøkene er kvalitetsmessig vurdert etter volumtøyning i konsolideringsfasen, basert på et grunnlag utarbeidet av Andresen & Kolstad (1979) /14/. I tillegg er kvaliteten vurdert fra oppnådd bruddtøyning i mobiliseringskurven. Klassifiseringen er begrenset til 3 kvalitetsklasser (Perfekt, Akseptabel og Forstyrret). Klassifiseringsgrunnlaget er basert på dybdeintervallet 0-10 m og OCR = 1 - 8 og er således ikke fullt ut tilpasset de forsøk som er utført i dette oppdraget. Vanligvis vil volumtøyningen øke for dypere prøver, under ellers like forhold. Klassifiseringen er i samsvar med NGF 11, men ikke i tråd med Eurokode 7 del 2, der det anvendes en inndeling i 5 kvalitetsklasser. Denne inndelingen er imidlertid ikke innført i Norge ennå.

Det ble utført forsøk både på 54 og 76 mm prøvediametre, uten at det ble funnet nevneverdige kvalitetsforskjeller på prøvene. De utførte treaksialforsøkene ligger klassifiseringsmessig mellom akseptabel og forstyrret prøve kvalitet, med de forbehold som er nevnt foran. Opptrедende bruddtøyning ligger mellom 2 og 4 %, noe som samsvarer bra med volumtøyningskriteriet. Forøvrig bemerkes at volumtøyning er angitt på alle plott fra treaksialforsøkene og kan benyttes for klassifisering av forsøkskvaliteten.

### 3. Terreng og grunnforhold

#### 3.1 Generelt

Kvikkleiresonen er omkranset av dyrket mark i nord og vest, mens den i øst strekker seg inn mot Litjberga (berg i dagen). I sør renner Lundesokna i tilnærmet øst-vestlig retning langs store deler av området, før den meandrerer sørvest for det aktuelle området. Jernbanen ligger i noe avstand fra sonen i vest, mens E6 deler sonen i retning nordøst-sørvest.

Området ligger delvis i en sørvendt terrengskråning, delvis på flatt område, ca 1 km nord for Lundamo sentrum. Kotenivået varierer mellom ca. kote +40 m.o.h. i vest og kote +75 m.o.h. mot Litjberga i øst. I nordre del av sonen ligger kotenivået på omtrent +50 m.o.h., mens elveleiet for Lundesokna i sør markerer laveste terrengnivå på ca. kote +30 m.o.h. Det ligger 4 gårdstun med hoved- og driftsbygninger og 3 bolighus med uthus/garasjer innenfor sonen.

#### 3.2 Området øst for E6

##### 3.2.1 Terreng

Dette delområdet utgjør ca. 70 % av sonens areal. I sør heller terrenget med helning ca. 1:5,5 ned mot et forholdsvis flatt område nede ved elva. Arealet er dyrket helt ned til elvekanten, der det går en traktorveg langs elveløpet. Langs og i elveløpet er det vasket frem/plastret en grov erosjonshud av stein og blokk. For øvrig består området av jordbruksland og er tilnærmet flatt eller med slake skråninger i sentrale deler, hellende oppover i østlig retning med gjennomsnittlig helning 1:7. I øst er det bratte, skogkledde fjellskråninger ned mot området, som lokalt går over i en skogbevokst terrengrygg som kiler seg ut på dyrket område.

I sørvest like øst for brua meandrerer Lundesokna i yttersving inn mot en skråning med helning 1:2,5. Elva er godt plastret med tykk erosjonshud av stein og blokk i dette området, uten synlige tegn på aktiv erosjon langs eller i elveløpet.

##### 3.2.2 Grunnforhold

Grunnundersøkelsene viser generelt at grunnen i boligområdene består av leire over kvikkleire i dybden. Det øverste leirlaget består av marin leire, stedvis under et ca. 1-5 m tykt lag med tørrskorpe/kulturmark.

Overgang til kvikkleire ligger generelt mellom ca. 8 og 15 m under terreng i store deler av området. Boringen i punkt 7 på topp av skråning nede ved elva viser ikke kvikkleire, og det kan antas at kvikkleiresonen kiler ut mot sør i denne del av området. Derimot viser boringen i punkt 10 lenger øst forekomst av antatt kvikkleire ned mot elva. Muligheten for at det kan være et sammenhengende kvikkleirelag fra elva og oppover skråningen mot nord (Profil A) er derfor til stede i østre del av dette området.

### 3.3 Området vest for E6

#### 3.3.1 Terreng

Området vest for E6 utgjør ca. 30 % av kvikkleiresonens areal og strekker seg i vest-sørvestlig retning ned mot Lundesokna. Nordre del av sonen er relativt flat, mens terrenget skråner med helning 1:7,5 ned mot elva i sør og i vest. Nede ved elva i sørvest danner terrenget et lite fremspring, med en bratt, skogkledd skråning med helning 1:2 ned mot elva. Lundesokna meandrerer i dette området og renner i yttersving inn mot skråningen. Elva er imidlertid godt plastret med tykk erosjonshud av stein og blokk i selve elveløpet. Vegetasjonen indikerer lokalt noe sig i skråningene med til dels veltede eller hellende trær.

#### 3.3.2 Grunnforhold

Grunnforholdene i dette området består av finkornige sedimenter med vekslende lag av silt, leire og kvikkleire. Topplaget består av tørrskorpe/kulturjord med ca. 2-5 m tykkelse over homogen leire. Overgangen til mulig kvikkleire/sensitiv leire ligger på ca. 5 – 7 m under terreng, med mektigheter av sensitivt lag mellom 5 – 10 m, se borpunktene 1 – 3. Det sensitive laget ligger altså noe grunnere og er generelt mindre mektig enn i området øst for E6.

Forøvrig består grunnen av marin leire med silt i lagene ned til ca. 30 m, se forøvrig profiler i tegning 413211-101 til -103 i datarapporten.

Ved fremspringet i sørvest nede ved elva er det i borpunkt 1 påvist kvikkleire fra dybde 8,0 – 13,0 m, og det ble derfor besluttet å gjennomføre et ekstra borpunkt (borpunkt 8) nede ved elva i dette området. Dreietrykksonderingen indikerer en mulig utstrekning av kvikkleirelaget her, men på grunn av praktiske forhold måtte borpunktet trekkes litt østover fra borpunkt 1. På grunn av høy vannstand i elva måtte også borpunktet trekkes litt opp i skråningen.

## 4. Vurdering av kvikkleireforekomst og klassifisering av sonene

### 4.1 Utbredelse av kvikkleire

Det er utført en samlet vurdering av alle tilgjengelige grunnundersøkelser i området. Det gjøres følgende oppsummering av tidligere grunnundersøkelser:

- ✓ NGI har i første del av kvikkleirekartleggingen utført en dreietrykksondering sentralt i sonen med antatt kvikkleire.
- ✓ Statens Vegvesen har utført grunnundersøkelser ved gangbru over Lundesokna (rapport Ud-351A, datert februar 1980) der det ikke er påvist sensitive masser.
- ✓ I forbindelse med prosjektering av bru for jernbane er det ikke påvist kvikkleire i noe avstand sørvest for sonen (NSB Dobbeltspor Støren-Trondheim, bru over Lundesokna, datert april 1945).

De supplerende undersøkelsene utført i denne omgangen begrenser kvikkleireforekomstene ytterligere. Tabell 4-1 viser dybdene til antatt/ påvist sensitive lag, som viser at det stort sett er påvist kvikk/ sensitiv leire innenfor sonen. Borpunkt 7 noe øst for brua til E6 indikerer imidlertid ikke-sensitive masser. I vest kan sonen trekkes noe lengre vestover i og med at det er påvist kvikkleire i borpunkt 2. Videre vestover er det utført to sonderinger, borpunkt 11 og 12, som avgrenser utbredelsen av kvikk/ sensitiv leire i denne retningen.



Tabell 4-1 Oversikt over kvikk/ sensitiv leire i sone 459, Lund Melhus.

Borpunkt	Dybde og kotenivå for antatt sensitiv leire/ kvikkleire	Antatt mektighet av sensitivt lag
[-]	[m/m.o.h.]	[m]
1	8,0-13,0 / 32,2-27,2	5
2	6,0-13,0 / 35,2-28,2	7
3	5,0-15,0 / 41,1-31,1	10
4	15,0-30,0 / 50,0-35,0	15
5	9,0-30,0 / 57,4-36,4	21
6	8,0-23,0 / 36,7-21,7	15
7	-	-
8	4,0 – 7,0 / 27,5-24,5	3
9	11,0-17,0 / 51,1-45,1	6
	22,0-30,0 / 40,1-30,1	8
10	10,0-15,0 / 24,1-19,1	5
11	-	-
12	-	-

Utbredelsen av kvikkleire i nordlig retning er ikke avgrenset. Dette forutsettes imidlertid avklart ved utredning av sone 458 Gjerdet, som også er klassifisert med risikoklasse 4. Inndelingen av sonen mot de tilstøtende sonene foreslås derfor trukket som tidligere.

#### 4.2 Tiltaksklasse og krav til stabilitet og kontroll

Iht. NVE-retningslinjene /1/ stilles det ulike krav til sikkerhetsmessig vurdering på reguleringsplannivå, avhengig av tiltaksklassen sonen faller innenfor. Kravet til sikkerhetsnivå, og eventuelt forbedring av dette, er avhengig av tre tiltaksklasser og tre faregradsklasser.

For denne revurderingen av kvikkleiresonen er det lagt vekt på å dokumentere utbredelsen av kvikkleire, samt vurdere stabiliteten i antatt kritiske profiler. Det er ikke tatt stilling til hvilken tiltaksklasse sonen havner innenfor ifm. krav til sikkerhetsmessige vurderinger på reguleringsplannivå /1/. Dette må vurderes særskilt for hver enkelt byggesak.

I arbeidet er det uansett ønskelig enten å dokumentere tilstrekkelig  $\gamma_m$  eller foreta en forbedring av stabiliteten i sonen, dersom det er lav sikkerhet mot kvikkleireskred. Kravet til prosentvis forbedring ved dokumenterte lave sikkerhetsfaktorer er ikke satt rigid i sonen, da det ikke er spesifikke byggeplaner som er vurdert her. Det vil imidlertid foretas vurderinger basert på praktiske og samfunnsøkonomiske forhold tilpasset sonen.

#### 4.3 Skadekonsekvensevaluering

Områdene er tidligere definert med skadekonsekvensklasse Alvorlig /3/. Det er nå utført en revidert skadekonsekvensvurdering iht. retningslinjer i NGI-rapport 20001008-2, rev. 2 datert 16.12.2002 ”Vurdering av risiko for skred. Metode for klassifisering av faresoner, kvikkleire” /4/.

Evalueringen er utført iht. klassifiseringskriterier som vist i Tabell 4-1. Den utregnede scoren for sonen er vist i Tabell 4-3. Soner med poengverdi mellom 7 til 22 havner tilsvarende skadekonsekvensklasse Alvorlig, mens poengverdi mellom 23 og gir klasse Meget alvorlig.

Basert på våre vurderinger er dermed sonen Lund oppjustert til skadekonsekvensklasse Meget Alvorlig.

Tabell 4-2 Grunnlag for evaluering av skadekonsekvensklasse, hentet fra /4/.

Faktorer	Vekttall	Konsekvens, score			
		3	2	1	0
Boligheter, antall	4	Tett > 5	Spredt > 5	Spredt < 5	Ingen
Næringsbygg, personer	3	> 50	10 - 50	< 10	Ingen
Annen bebyggelse, verdi	1	Stor	Betydelig	Begrenset	Ingen
Vei, ÅDT	2	> 5000	1001 - 5000	100 - 1000	< 100
Toglinje, baneprioritet	2	1 – 2	3 - 4	5	Ingen
Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
Oppdemming/flo	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
<b>Sum poeng</b>		<b>45</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
<b>% av maksimal poengsum</b>		<b>100 %</b>	<b>67 %</b>	<b>33 %</b>	<b>0 %</b>

Tabell 4-3 Evaluering av skadekonsekvensklasse sone 459 Lund, utført iht. /4/.

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Boligheter, antall	4	2	8	
Næringsbygg, personer	3	0	0	
Annen bebyggelse, verdi	1	0	0	
Vei, ÅDT	2	3	6	Maksimal ÅDT på 8400 for E6 iht nasjonal vegdatabank (hentet mars 2009).
Toglinje, baneprioritet	2	3	6	Toglinjen vurderes som utsatt for et eventuelt kvikkleireskred i den vestlige delen av sonen.
Kraftnett	1	1	1	Antatt at dette er distribusjonsnett.
Oppdemming/flo	2	3	6	Oppdemming/ flo i uløpet av Lundesokna kan medføre erosjon og dermed initialras som kan gripe bakover. En evt. oppdemming kan påvirke både bebyggelse på sørsiden, E6 og eventuelt jernbane nedstrøms.
<b>Poengverdi</b>			<b>27</b>	→ <b>Konsekvensklasse Alvorlig</b>

#### 4.4 Faregradsevaluering

Sonen er tidligere definert med faregrad Middels /3/. Det er utført en revidert faregradevaluering basert på de nye undersøkelsene utført høsten 2008. Faregradevalueringen er utført iht. retningslinjer i NGI-rapport 20001008-2, rev. 2 datert 16.12.2002 "Vurdering av risiko for skred. Metode for klassifisering av faresoner, kvikkleire" /4/.

Evalueringen er utført iht. klassifiseringskriterier som vist i Tabell 4-4. Den utregnede scoren for sonene er vist i Tabell 4-5. Det er tatt utgangspunkt i total høydeforskjell for hele sonen da en vurdering av stabilitetskritisk profil samlet sett (skråningshøyde + kvikkleiremektighet) vil gi lavere score enn hele sonen.

Tabell 4-4 Grunnlag for evaluering av faregrad, hentet fra /4/.

Faktorer	Vekt-tall	Faregrad, score				
		3	2	1	0	
Tidl. skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	
Skråningshøyde, meter	2	> 30	20 – 30	15 – 20	< 15	
Tidligere/ nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0 – 1,2	1,2 – 1,5	1,5 – 2,0	> 2,0	
Poretrykk	Overtrykk, kPa	+3	> + 30	10 – 30	0 – 10	Hydrostatisk
	Undertrykk, kPa	-3	> -50	- (20 – 50)	- (0 – 20)	
Kvikkleiremektighet	2	> H/2	H/2 – H/4	< H/4	Tynt lag	
Sensitivitet	1	> 100	30 - 100	20 – 30	< 20	
Erosjon	3	Aktiv/ glidning	Noe	Lite	Ingen	
Inngrep	Forverring	+3	Stor	Noe	Liten	Ingen
	Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
<b>Sum poeng</b>		<b>51</b>	<b>34</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	
<b>% av maksimal poengsum</b>		<b>100 %</b>	<b>67 %</b>	<b>33 %</b>	<b>0 %</b>	

Tabell 4-5 Faregradsevaluering av sone 459 Lund, utført iht. /4/.

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Tidl. skredaktivitet	1	1	1	Ingen tidligere skred er funnet i NGU's skredatabase.
Skråningshøyde	2	3	6	Total høydeforskjell i den opprinnelige sonen er ca. H=35 m. For stabilitetskritiske skråninger er høydeforskjellen imidlertid mindre.
OCR	2	0	0	Basert på tolking av utførte CPTU er overkonsolideringsgrad (OCR) i dybden > 2.
Poretrykk	3/3	0	0	Poretrykksmålinger viser noe undertrykk. Usikker størrelse, det er derfor benyttet hydrostatisk fordeling.
Kvikkleiremektighet	2	3	6	Mektighet av kvikkleireforekomsten er maksimalt registrert til 21 m, dvs. > H/2, der H=35 m
Sensitivitet	1	3	3	S <sub>t</sub> er målt opptil 395 i kvikkleira
Erosjon	3	2	6	Det er registrert noe erosjon i Lundesokna basert på befaring utført av NVE.
Inngrep	3/3	0	0	Noe erosjonssikring er utført. Det er tatt utgangspunkt i dagens situasjon. Ved større inngrep (tiltaksklasse K2-K4) kreves det dokumentert sikkerhet og evaluering for det aktuelle prosjektet.
<b>Poengverdi</b>			<b>22</b>	<b>Gir faregradsklasse "Middels"</b>

Soner med poengverdi mellom 0 og 17 havner i faregradsklasse lav, 18 – 25 i middels og 26 – 51 i høy. Basert på de nye vurderingene er dermed sone Lund fortsatt å betrakte med faregrad middels.

#### 4.5 Risikoklasse

Risiko er definert som sannsynlighet ganger konsekvens. For evaluering av kvikkleiresoner er det benyttet et risikobegrep som er lik skadekonsekvens ganger faregrad der tallverdien for risiko framkommer ved å multiplisere prosenttallet av skadekonsekvens med prosenttallet av faregrad /4/:

$$Risiko = \left[ \frac{Faregradsscore}{51} \cdot 100 \right] \cdot \left[ \frac{Skadekonsekvensscore}{45} \cdot 100 \right]$$

Tabell 4-6 viser tall som er beregnet for kvikkleiresonene.

Tabell 4-6 Beregning av Risikoklasse

	Faregradstall	Konsekvenstall	Risikotall	Risikoklasse
Lund (459)	22	27	2588	4

Basert på de nye vurderingene er dermed sone Lund fortsatt å betrakte som Risikoklasse 4.

#### 4.6 Nytt forslag til soneinndeling og klassifisering

På bakgrunn av de supplerende undersøkelsene tilrås det at soneutstrekningen endres noe. I og med at faresonene skal representere en realistisk maksimal utbredelse av et eventuelt skred, kan imidlertid masser som ikke er sensitive også inngå i et slikt skred. Forslag til ny utstrekning er vist på borplanen i tegning 413211-1a.

Som nevnt tidligere foreslås det å utvide sonen noe i vest. I tillegg tilrås det at sonen utvides ned til Lundesokna i sør-øst for å ta inn sensitive lag ned mot elveløpet. Sonebegrensningen er videre trukket langs Lundesokna fram til borpunkt 8. Forøvrig tilrås det at sonegeometrien opprettholdes. Det er vurdert som sannsynlig at det er sammenhengende kvikkleireforekomster mellom denne sonen og sonene 458 Gjerdet og 460 Kjelstad.

Våre oppsummerende anbefalinger til status på denne sonen er som følger:

- ✓ Faregrad: Middels
- ✓ Konsekvens: Alvorlig
- ✓ Risiko: Klasse 4

## 5. Stabilitetsberegninger

### 5.1.1 Vurdering av stabilitetskritiske profiler

For denne sonen er stabilitetskritisk område vurdert å være ett av to profiler ned mot Lundesøkna, Profil A eller B. Det er ikke boret i selve elveløpet, men basert på de utførte undersøkelsene er det sannsynlig at kvikkleirelaget ikke strekker seg helt ned til elva. Borpunkt 10 øst i sonen indikerer imidlertid at det kan være sensitive masser omtrent i nivå med elvebunnen.

Det er valgt å utføre beregninger både i profil A og B. Terrenget er tatt fra digitale kart med ekvidistanse 1 m.

### 5.1.2 Styrkeparametere og beregningsmetodikk

Valgte verdier for udrenert skjærstyrke er hovedsakelig tolket fra utførte CPTU-sonderinger, med støtte i treksialforsøk på uforstyrrede prøver. For drenert analyse er parametrene ( $a$ ,  $\phi$ ) tatt ut fra de utførte treksialforsøkene. Det er utført både drenerte og udrenerte stabilitetsberegninger med GeoSuite, som er basert på lamellemetodeprogrammet BEAST.

CPTU-sonderingene er tolket ved hjelp av egenutviklede tolkingsverktøy /6/, der udrenert skjærstyrke er tolket via empiriske korrelasjoner med laboratorieresultater fra blokkprøver (/7/ og /8/). Det er i hovedsak benyttet tolkning på poretrykksbasis, da det generelt er homogene forhold med finkornige masser. Det er tolket med hydrostatisk poretrykk, med antatt GV 2 m under terreng. Det er vedlagt tegninger som viser tolket  $s_u^A$ , tolket  $\sigma_c'$  og tolket OCR. Følgende korrelasjoner er benyttet:

$$\sigma_c' = \frac{q_n}{\alpha \cdot N_{kt}}, \text{ der } N_{kt} = 18.7 - 12.5 \cdot B_q \text{ og } \alpha = 0.25$$

og

$$\sigma_c' = \frac{\Delta u}{\alpha \cdot N_{\Delta u}}, \text{ der } N_{\Delta u} = 1.8 + 7.5 \cdot B_q \text{ og } \alpha = 0.25$$

For uttaket av karakteristisk profil er skjærstyrken redusert med 15 % ettersom skjærstyrken er basert på blokkprøvekorrelasjoner. Det tas på denne måten hensyn til opptredende sprøbruddsoppførsel og tidseffekter ved langsommere belastning enn i laboratoriet (kryp). Forholdstall for skjærstyrken (ADP-faktorer) i kvikkleire/ leire er basert på erfaringstall fra tidligere laboratorieforsøk på høykvalitets prøver, bl.a. presentert i /8/. For typiske magre kvikkleirer ( $I_p < 5\%$ ) som ofte finnes i Trøndelag er det tidligere dokumentert svært lave ADP-forhold. For beregninger presentert i denne rapporten er det derfor benyttet antatt konservative faktorer på  $s_u^P/s_u^A = 0,6$  og  $s_u^{DSS}/s_u^A = 0,3$ .

For  $a$ - $\phi$  beregningene er det lagt vekt på treksialforsøkene utført i dybde 10-11 m. Prøvene ved 16,5 m dybde er noe mer forstyrret og har dermed noe lavere styrkeparametere enn de grunnere prøvene, for eksempel iht. /12/. Tegning 413211-82 viser et samleplott av treksialforsøkene med tolkede styrkeparametre. Resultatene viser forskjellen i spenningsstier for forsøkene på 10-11 m og 16.5 m dybde.

#### 5.1.2.1 Profil A

For profil A er det utført CPTU-sonderinger i borpunkt 5 og 6. Det er videre tatt opp prøver og installert poretrykksmålere i to nivåer i borpunkt 5. Det er registrert poretrykk noe under

hydrostatisk ved avlesningstidspunktet. For den drenerte analysen er det likevel benyttet hydrostatisk poretrykkfordeling i dette punktet, noe som er på konservativ side.

I CPTU ved borhull 6 er det feil i registrert poretrykk, antagelig grunnet problemer med metning av filteret. Spissmotstandstolkningen viser imidlertid at det er omtrent samme overkonsolidering som ved CPTU 5 ca. 20 m høyere opp i skråningen. Dette indikerer at terrenget har vært skrånende med omtrentlig samme helning opprinnelig, men med overlaging. Det er derfor valgt å benytte konstant  $s_u^A$ -profil relativt til terrengnivået langs skråningen i ADP-analysen.

Det er benyttet et normaliseringsforhold basert på spenningshistorien for uttak av udrenert aktiv skjærstyrke, dvs. SHANSEP-prinsipp (Stress History and Normalized Soil Engineering Parameters). Det er benyttet normaliseringsforhold  $s_u^A/\sigma_{v0}' = 0,27$  med OCR beregnet fra  $\Delta p' = 350$  kPa og spenningssekspont  $m = 0,85$ . Normaliseringen (SHANSEP) er kun benyttet for å kunne ta ut  $s_u$ -profil som funksjon av terrengnivået. Ettersom det er tilnærmet lik overlaging ( $\Delta p'$  også omtalt som POP) i topp og bunn av skråningen er imidlertid ikke denne normaliseringsfunksjonen viktig, men har som konsekvens at isolinjene i modellen blir parallelle med terrenget. Normaliseringsforholdet er kun tatt ut for å tilpasse linjene til  $s_u$ -profilet (noe konservativt) fra CPTU.

Tabell 5-1 Lagdeling med styrkeparametere i profil A.

Lag	Materiale	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]	Friksjonsvinkel, $\varphi'$ [°]	Attraksjon, a [kPa]	Udrenert skjærstyrke, $s_u^A$ [kPa]	$s_u^{DSS}/s_u^A$ [-]	$s_u^P/s_u^A$ [-]
1	Tørskorpeleire	20,0	33,0	0	-	-	-
2	Leire/kvikkleire	20,0	27,9	10	Se tegning 43.3 og 46.3	0,6	0,3
3	Silt	20,0	33,0	0	-	-	-

#### 5.1.2.2 Profil B

Dreietrykksonderingen i borpunkt 1 indikerer at grunnen består av et lag med tørskorpeleire i toppen, ned til ca. 5 m under terreng. Videre i dybden er det også i dette punktet noe overkonsoliderte masser. Tolkning av  $s_u^A$  er vist på tegning 413211-40.3. Lengre ned i skråningen indikerer borpunkt 8 at det er noe mindre overdekning med tørskorpeleire. Tørskorpelaget er derfor modellert som avtagende ned langs skråningen. I ADP-analysen er det antatt samme  $s_u^A$ -profil relativt til terrengnivået, noe som er konservativt med iso-linjer parallelt til terrenget, se tegning 413211-104. Samme normaliseringsfunksjon som for profil A er benyttet. Det er tatt utgangspunkt i hydrostatisk poretrykkfordeling fra GV på 2 m under terreng.

Tabell 5-2 Lagdeling med styrkeparametere i profil B.

Lag	Materiale	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]	Friksjonsvinkel, $\varphi'$ [°]	Attraksjon, a [kPa]	Udrenert skjærstyrke, $s_u^A$ [kPa]	$s_u^{DSS}/s_u^A$ [-]	$s_u^P/s_u^A$ [-]
1	Tørskorpeleire	20,0	33,0	0	-	-	-
2	Leire/kvikkleire	20,0	27,9	10	Se tegning 40.3	0,6	0,3

### 5.1.3 Beregningsresultater og vurderinger

Som det framgår av Tabell 5-3 er minimum sikkerhetsfaktor for udrenert tilstand beregnet tilnærmet  $F_s = 1,3$  for begge profiler. Beregnet sikkerhetsfaktor på effektivspenningsbasis (drenert langtidstilstand) i profil A er større enn i ADP-analysen, mens den i profil B er relativt lik. Grunnen til dette er at skråningen er svært bratt slik at overflatenære glidninger er kritiske.

Tabell 5-3 Resultater fra stabilitetsberegninger - sikkerhetsfaktorer.

Profil	Drenert effektivspenningsanalyse	Udrenert – totalspennings-analyse ADP
Programvare	GeoSuite/ BEAST	GeoSuite/ BEAST
A	1,83	1,27
B (dype skjærflater)	1,21	1,30 (1,70 i sannsynlig kvikkleire)
B (overflateglidning)	≈ 1,0	-

Resultater fra GeoSuite er presentert på tegningene 413211-102 til -105.

For profil B er det lavere sikkerhet for ren overflateglidning enn for skjærflater som går ned i laget med leire/ kvikkleire. Beregnet sikkerhetsfaktor for overflateglidning er tilnærmet 1,0, dvs. at stabiliteten av overflaten er labil. Terrenget indikerer også at denne skråningen har noe sig, i og med at en del trær står veldig skjevt her. For å bedre denne overflatesikkerheten tilrås det derfor tiltak i form av plastring. Det er viktig å unngå begynnende overflateglidninger som følge av erosjon, selv om dette ikke nødvendigvis bedrer sikkerheten for dyptgående skjærflater.

Den relative forbedringen av sikkerheten for overflateglidning er ikke regnet på, da styrkeparametre og oppsprekking av tørrskorpe er vanskelig å kvantifisere.

Det understrekes at det ikke er gjort detaljerte vurderinger av en eventuell utbygging av sonen eller de analyserte profilene.



## 6. Behov for tiltak

Stabilitetsberegninger har vist at det er relativt god sikkerhet mot kvikkleireskred i sonen. Det er imidlertid tydelige tegn på overflateglidninger i yttersvingen til elva ved profil B. Dette er blant annet påpekt i befaringsrapport av NVE. I denne svingen er det plastret i nedre del av skråningen tidligere. Figur 6-1 viser denne skråningen med plastringen i nedre del.



Figur 6-1 Skråning ved profil B som bør plastres ytterligere (Bilde fra NVE).

Det tilrås at det gjøres ytterligere tiltak for å bedre sikkerheten mot overflateglidninger for denne del av sonen for å unngå at overflateglidninger vil redusere overdekningen ytterligere inn mot kvikkleiren. Plastringen bør føres opp til toppen av skråningen med noe mindre helning enn i dag. Eventuelt kan skråningen slakes ut ytterligere, men dette vil kreve noe areal fra dyrket mark.

Ved en plastring av hele skråningen bør ikke røttene til vegetasjonen tas bort slik at det skapes en midlertidig forverret stabilitet. Stammene til vegetasjonen bør kuttes like over terrengnivå og det bør etableres en erosjonssikring over dette. Det kan evt. etableres vegetasjon ved å legge ut matjord over dette laget for å bedre den estetiske utformingen.

Detaljutforming av tiltak forutsettes utført i samarbeid mellom NVE og rådgiver geoteknikk. Tiltakene bør fortrinnsvis bestemmes basert på en befarings.

Tiltak som kommer i tiltakskategori K1 kreves det ikke medvirkning av geotekniker. For slike tiltak henvises det til vedlegg B i NGI-rapport 20001008-7 /5/. For eventuell utbygning i sonen som kommer i tiltakskategori K2 eller K3 vil det være behov for stabiliserende tiltak langs Lundesokna for å tilfredsstille kravene iht. NVE-veiledningen /13/. Aktuelle tiltak vil være heving av elvenivå/ motfylling i elva eventuelt i kombinasjon med nedslakning av terrenget. Dette gjelder både ved profil A og ved profil B. Ved en eventuell utbygging tilrås det å utføre supplerende grunnundersøkelser og vurderinger for å se på om det mellomliggende partiet trenger mindre tiltak for å tilfredsstille kravene. Dersom det ikke gjøres supplerende

geotekniske undersøkelser og vurderinger ved en eventuell utbygging, kan det være behov for terrengendringer/ motfylling langs hele dette partiet.

## 7. Sluttkommentar

Geotekniske vurderinger i denne rapporten er av generell karakter i forbindelse med evalueringen av sonen.

Det vil være behov for ytterligere medvirkning av geotekniker og supplerende undersøkelser ved detaljprosjektering av eventuell regulering, utbygging og/ eller masseforflytning innenfor kvikkleiresonen.

## 8. Referanser

- /1/ NVE. *Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag*. Datert 01.07.2008.
- /2/ MULTICONSULT rapport nr. 413211-1. *Kartlegging av kvikkleiresone. Sone 459 Lund, Melhus. Datarapport grunnundersøkelser*. Datert 09.01.2009.
- /3/ NGI (2003). *Fare- og konsekvensevaluering for sone 459 - Lund*. Datert 20.03.2003.
- /4/ NGI rapport nr. 20001008-2. *Vurdering av risiko for skred. Metode for klassifisering av faresoner, kvikkleire*. Rev 2, datert 16.12.2006.
- /5/ NGI rapport nr. 20001008-7. *Evaluering av risiko for kvikkleireskred. Melhus kommune*. Datert 12.04.2005.
- /6/ CPTU EXTRA. *Regneark for avansert tolkning av CPTU*. Brukermanual utviklet av Rolf Sandven. Datert 25.06.2007.
- /7/ Lunne T., Robertson P.K. og Powell J.J.M. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional.
- /8/ Karlsrud K. et al. (2005). *CPTU correlations for clays*. Proceedings, ICSMGE, Osaka s 693 - 702.
- /9/ GeoSuite Stability v.4.0 (2008). *Novapoint GeoSuite Toolbox*. Vianova GeoSuite AB , datert 16.04.2008.
- /10/ Karlsrud K. , Aas G. and Gregersen O. (1984). *Can we predict landslides hazards in soft sensitive clays? Summary of Norwegian Practice and Experiences*. Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Toronto, Vol I, p. 107-130.
- /11/ Karlsrud K. (2003). *Tolkning og fastlegging av jordparametere. Karakteristisk jordprofil*. NGF-kurs. Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger, innlegg 4.1. 20-22 mai 2003, Hell.
- /12/ Lunne T., Berre T. & Strandvik S. (1997). *Sample disturbance effects in soft low plasticity Norwegian clay*. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 885.

- /13/ NGF-melding nr. 5. *Veiledning for utførelse av trykksondering*. Rev nr. 1, 1994.
- /14/ Andresen, A. & Kolstad, P. 1979. *The NGI 54 mm samplers for undisturbed sampling of clays and representative sampling of coarser materials*. Proceedings, International Symposium on Soil Sampling. Singapore: 13-21.


**Arkivreferanser:**

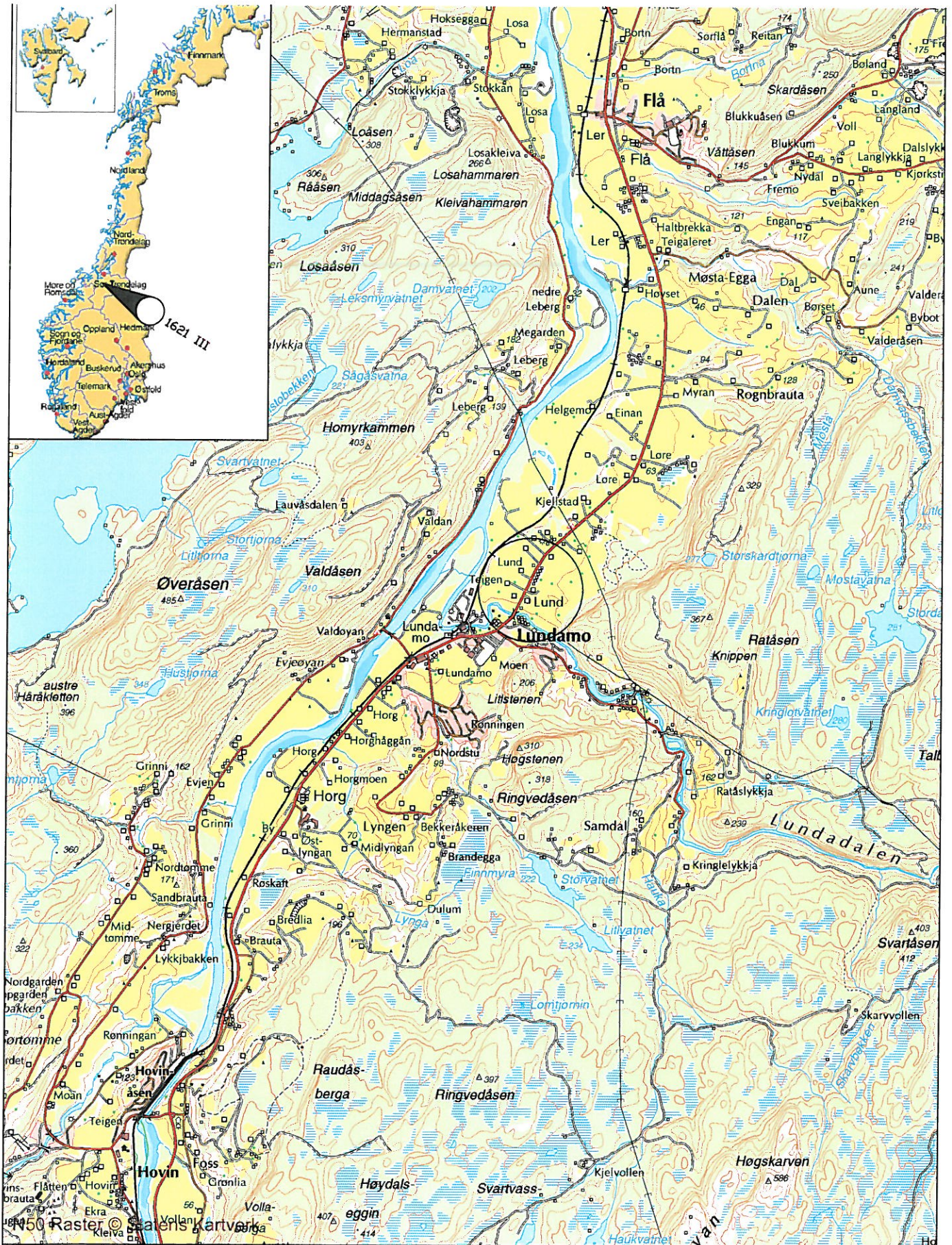
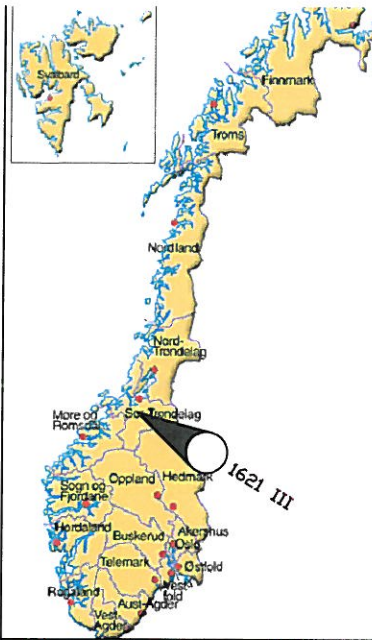
Fagområde:	Geoteknikk		
Stikkord:	Kvikkleirekartlegging, kvikkleire, stabilitetsberegninger		
Land/Fylke:	Sør-Trøndelag	Kartblad:	1621
Kommune:	Melhus	UTM koordinater, Sone:	32V
Sted:	Lund	Øst: 5643	Nord: 70021

**Distribusjon:**

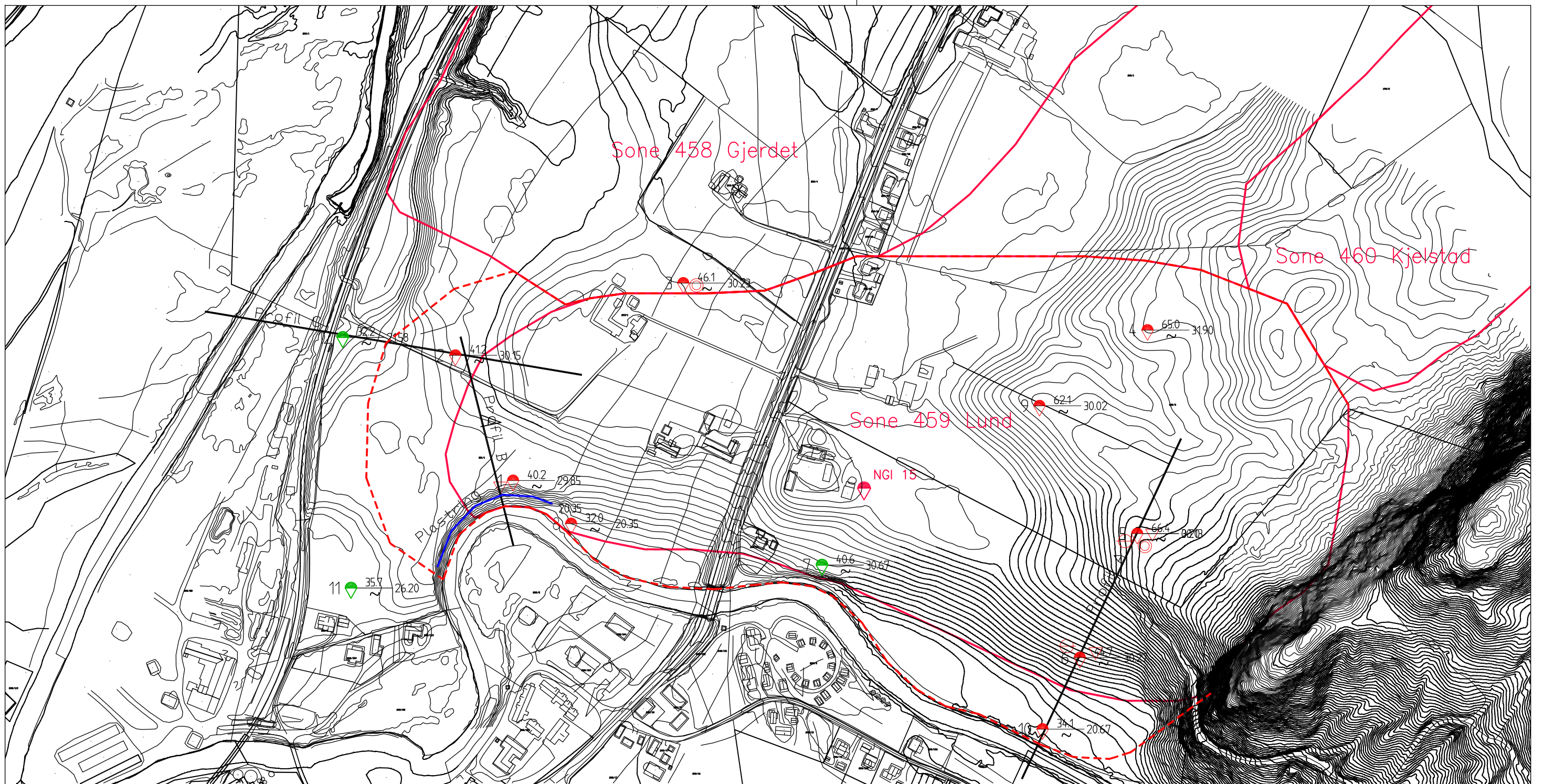
- Begrenset (Spesifisert av Oppdragsgiver)  
 Intern  
 Fri

**Dokumentkontroll:**

		Dokument 13. mars 2009		Revisjon 1 21. desember 2009		Revisjon 2		Revisjon 3	
		Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign
Forutsetninger	Utarbeidet	11/3-09	ET	18/12-09	ET				
	Kontrollert	11/3-09	RS	21/12-09	RS				
Grunnlagsdata	Utarbeidet	11/3-09	ET	18/12-09	ET				
	Kontrollert	11/3-09	RS	21/12-09	RS				
Teknisk innhold	Utarbeidet	11/3-09	ET	18/12-09	ET				
	Kontrollert	11/3-09	RS	21/12-09	RS				
Format	Utarbeidet	11/3-09	ET	18/12-09	ET				
	Kontrollert	11/3-09	RS	21/12-09	RS				
Anmerkninger									
Godkjent for utsendelse (Oppdragsansvarlig)						Dato:	Sign.:		
						21.12.2009			



OVERSIKTSKART			Borplan nr.	-1			
NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo, sone 459			Målestokk	1:50 000			
MULTICONSULT AS							
Dato	08.01.2009	Tegnet			EriT	Kontrollert	RS
Oppdragsnr.	413211	Tegningsnr.	0	Rev.			

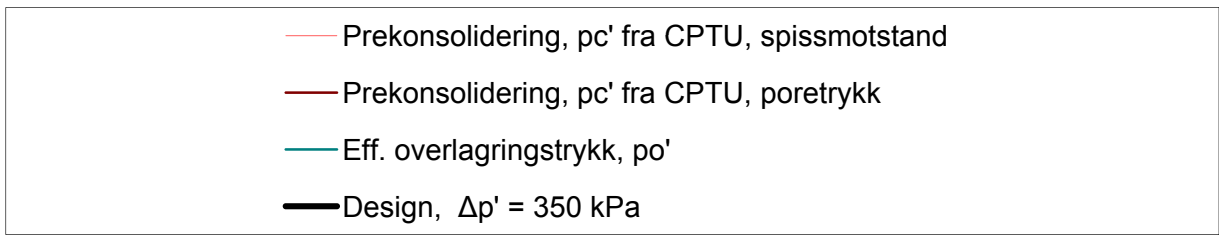
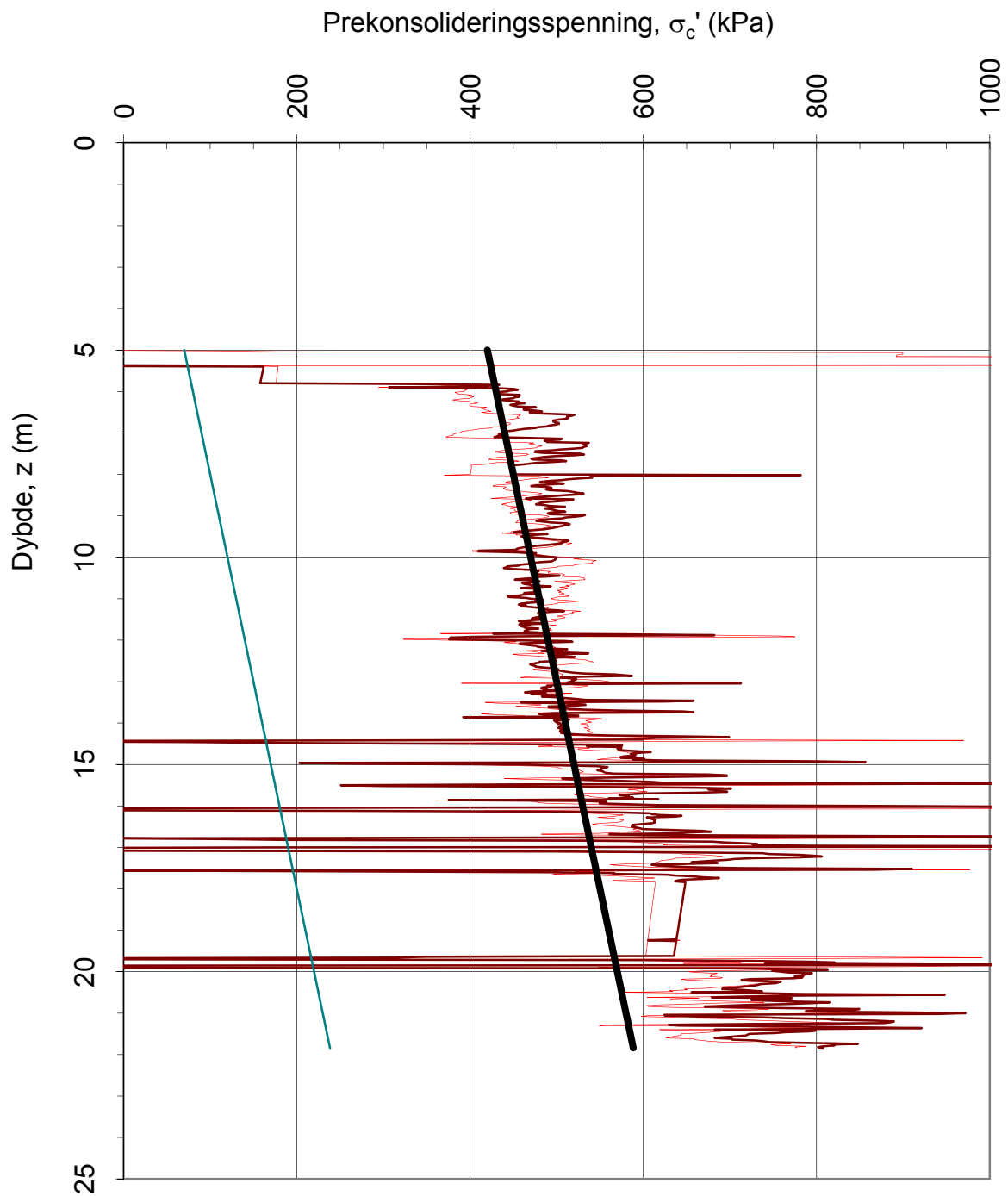


- DREIESONDERING
- ENKEL SONDERING
- ▼ RAMSONDERING
- Ⓜ TOTALSONDERING
- ☆ FJELLKONTROLLBORING
- ⊕ KJERNEBORING
- ◆ DREIETRYKKSONDERING
- ☒ SKRUPLATEFORSØK
- ⊙ PRØVESERIE
- PRØVEGRUPP
- ▽ TRYKKSONDERING
- +
- ⊖ PORETRYKKMÅLING
- ⌄ FJELL I DAGEN
- Ⓜ TERRENGKOTE/SJØBUNNKOTE  
ANTATT FJELLKOTE BORET DYBDE + (BORET I FJELL)

BORBOK NR: 18991 & 19947  
 LAB.BOK NR: 002036  
 KARTGRUNNLAG: SOS-fil fra Melhus kommune  
 EKVIDISTANSE: 1 m

Rød fargekode – antatt/ påvist kvikkleire  
 Grønn fargekode – antatt ikke kvikkleire  
 Heltrukne (røde) linjer viser omtrentlig plassering av eksisterende kvikkleiresoner  
 NB! Tidligere grunnundersøkelser omtrentlig plassert fra kart

01	Soneutbredelse endret mellom borpunkt 7 og 8 langs Ludesokna	11.12.2009	EriT	RS	OA
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo Sone 459 Lund		Original format A3	Fag		
Borplan		Tegningens filnavn Borplan.dwg	Underlagets filnavn 459.dxf		
		1:4000			
<b>MULTICONSULT AS</b>		Dato 08.01.2009	Konstr./Tegnet EriT	Kontrollert RS	Godkjent OA
7486 TRONDHEIM Tlf: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70		Oppdragsnr. 413211	Tegningsnr. 1a	Rev. 01	



## Kvikkleirekartlegging Lund

Lundamo

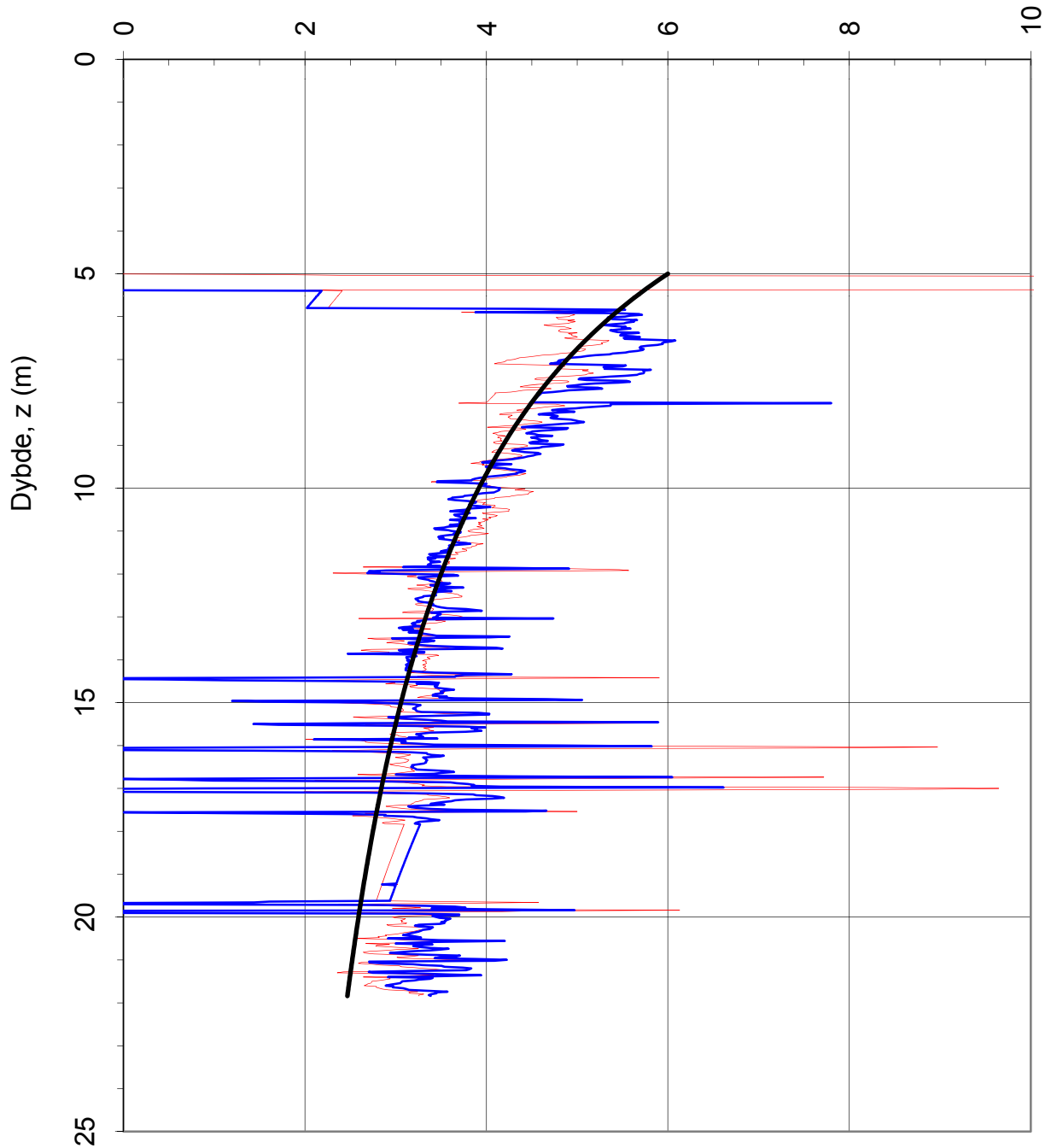
Tegningens filnavn:

Prekonsolideringsspenning  $\sigma_c'$ .



<b>CPTU id.:</b>	CPTU 1			
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 06.01.2009	Tegnet: EriT	Kontrollert: RS	
	Oppdrag nr.: 413211	Tegning nr.: 40.1	Programrevisjon: 26.06.2007	Rev.:

Prekonsolideringsforhold,  $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}' (-)$



- Prekonsolideringsforhold OCR fra CPTU, spissmotstand
- Prekonsolideringsforhold OCR fra CPTU, poretrykk
- Design,  $\Delta p' = 350 \text{ kPa}$

**Kvikkleirekartlegging Lund**

**Lundamo**

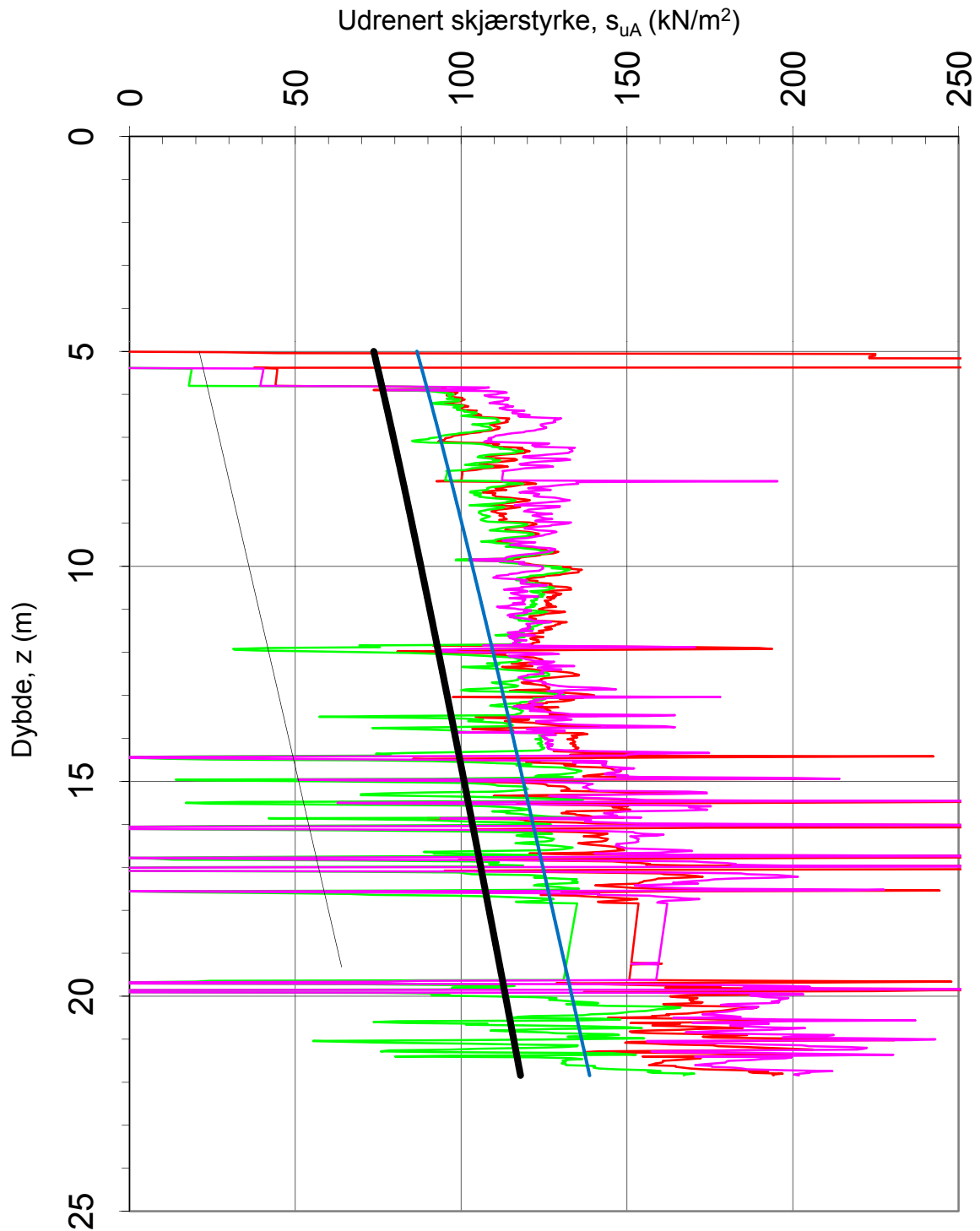
Tegningens filnavn:

Spenningshistorie,  $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}'$ .



<b>CPTU id.:</b>	CPTU 1			
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	06.01.2009	EriT	RS	OÅ
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:	Rev.:
	413211	40.2	26.06.2007	





— suA, Nkt=f(Bq)=18.7-12.5Bq	— suA, NDu=f(St,OCR,lp)=9.8-4.5log OCR
— suA, NDu=f(Bq) = 1.8 + 7.25 Bq	— suA, NC, 0,3po'
— Design: SHANSEP-suA - Δp' =350 kPa	— Design: SHANSEP-suA - Δp' =350 kPa redusert 15 %

## Kvikkleirekartlegging Lund

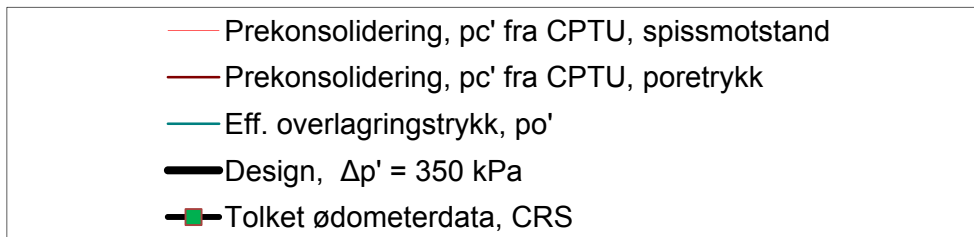
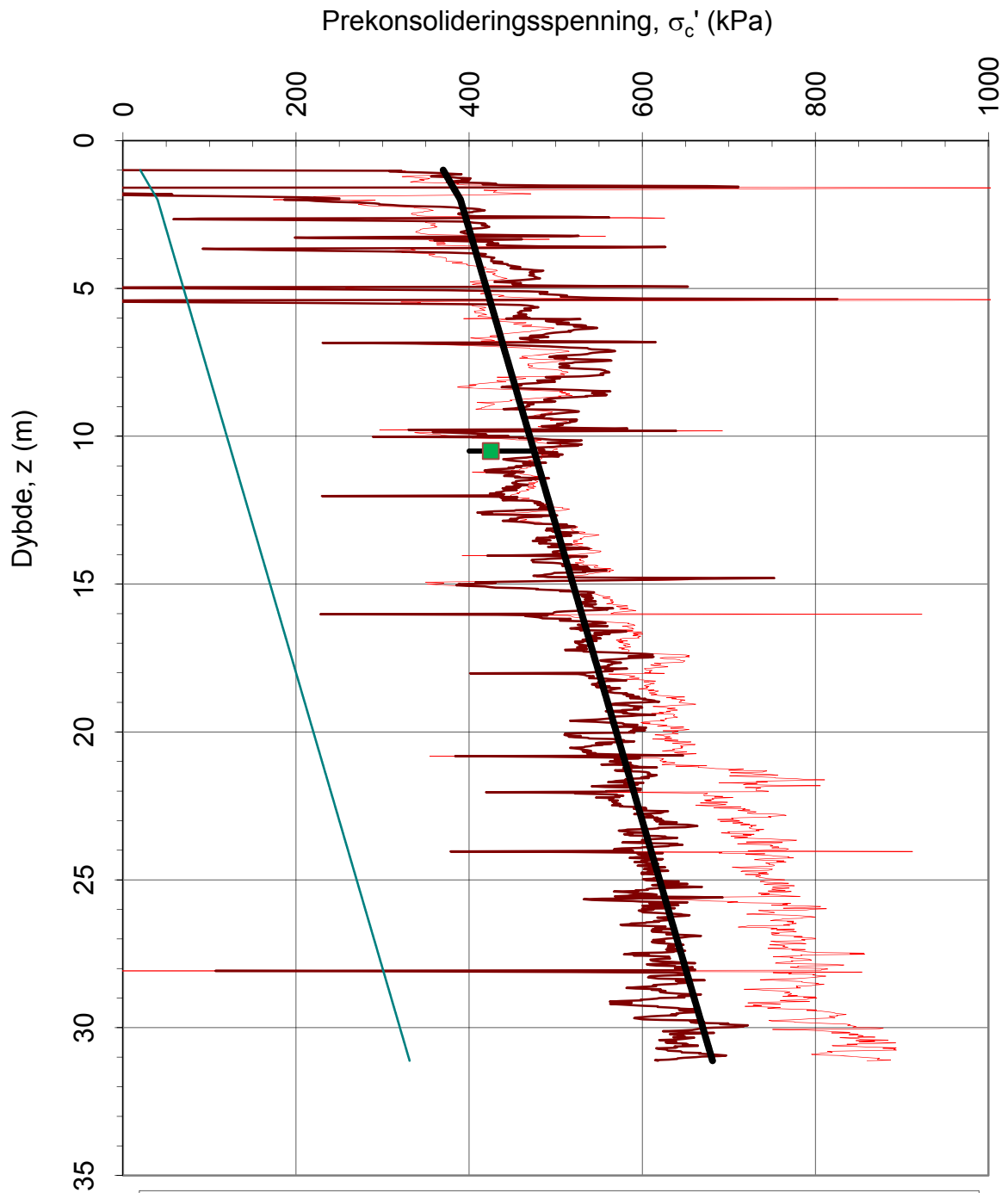
Lundamo

Tegningens filnavn:

Aktiv udrenert skjærstyrke  $s_{uA}$ , korrelert mot  $B_q$ .



CPTU id.:	CPTU 1			
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	06.01.2009	EriT	RS	OÅ
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:	Rev.:
	413211	40.3	26.06.2007	



## Kvikkleirekartlegging Lund

Lundamo

Tegningens filnavn:

Prekonsolideringsspenning  $\sigma_c'$ .



CPTU id.:

CPTU 5

**MULTICONSULT AS**

Dato:

19.11.2009

Tegnet:

EriT

Kontrollert:

RS

Godkjent:

OÅ

Oppdrag nr.:

413211

Tegning nr.:

43.1

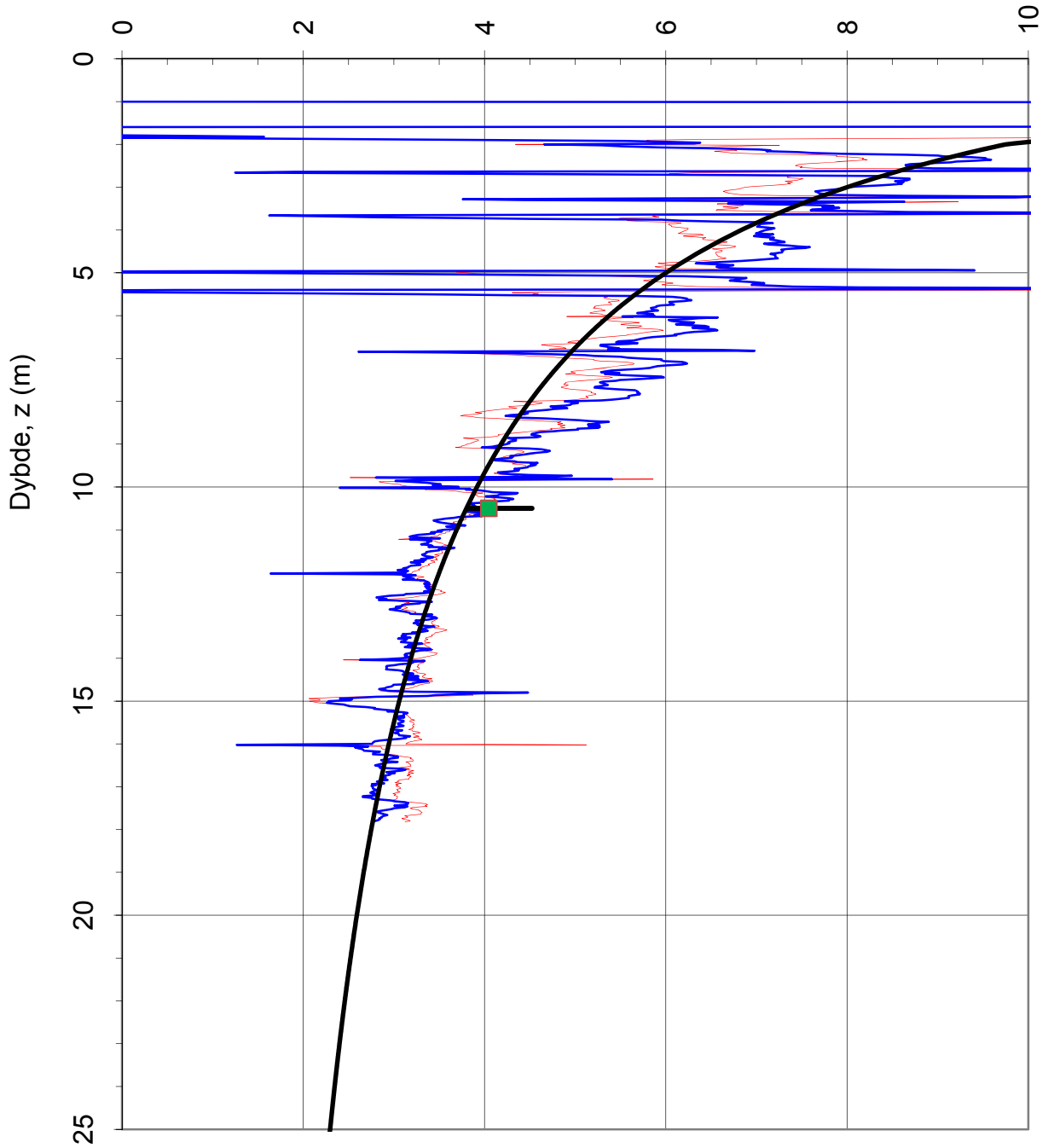
Programrevisjon:

26.06.2007

Rev.:

1

Prekonsolideringsforhold,  $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}' (-)$



- Prekonsolideringsforhold OCR fra CPTU, spissmotstand
- Prekonsolideringsforhold OCR fra CPTU, poretrykk
- Design,  $\Delta p' = 350 \text{ kPa}$
- Tolket ødometerdata, CRS

**Kvikkleirekartlegging Lund**

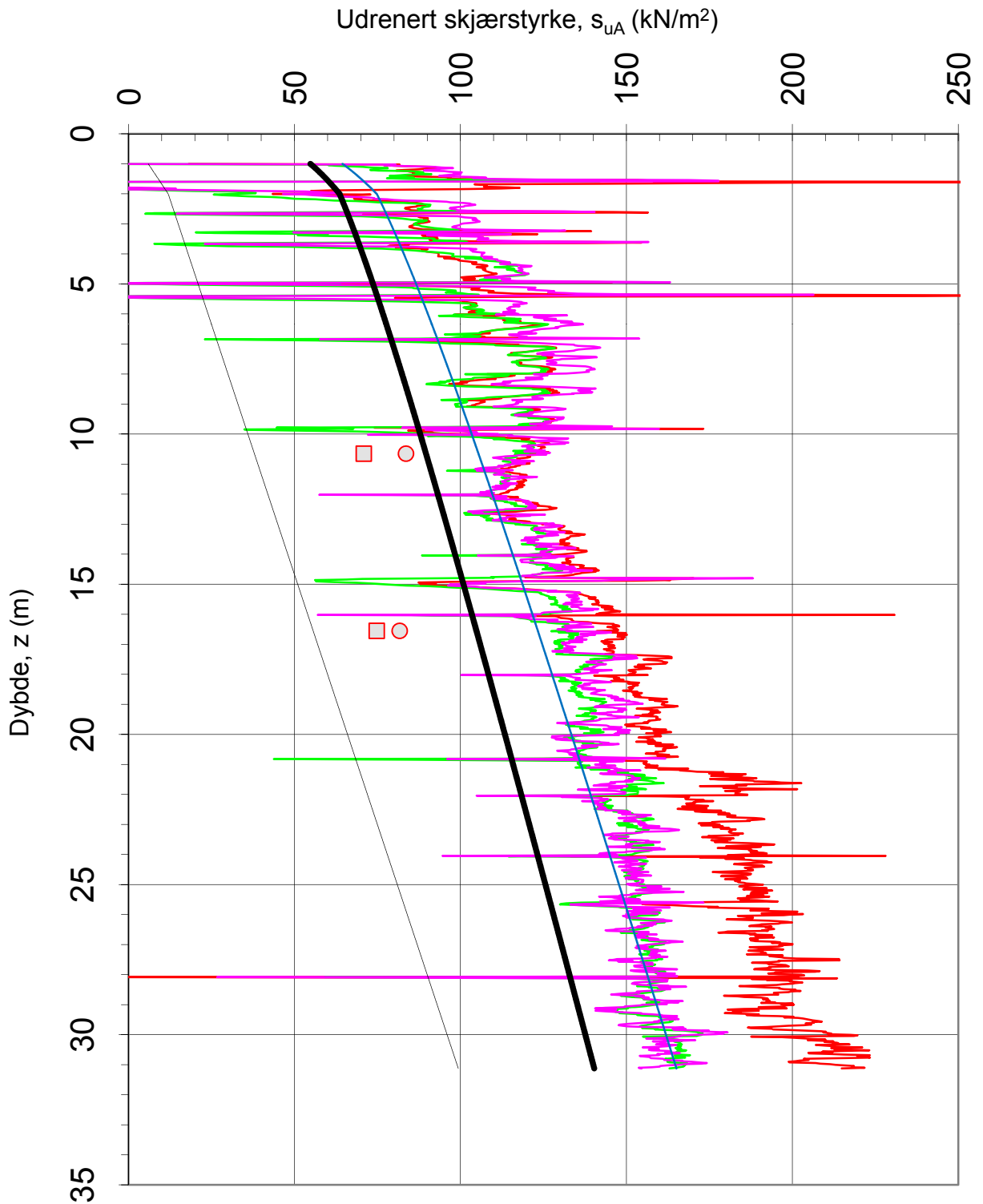
**Lundamo**

Tegningens filnavn:

Spenningshistorie,  $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}'$ .



<b>CPTU id.:</b>	CPTU 5			<b>Godkjent:</b> OÅ
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 19.11.2009	Tegnet: EriT	Kontrollert: RS	
	Oppdrag nr.: 413211	Tegning nr.: 43.2	Programrevisjon: 26.06.2007	Rev.: 1



- $s_{uA}$ ,  $N_{kt}=f(B_q)=18.7-12.5B_q$
- $s_{uA}$ ,  $N_{DU}=f(St,OCR,lp)=9.8-4.5\log OCR$
- $s_{uA}$ ,  $N_{DU}=f(B_q) = 1.8 + 7.25 B_q$
- $s_{uA}$ ,  $N_C, 0,3p_o'$
- $s_{uA}$ , aktiv treaks 54 mm - BH 5
- $s_{uA}$ , aktiv treaks 76 mm - BH 5
- Design: SHANSEP- $s_{uA}$  -  $\Delta p' =350$  kPa
- Design: SHANSEP- $s_{uA}$  -  $\Delta p' =350$  kPa redusert 15 %

## Kvikkleirekartlegging Lund

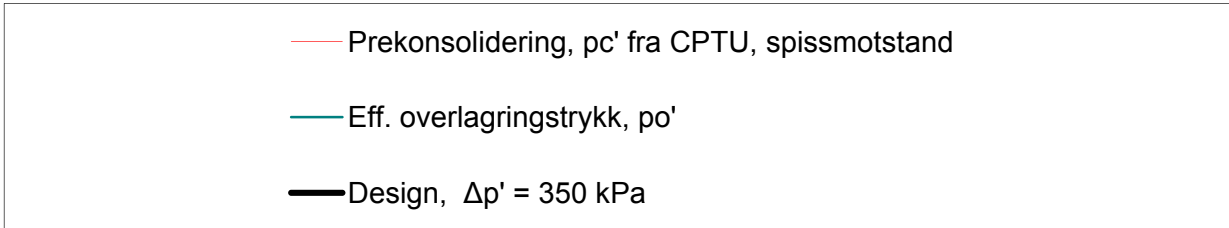
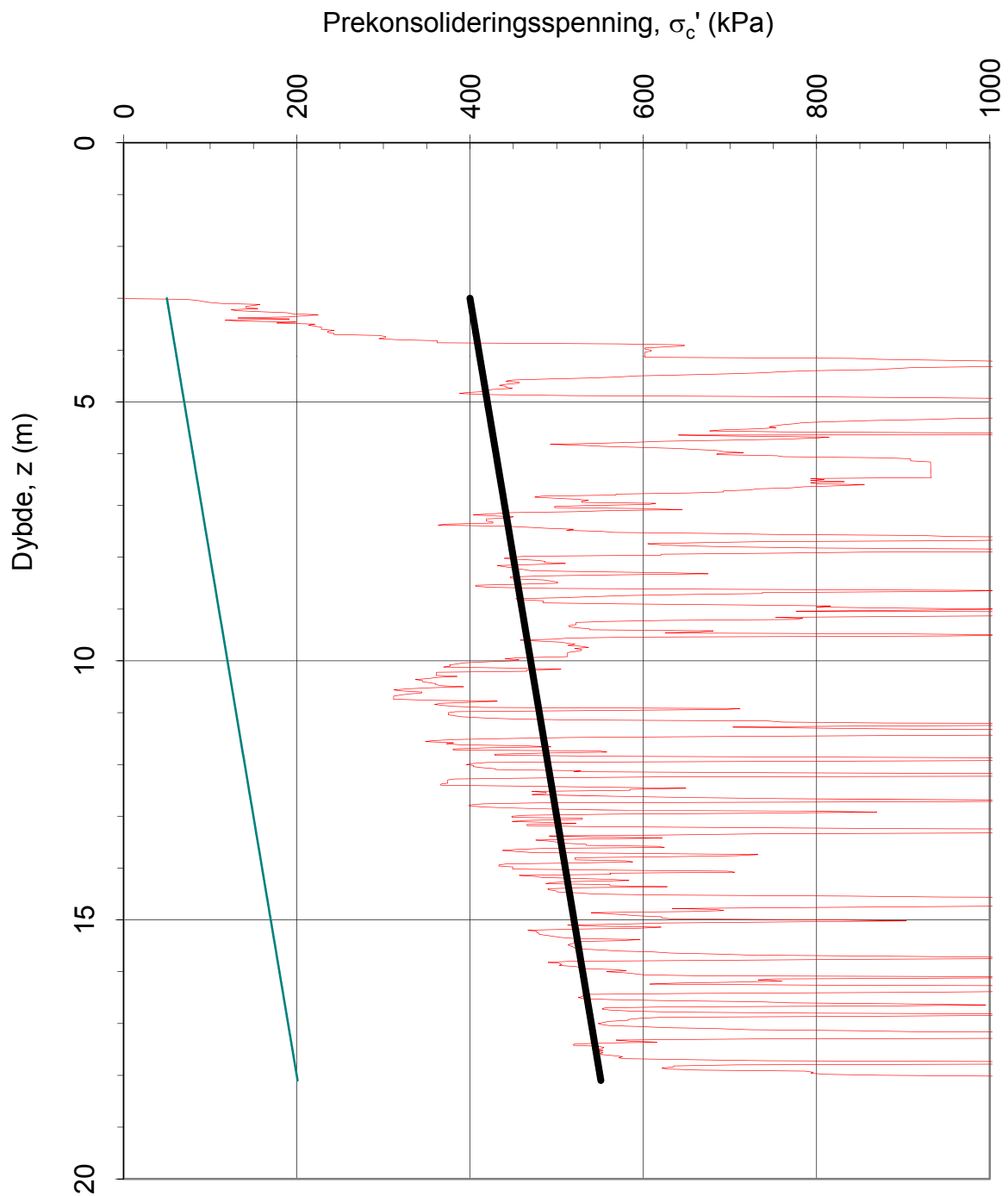
Lundamo

Tegningens filnavn:

Aktiv udrenert skjærstyrke  $s_{uA}$ , korrelert mot  $B_q$ .



<b>CPTU id.:</b>	CPTU 5			
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	
	07.01.2009	EriT	RS	Godkjent: OÅ
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:	Rev.:
	413211	43.3	26.06.2007	



### Kvikkleirekartlegging Lund

Lundamo

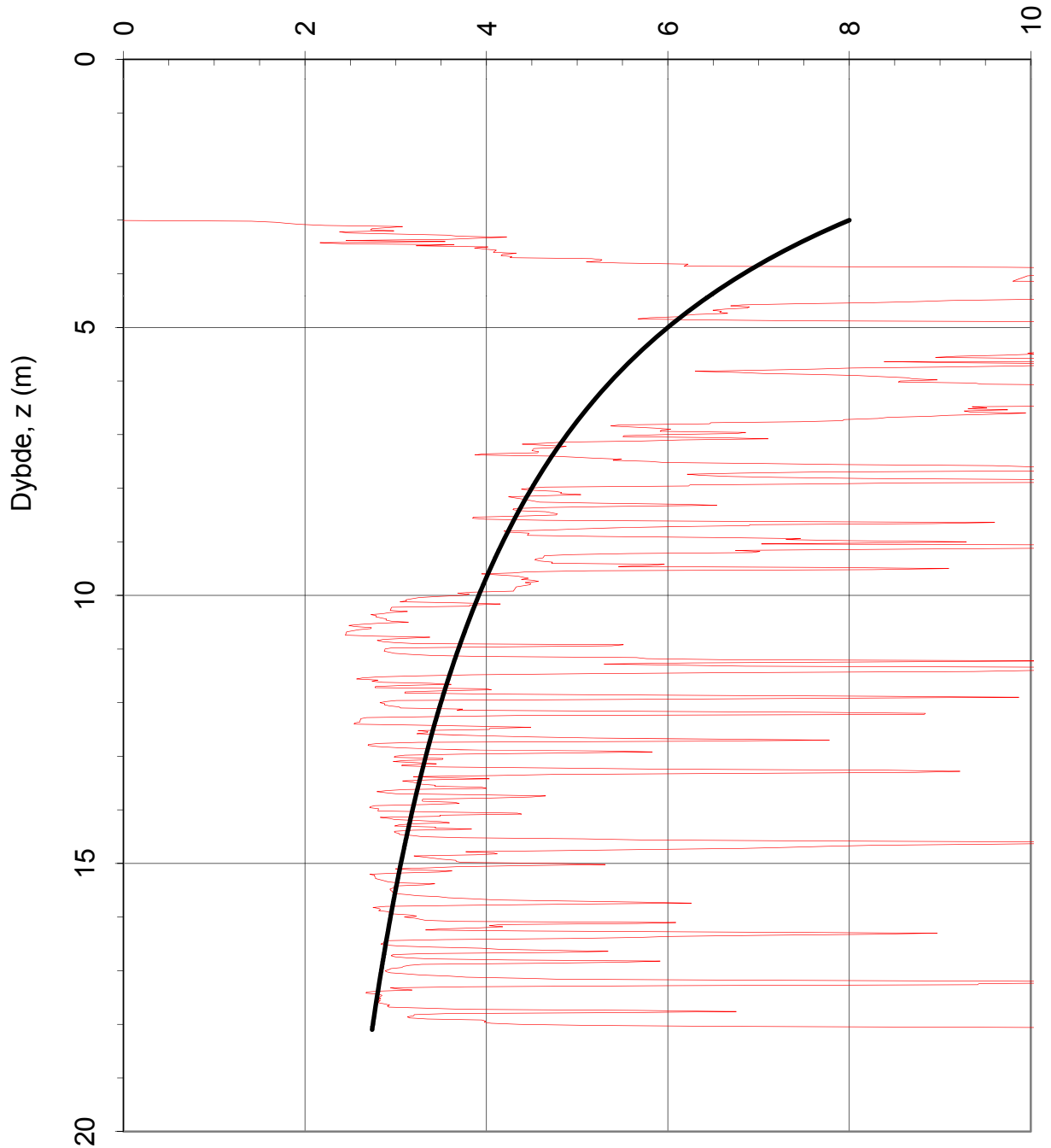
Tegningens filnavn:

Prekonsolideringsspenning  $\sigma_c'$ .



CPTU id.:	CPTU 6			
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	07.01.2009	EriT	RS	OÅ
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:	Rev.:
	413211	46.1	26.06.2007	

Prekonsolideringsforhold, OCR =  $\sigma_c'/\sigma_{vo}'$  (-)



— Prekonsolideringsforhold OCR fra CPTU, spissmotstand  
 — Design,  $\Delta p' = 350$  kPa

**Kvikkleirekartlegging Lund**

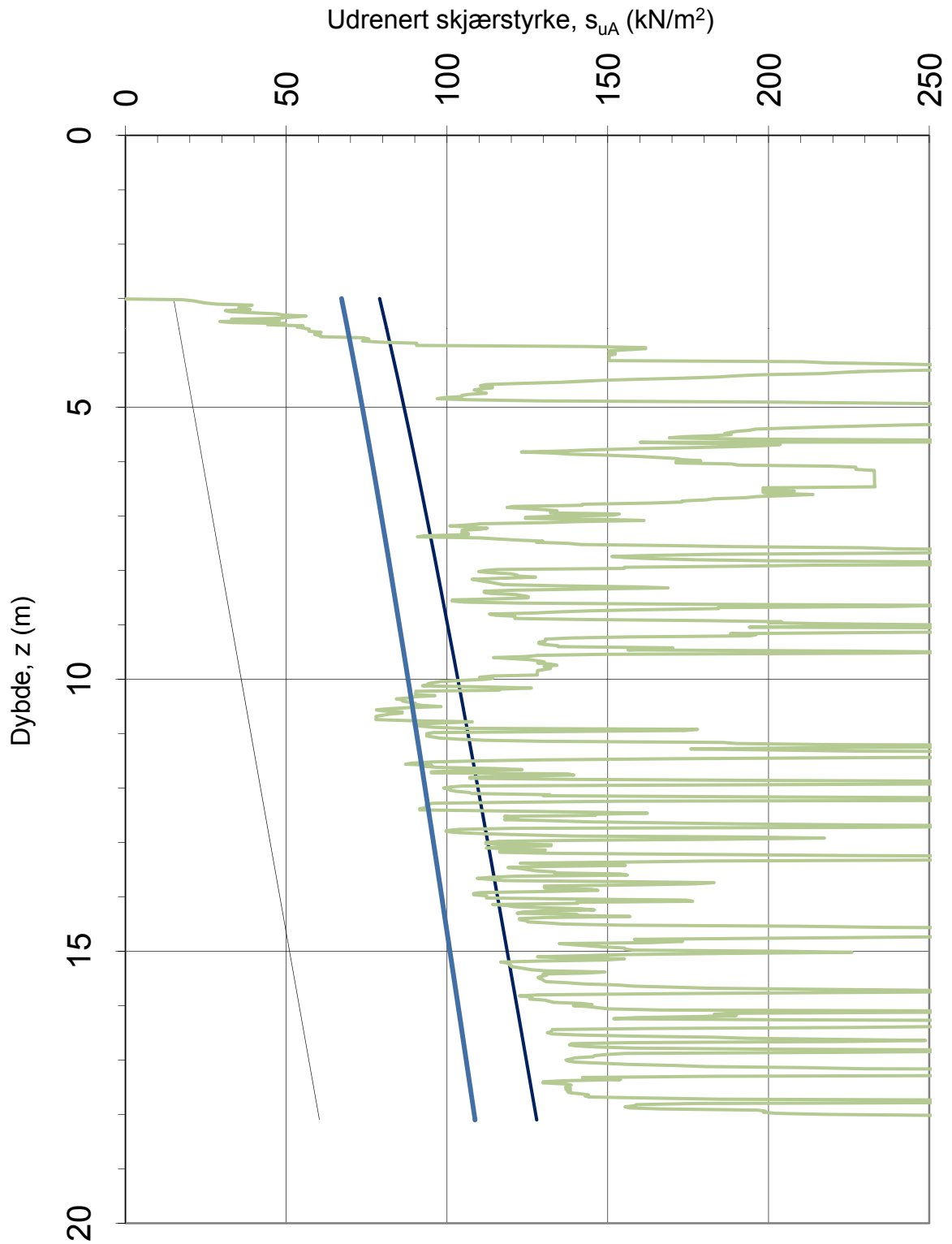
**Lundamo**

Tegningens filnavn:

Spenningshistorie, OCR =  $\sigma_c'/\sigma_{vo}'$ .



CPTU id.:	CPTU 6			Godkjent:	OÅ
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Rev.:	
	07.01.2009	EriT	RS	OÅ	
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:		
	413211	46.2	26.06.2007		



## Kvikkleirekartlegging Lund

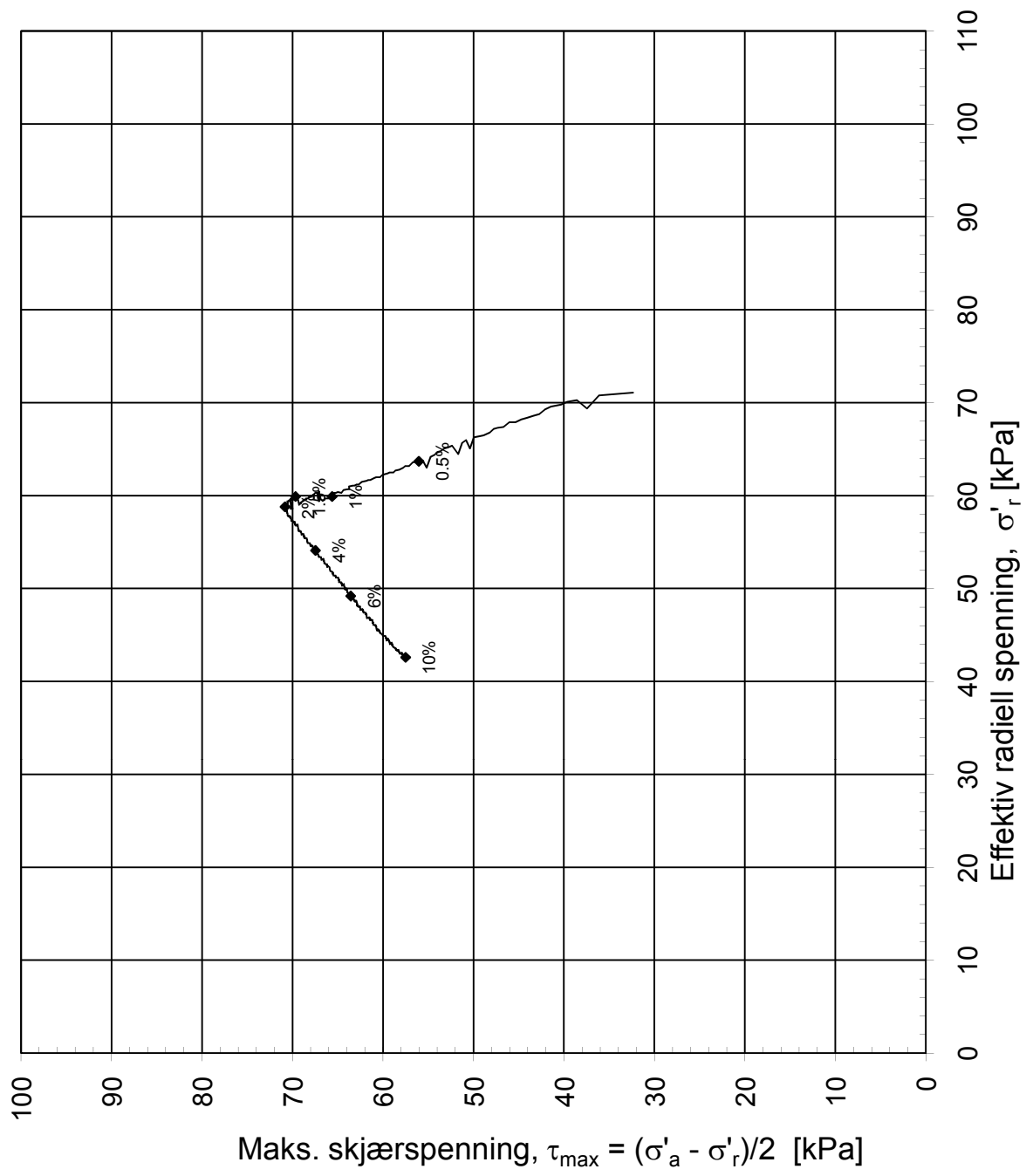
Lundamo

Tegningens filnavn:

Aktiv udrenert skjærstyrke  $s_{uA}$ , korrelert mot  $B_q$ .



CPTU id.:	CPTU 6			
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	07.01.2009	EriT	RS	OÅ
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Programrevisjon:	Rev.:
	413211	46.3	26.06.2007	



Konsolideringsspenninger:  $\sigma'_{ac} = 120.11$  kPa  
 $\sigma'_{rc} = 72.07$  kPa  
 Vanninnhold:  $w_i = 32.20$  %  
 Densitet:  $\rho_i = 1.94$  g/cm<sup>3</sup>  
 Volumtøyning i konsolideringsfase:  $\epsilon_{vol} = \Delta V/V_0 = 2.25$  %

**NVE**

**Lund, Melhus**

Treksialforsøk. Deviatorspenningssti (NTNU-plott).

Tegningens filnavn:  
Treaks H5, dybde 10,65.xls

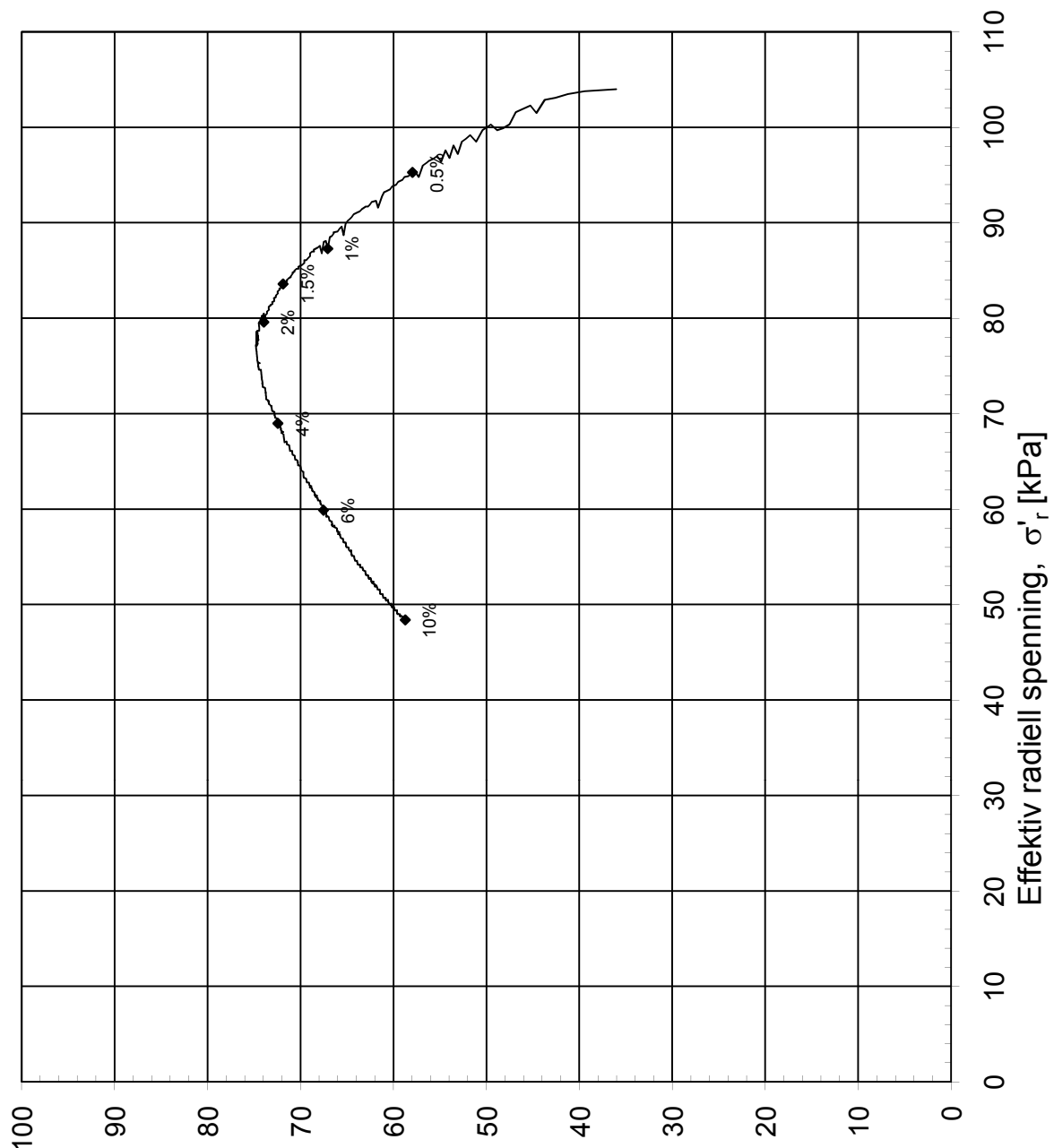


**MULTICONSULT AS**

Sluppenvegen 23,  
7486 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato: 19.12.2008	Dybde, z (m): 10.65	Borpunkt nr.: 5	
Forsøknr.: 1	Tegnet: kjt	Kontrollert: rs	Godkjent: oaa
Oppdrag nr.: 413211	Tegning nr.: 78	Prosedyre: CAUa	Programrevisjon: 02.01.2009





Maks. skjærspenning,  $\tau_{max} = (\sigma'_a - \sigma'_r)/2$  [kPa]

Konsolideringsspenninger:	$\sigma'_{ac} =$	175.57	kPa
	$\sigma'_{rc} =$	105.34	kPa
Vanninnhold:	$w_i =$	34.20	%
Densitet:	$\rho_i =$	1.94	g/cm <sup>3</sup>
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\epsilon_{vol} = \Delta V/V_0 =$	3.43	%

**NVE**

**Lund, Melhus**

Treksialforsøk. Deviatorspenningssti (NTNU-plott).

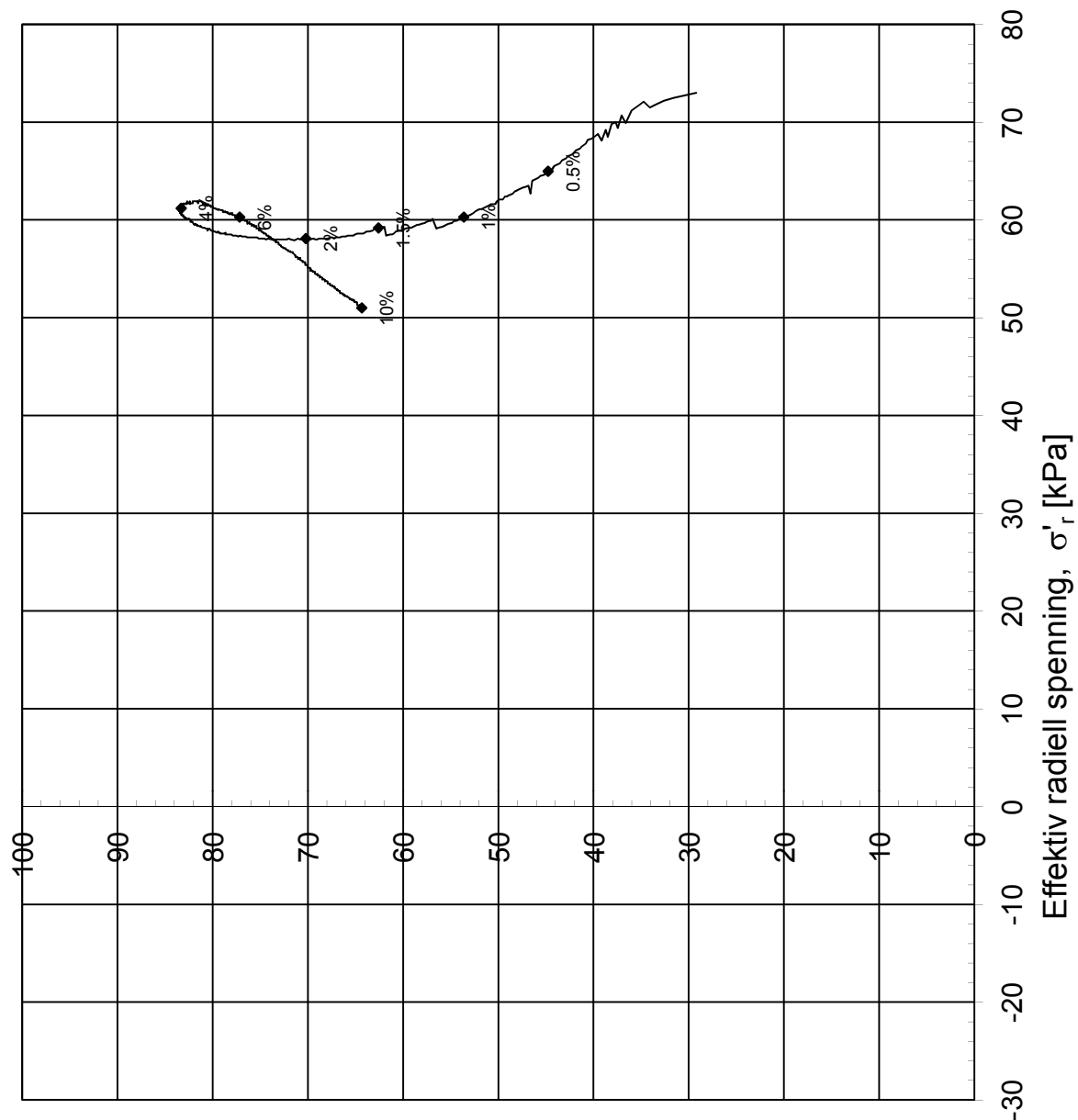
Tegningens filnavn:  
Treaks H5, dybde 16,55.xls



**MULTICONSULT AS**

Sluppenvegen 23,  
7486 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato: 19.12.2008	Dybde, z (m): 16.55	Borpunkt nr.: 5	
Forsøksnr.: 2	Tegnet: kjt	Kontrollert: rs	Godkjent: oå
Oppdrag nr.: 413211	Tegning nr.: 79	Prosedyre: CAUa	Programrevisjon: 02.01.2009



Maks. skjærspenning,  $\tau_{\max} = (\sigma'_a - \sigma'_r)/2$  [kPa]

Konsolideringsspenninger:	$\sigma'_{ac} =$	114.30	kPa
	$\sigma'_{rc} =$	68.58	kPa
Vanninnhold:	$w_i =$	32.30	%
Densitet:	$\rho_i =$	1.99	g/cm <sup>3</sup>
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\epsilon_{vol} = \Delta V/V_0 =$	1.98	%

**INTERN**

**Lund, Melhus**

Treksialforsøk. Deviatorspenningssti (NTNU-plott).

Tegningens filnavn:  
76MM-H5 D10,25.XLS



**MULTICONSULT AS**

Sluppenvegen 23,  
7486 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato:  
19.01.2009

Dybde, z (m):  
10.25

Borpunkt nr.:  
5

Forsøknr.:  
4

Tegnet:  
kjt

Kontrollert:  
rs

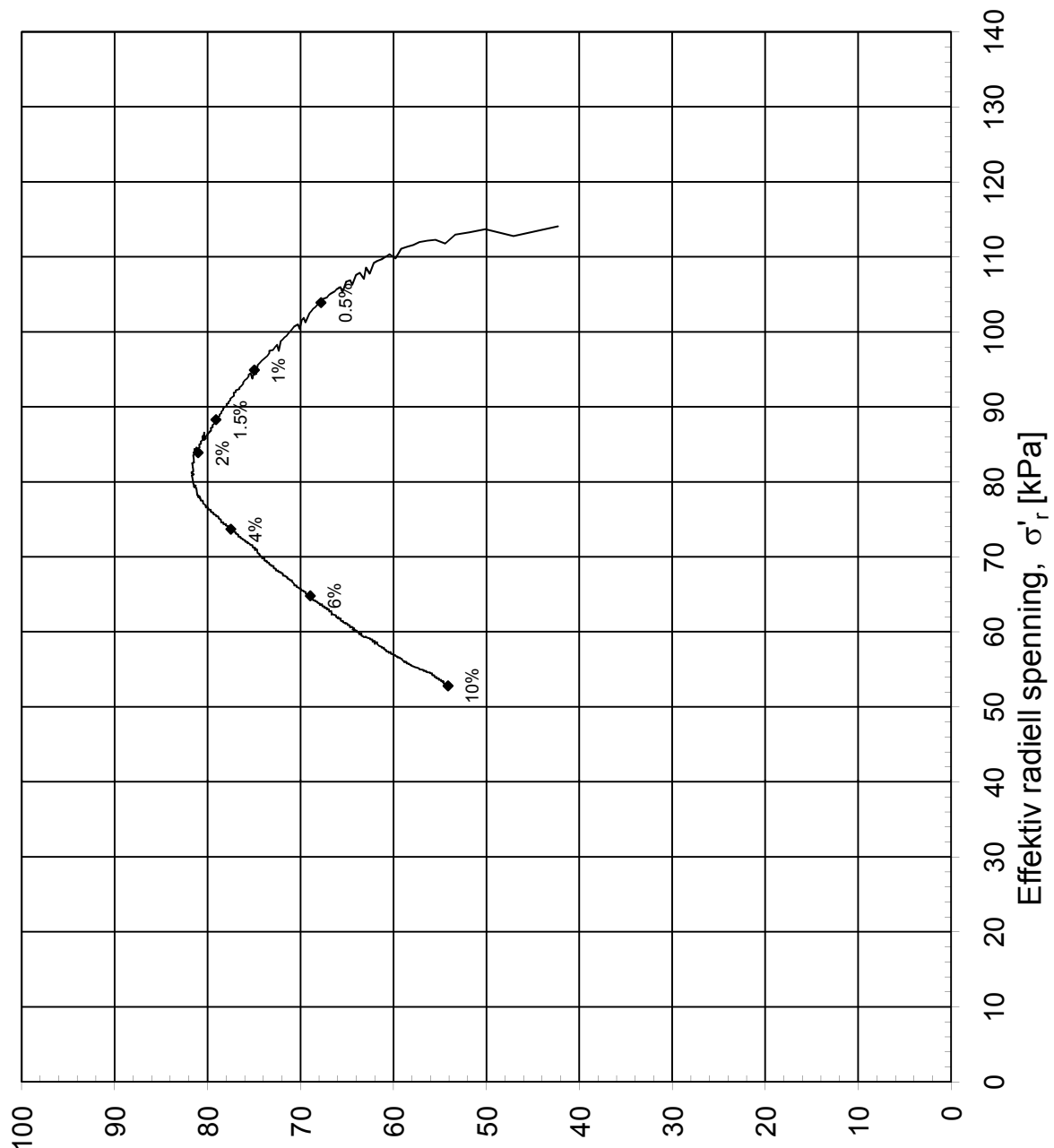
Godkjent:  
oaa

Oppdrag nr.:  
413211

Tegning nr.:  
80

Prosedyre:  
CAUa

Programrevisjon:  
02.01.2009



Maks. skjærspenning,  $\tau_{max} = (\sigma'_a - \sigma'_r)/2$  [kPa]

Konsolideringsspenninger:	$\sigma'_{ac} =$	177.23	kPa
	$\sigma'_{rc} =$	106.34	kPa
Vanninnhold:	$w_i =$	35.10	%
Densitet:	$\rho_i =$	1.92	g/cm <sup>3</sup>
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\epsilon_{vol} = \Delta V/V_0 =$	4.55	%

**INTERN**

**Lund, Melhus**

Treksialforsøk. Deviatorspenningssti (NTNU-plott).

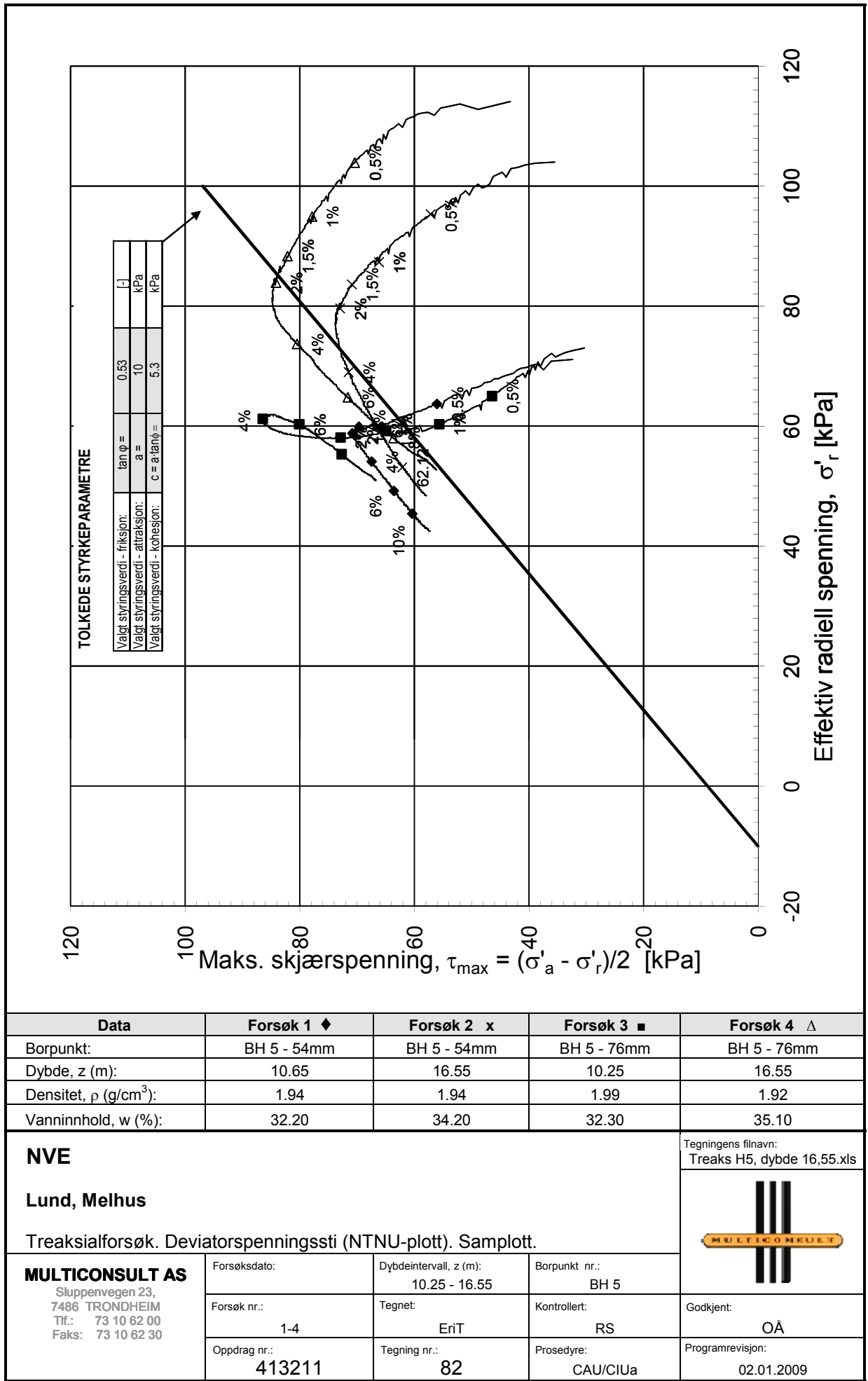
Tegningens filnavn:  
76MM H5, dybde 16,55.xls

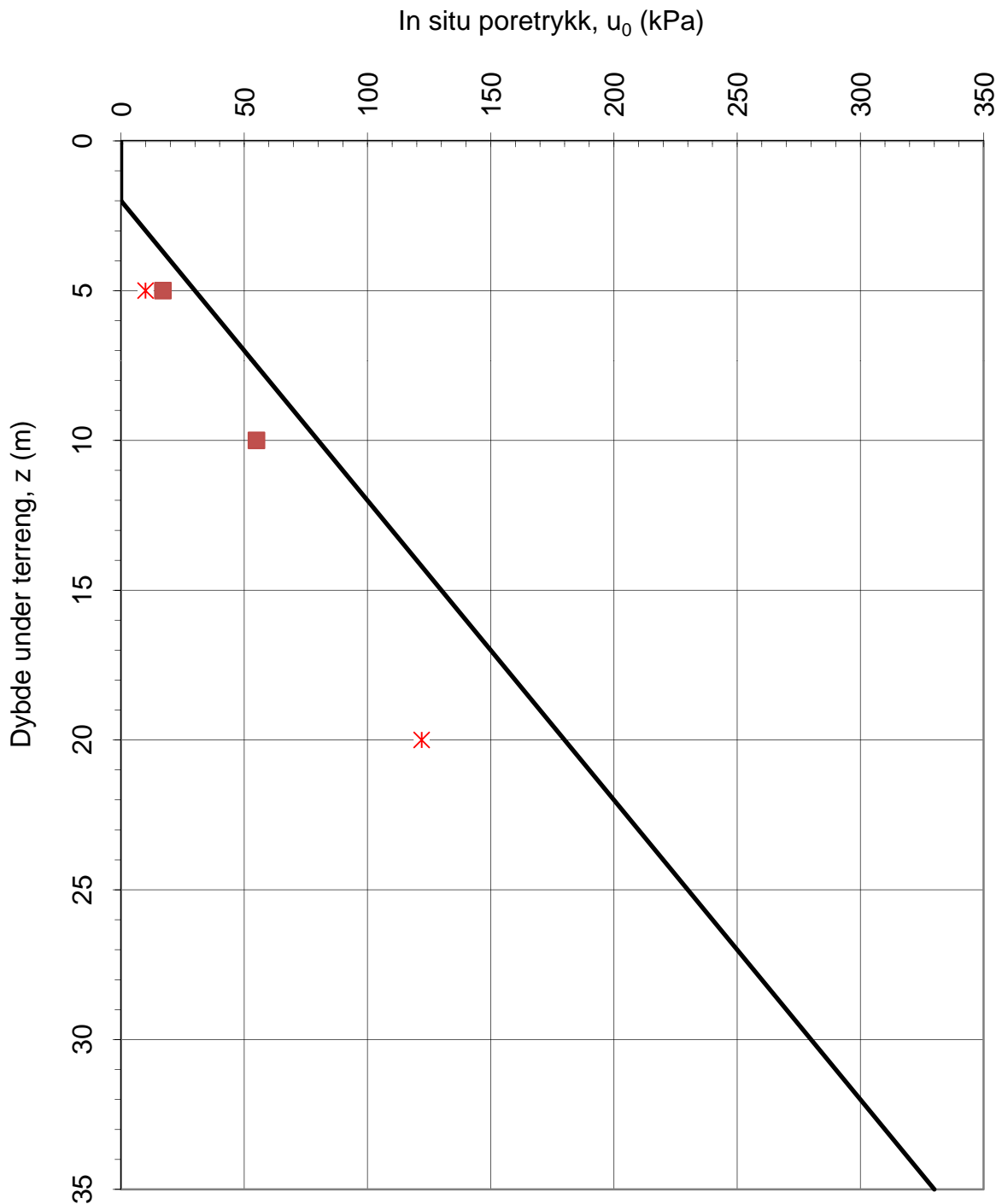


**MULTICONSULT AS**  
Sluppenvegen 23,  
7486 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 10 62 00  
Faks: 73 10 62 30

Forsøksdato: 19.01.2009	Dybde, z (m): 16.55	Borpunkt nr.: 5
Forsøksnr.: 2	Tegnet: kjt	Kontrollert: rs
Oppdrag nr.: 413211	Tegning nr.: 81	Prosedyre: CAUa

Godkjent: oaa
Programrevisjon: 02.01.2009





- ✖ Registrert poretrykk piezometere - borhull 5, 06.01.2009
- Registrert poretrykk piezometere - borhull 6, 06.01.2009
- Design - hydrostatisk fra 2 m

## Kvikkleirekartlegging Lund Lundamo

Tegningens filnavn:

Poretrykksprofil



id.:

Poretrykksmålinger og tolket  $u$  - profil

MULTICONSULT AS

Dato:  
06.03.2009

Tegnet:  
EriT

Kontrollert:  
RS

Godkjent:  
OÅ

Oppdrag nr.:  
413211

Tegning nr.:  
90

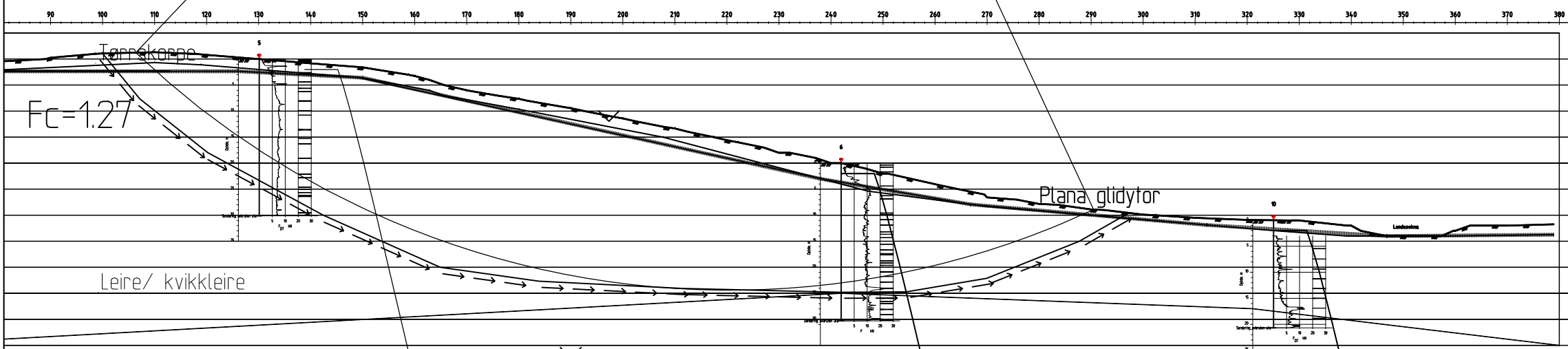
Programrevisjon:  
26.06.2007

Rev.:

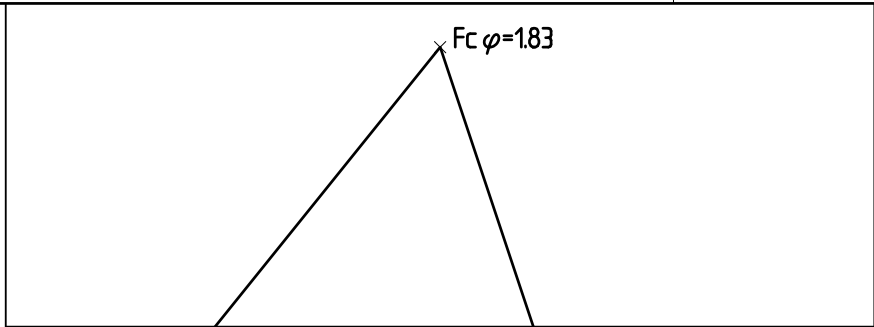
$F_c = 1.28$

×

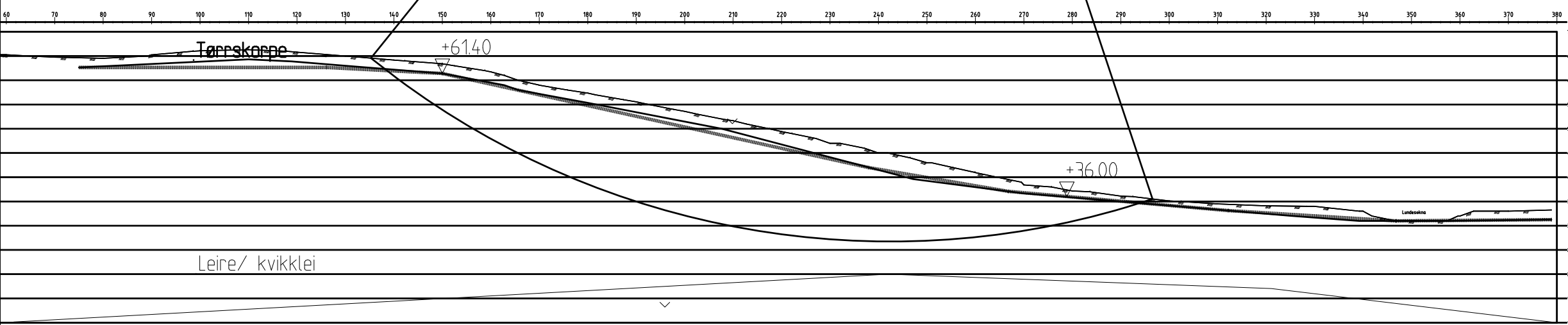
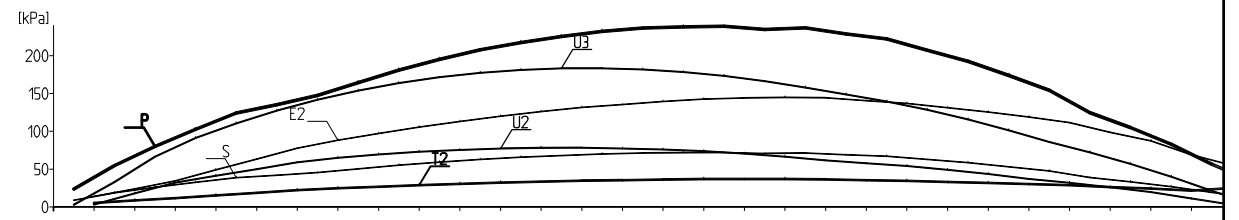
Material	no	Un.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-factor	PWPress.
Tørrskorpe	1	20.00	33.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Leire/ kvikklei	2	20.00	---	---	C-profil	1.00	0.60	0.30	0.00	0.00	0.00
Silt	3	20.00	33.0	0.0					0.00	0.00	0.00



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo Sone 459 Lund	Original format A3	Fag		
	Stabilitetsberegninger GeoSuite Profil A, ADP-analyse dagens tilstand	Tegningens filnavn Profil A_ADP dagens.dwg			
		Underlagets filnavn 459.dxf			
	MULTICONSULT AS 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70	Dato 05.03.2009	Konstr./Tegnet EriT	Kontrollert RS	Godkjent OA
		Oppdragsnr. 413211	Tegningsnr. 102		Rev.
				1:1000	



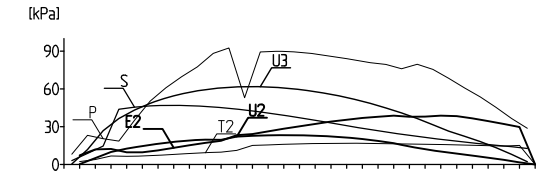
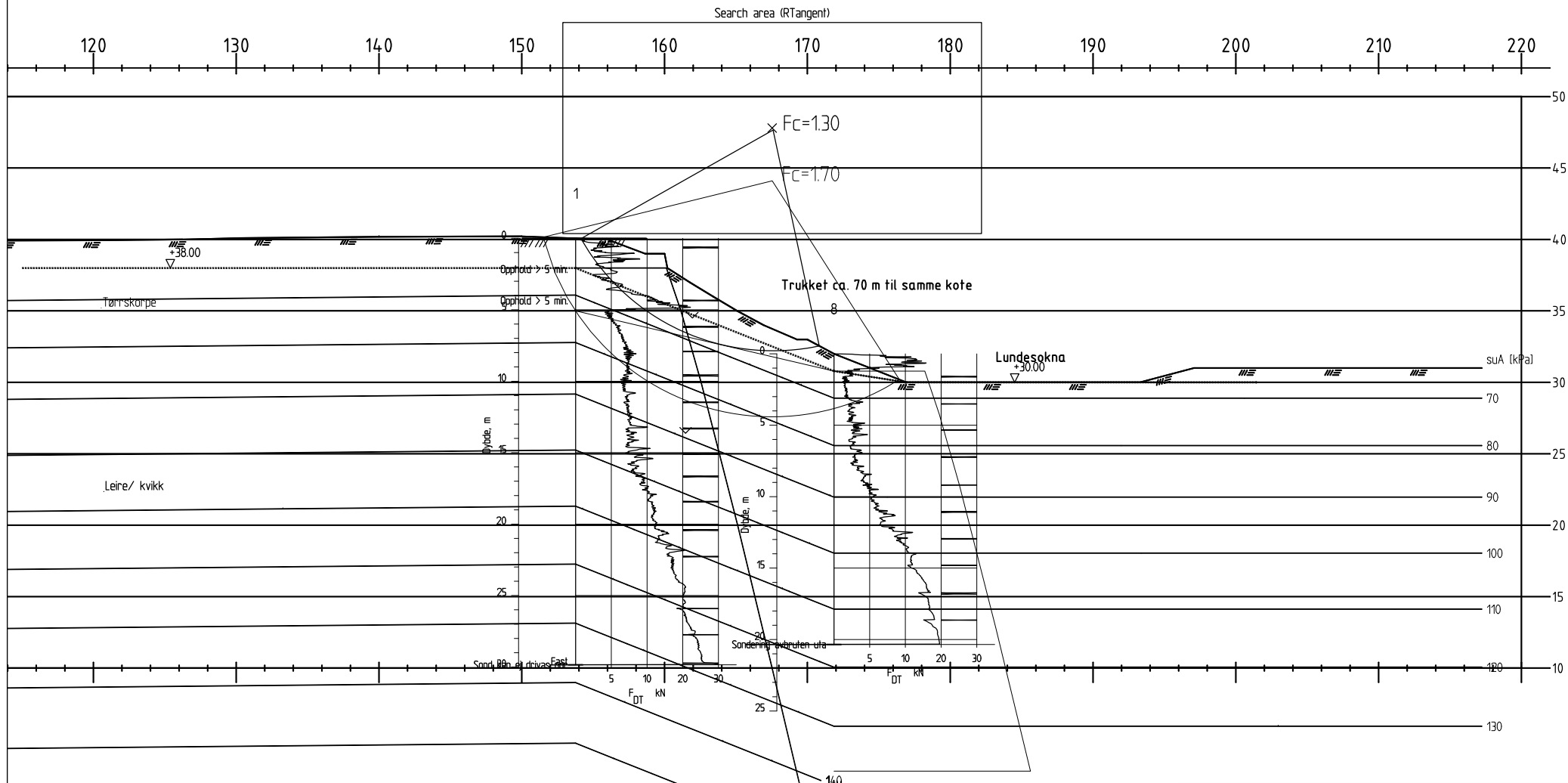
Material	no	Un.Weight	F	C	C	Aa	Ad	Ap	AllGw	Ru-factor	PWPress
Tarrskorpe	1	20.00	33.0	0.0					0.00	0.00	0.00
Leire/ kvikklei	2	20.00	27.9	5.3					0.00	0.00	0.00
Silt	3	20.00	33.0	0.0					0.00	0.00	0.00




01	Nedjustert attraksjon	11.12.2009	EriT	RS	OÅ
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo Sone 459 Lund		Original format A3	Fag		
Stabilitetsberegninger GeoSuite Profil A – Drenert analyse dagens tilstand		Tegningens filnavn Profil A_drenert dagens.dwg		Underlagets filnavn 459.dxf	
MULTICONSULT AS		Dato 06.03.2009	Konstr./Tegnet EriT	Kontrollert RS	Godkjent OÅ
7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70		Oppdragsnr. 413211	Tegningsnr. 103	Rev. 01	

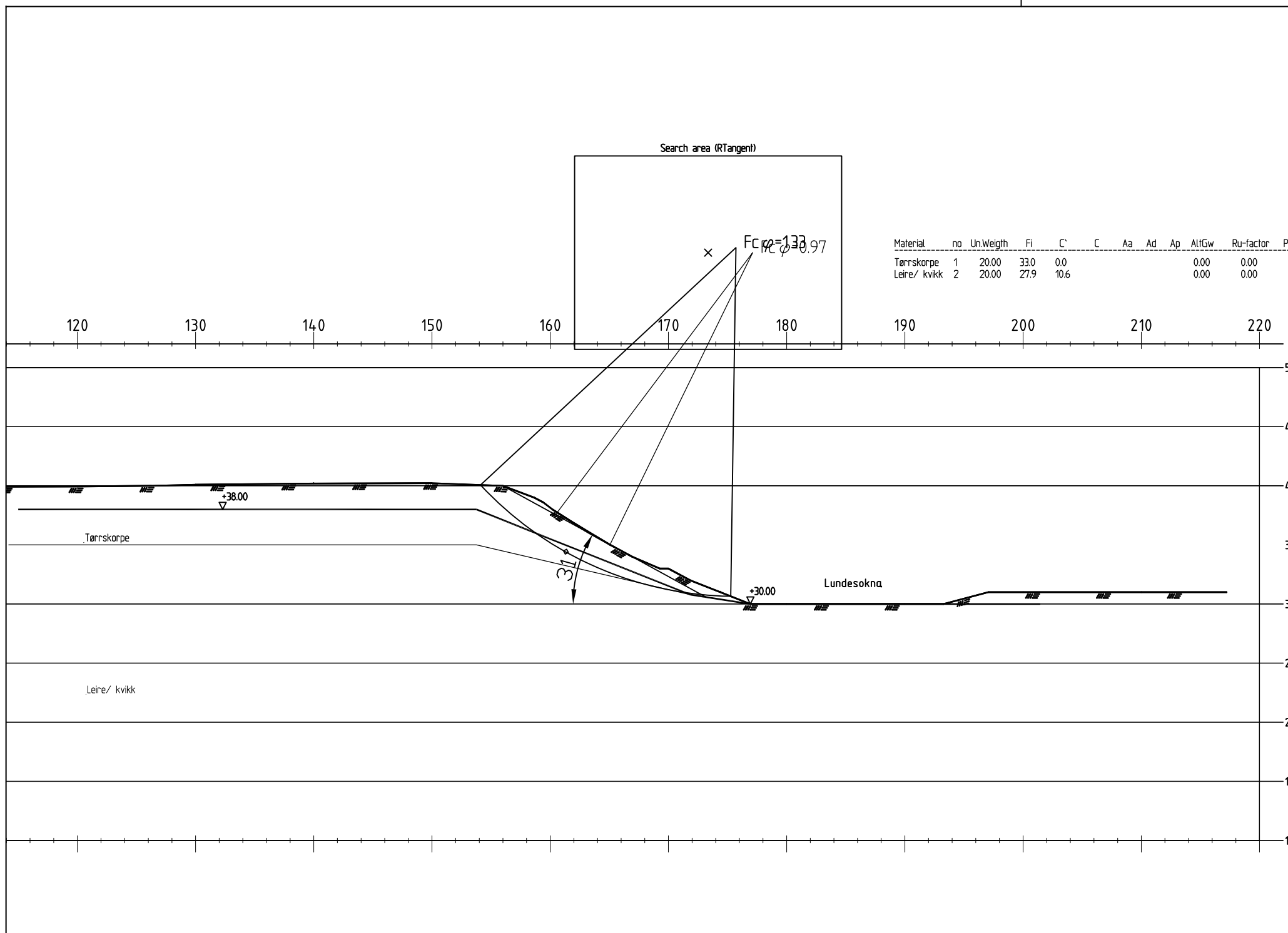


Material	no	Un	Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap	AllGw	Ru-factor	PwPress
Tørnskorpe	1	20.00	330	0.0						0.00	0.00	0.00
Leire	2	20.00	---	---	C-profil	100	0.60	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00

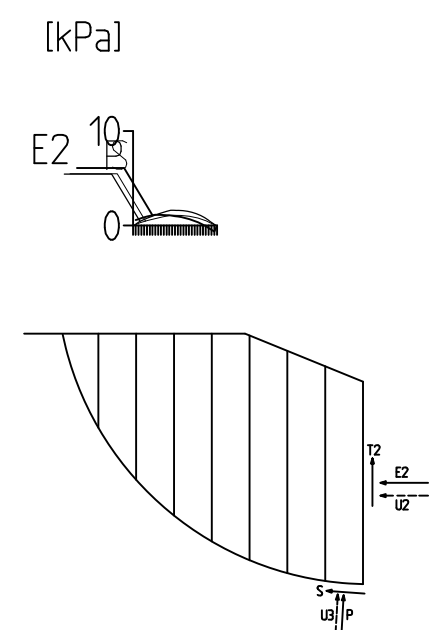


01	Inkludert dyp skjærflate i kvikkeleire	11.12.2009	EriT	RS	OÅ
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo Sone 459 Lund		Original format A3	Fag		
		Tegningens filnavn Profil_B_ADP dagens.dwg			
		Underlagets filnavn 459.dxf			
Stabilitetsberegninger GeoSuite Profil B, ADP-analyse dagens tilstand		1:400			
MULTICONSULT AS 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70	Dato	06.03.2009	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
	Oppdragsnr.	413211	Tegningsnr.	RS	OÅ
			104		01





Material	no	Un	Weight	Fi	C	C	Aa	Ad	Ap	AltGw	Ru-factor	PwPress.
Tørrskorpe	1	20.00	33.0	0.0						0.00	0.00	0.00
Leire/ kvikk	2	20.00	27.9	10.6						0.00	0.00	0.00



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	NVE Kvikkleirekartlegging Lundamo Sone 459 Lund	Original format A3	Fag		
	Stabilitetsberegninger GeoSuite Profil B, Drenert analyse dagens tilstand	Tegningens filnavn Profil_B_drenert dagens.dwg			
		Underlagets filnavn 459.dxf			
		1:400			
	<b>MULTICONSULT AS</b> 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70	Dato 10.03.2009	Konstr./Tegnet EriT	Kontrollert RS	Godkjent OA
		Oppdragsnr. 413211	Tegningsnr. 105		Rev.

