

---

RAPPORT

# Reguleringsplan Sjetne skole

---

OPPDRAGSGIVER

Trondheim kommune

EMNE

Vurdering av skredfare

DATO / REVISJON: 20. mars 2015 / 00

DOKUMENTKODE: 416907-RIG-RAP-002

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAG	Reguleringsplan Sjetne skole			DOKUMENTKODE	416907-RIG-RAP-002
EMNE	Vurdering av skredfare			TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Trondheim kommune			OPPDRAGSLEDER	Signe Gurid Hovem
KONTAKTPERSON	Svein Rodø			UTARBEIDET AV	Emilie Bjarghov
KOORDINATER	SONE: 32	ØST: 5695	NORD: 70275	ANSVARLIG ENHET	3012 Midt Geoteknikk
GNR./BNR./SNR.	232 / 453 / Trondheim				

## SAMMENDRAG

Det skal utarbeides en ny reguleringsplan for Sjetne skole i Sjetnemarka i Trondheim.

I henhold til NVEs retningslinjer 2/2011 med tilhørende veileder 7/2014 er det krav om at reell skredfare, områdestabilitet, skal utredes i forbindelse med reguleringsplan.

Foreliggende rapport inneholder en vurdering av stabilitetsforholdene i området med hensyn på følgende forhold:

- Avgrensning av løснеområdet for kvikkleiresone 214 Sjetnemarka
- Vurdering og avgrensning av sannsynlig utløpsområde for skredmasser
- Avgrensning og faregradsklassifisering av faresonen
- Stabilitetsvurderinger og dokumentasjon av sikkerhet, herunder:
  - Krav til sikkerhet
  - Vurdering av stabilitetskritisk profil
  - Vurdering av skredmekanismer og beregningsmetodikk for stabilitetsberegninger
  - Valg av beregningsparametere
  - Stabilitetsberegninger
  - Vurdering av skredfare

Utførte stabilitetsberegninger for skråningen nordvest for skoleområdet viser tilfredsstillende stabilitet for glideflater som kan tenkes å berøre skoleområdet.

Rambøll AS har tidligere utført en vurdering av den vestlige delen av kvikkleiresonen og har dokumentert tilstrekkelig sikkerhet i henhold til krav om absolutt sikkerhet  $F \geq 1,4$ .

Med bakgrunn i Multiconsults beregninger og tidligere vurderinger og beregninger utført av Rambøll, vurderes stabilitetsforholdene for den delen av kvikkleiresonen som kan berøre reguleringsområdet for å være tilfredsstillende. Tilstrekkelig sikkerhet mot skred for reguleringsområdet vurderes dermed å være dokumentert i henhold til NVEs retningslinjer og kvikkleireveileder.

I forbindelse med videre planlegging av skoleområdet tilrås supplerende undersøkelser for å kartlegge forekomst av sprøbruddmateriale på selve tomta.

Det må utføres geoteknisk prosjektering av planlagt utbygging på skoleområdet.

Våre vurderinger av skredfare gitt i denne rapporten skal kvalitetssikres av uavhengig foretak.

			EMB	SGH	AVK
00	20.3.15	Områdevurdering	Emilie Bjarghov	Signe Gurid Hovem	Arne Vik
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>6</b>
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Myndighetskrav .....	7
1.3	Reguleringsområdet .....	7
<b>2</b>	<b>Arbeidsgrunnlag .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Topografi og grunnforhold .....</b>	<b>8</b>
3.1	Topografi.....	8
3.2	Grunnforhold .....	8
<b>4</b>	<b>Avgrensning av løseområdet for kvikkleiresone Sjetnemarka .....</b>	<b>9</b>
4.1	Generelt .....	9
4.2	Avgrensning av løseområdet for kvikkleiresonen .....	9
<b>5</b>	<b>Vurdering og avgrensning av sannsynlige utløpsområder for skredmasser .....</b>	<b>10</b>
5.1	Generelt .....	10
5.2	Skred nord for skoleområdet (Profil B1 og E) .....	10
5.3	Skred vest for skoleområdet (Profil A1) .....	10
5.4	Skred i skråningen fra Sjetnemarkveien mot nordvest .....	11
<b>6</b>	<b>Avgrensning og faregradsklassifisering av faresonen.....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Stabilitetsvurderinger .....</b>	<b>11</b>
7.1	Krav til sikkerhet .....	11
7.1.1	Generelt .....	11
7.1.2	Bestemmelse av tiltakskategori .....	11
7.1.3	Krav til sikkerhetsnivå .....	11
7.2	Skredteknisk vurdering .....	12
7.3	Stabilitetskritiske profiler.....	12
7.4	Beregningsparametere .....	12
7.5	Stabilitetsberegninger.....	13
7.5.1	Generelt .....	13
7.5.2	Beregningsresultater.....	13
7.6	Vurdering av skredfare .....	14
<b>8</b>	<b>Geotekniske vurderinger for skoleområdet.....</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>15</b>
<b>10</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>15</b>

## VEDLEGG

Vedlegg A - Materialparametere

## TEGNINGER

416907-RIG-TEG-002	Borplan: profiler og klassifisering
416907-RIG-TEG-003	Borplan: kvikkleiresone og utløpsone
416907-RIG-TEG-040.7	CPTU BP 2 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot Bq
416907-RIG-TEG-041.7	CPTU BP 5 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot Bq
416907-RIG-TEG-042.7	CPTU BP 6 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot Bq
416907-RIG-TEG-042.8	CPTU BP 6 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot St, OCR og Ip
416907-RIG-TEG-043.7	CPTU BP 9 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot Bq
416907-RIG-TEG-043.8	CPTU BP 9 Aktiv udrenert skjærfasthet, korrelert mot St, OCR og Ip
416907-RIG-TEG-043.9	CPTU BP 9 SHANSEP
416907-RIG-TEG-043.10	CPTU BP 9 Prekonsolideringsspenning
416907-RIG-TEG-043.11	CPTU BP 9 Overkonsolideringsforhold
416907-RIG-TEG-090.4	CAUa treksforsøk BP 3, tolking NTNU-plott
416907-RIG-TEG-091.4	CAUa treksforsøk BP 6, d = 9,15, tolking NTNU-plott
416907-RIG-TEG-092.4	CAUa treksforsøk BP 6, d = 9,30, tolking NTNU-plott
416907-RIG-TEG-093.4	CAUa treksforsøk BP 6, d = 16,25, tolking NTNU-plott
416907-RIG-TEG-300	Profil B1, lagdeling og stabilitetsberegning, a $\phi$ -analyse
416907-RIG-TEG-301	Profil B1, lagdeling og stabilitetsberegning, ADP-analyse
416907-RIG-TEG-302	Profil E, lagdeling og stabilitetsberegning, a $\phi$ -analyse
416907-RIG-TEG-303	Profil E, lagdeling og stabilitetsberegning, ADP-analyse
416907-RIG-TEG-350	Profil A1, lagdeling
416907-RIG-TEG-351	Profil B1, lagdeling

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Det skal utarbeides en ny reguleringsplan for Sjetne skole i Sjetnemarka i Trondheim. Multiconsult AS er engasjert som geoteknisk rådgiver.

I henhold til TEK10 skal sikkerheten mot skred vurderes for nye tiltak. Ved tiltak i områder med fare for kvikkleireskred skal vurderingene utføres i henhold til NVEs retningslinjer. Tomta ligger nedenfor kvikkleiresone «214 Sjetnemarka», som i henhold til NVE er klassifisert med risikoklasse 3, konsekvensklasse meget alvorlig og lav faregrad. I henhold til NVEs retningslinjer 2/2011 [1] med tilhørende veileder 7/2014 [2] er det krav om at reell skredfare, områdestabilitet, skal utredes i forbindelse med reguleringsplan. Dette innebærer også en vurdering om tiltaket kan bli berørt av et skred utløst utenfor planområdet.

Multiconsult har utført grunnundersøkelser i området i desember 2014 og januar 2015, se rapport nr 416907-RIG-RAP-001 [3].

Foreliggende rapport inneholder en vurdering av stabilitetsforholdene i området med hensyn på følgende forhold:

- Avgrensning av løsneområdet for kvikkleiresone 214 Sjetnemarka
- Vurdering og avgrensning av sannsynlig utløpsområde for skredmasser
- Avgrensning og faregradsklassifisering av faresonen
- Stabilitetsvurderinger og dokumentasjon av sikkerhet, herunder:
  - Krav til sikkerhet
  - Vurdering av stabilitetskritisk profil
  - Vurdering av skredmekanismer og beregningsmetodikk for stabilitetsberegninger
  - Valg av beregningsparametere
  - Stabilitetsberegninger
  - Vurdering av skredfare

Videre er det gitt en vurdering av grunn og fundamenteringsforholdene for selve skoleområdet, herunder en vurdering av faren for overflateskred opp mot Tonstadbrinken.

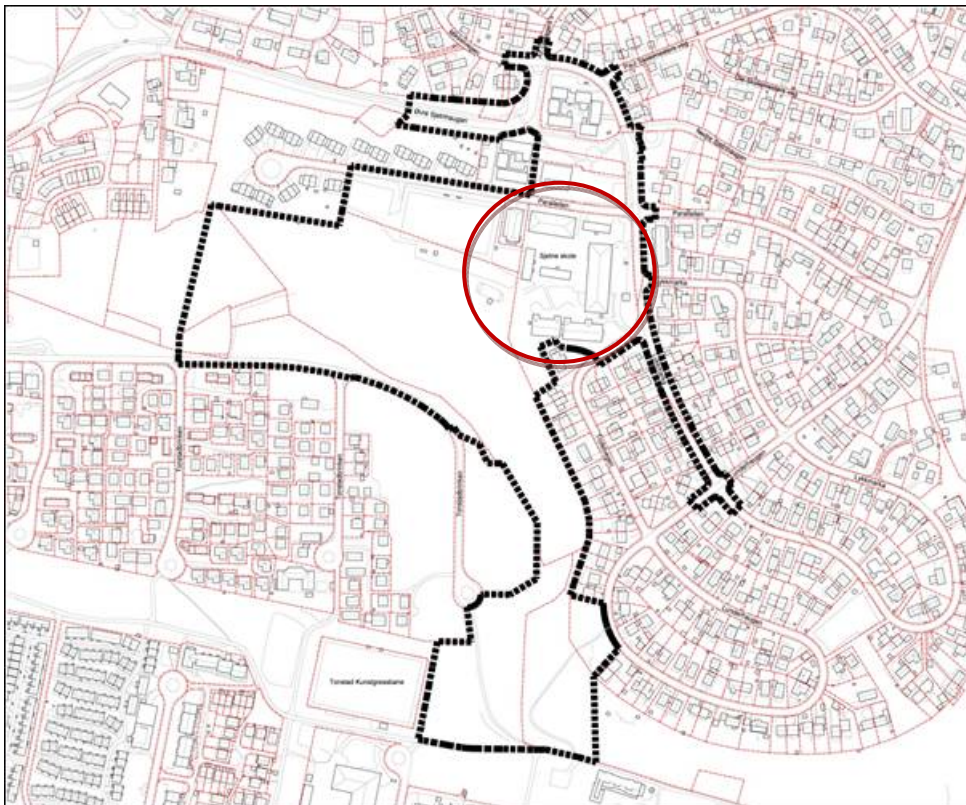
Vurderingene baserer seg på resultater fra tidligere og nye grunnundersøkelser i det aktuelle området, og inkluderer tilgjengelig data for skjærfasthet, konsolideringsparametere og poretrykk som grunnlag for stabilitetsberegninger.

## 1.2 Myndighetskrav

Dette prosjektet er underlagt følgende standarder og retningslinjer:

- TEK10 kap 7
- NVEs Retningslinjer 2/2011, "Flaum- og skredfare i arealplanar" [1]
- NVEs veileder 7/2017, "Sikkerhet mot kvikkleireskred" [2]
- Eurokode 0, Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [4]
- Eurokode 7, Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler [5]

## 1.3 Reguleringsområdet



Figur 1 - Reguleringsområdet. Området for planlagt plassering av skolebygg avmerket med runding.

## 2 Arbeidsgrunnlag

Det er tidligere utført en rekke grunnundersøkelser i området i forbindelse med planlegging av E6, Sjetne skole og barnehage, samt utredning av kvikkleiresonen "214 Sjetnemarka".

Relevante grunnundersøkelser i området er beskrevet i Multiconsults datarapport 416907-RIG-RAP-001 [3]. En oversikt over plassering av de aktuelle tidligere grunnundersøkelsene i området er vist i tegning 416907-RIG-TEG-002.

## 3 Topografi og grunnforhold

### 3.1 Topografi

Terrenget på selve skoleområdet er relativt flatt på rundt kote +108-110. Sør for skolen skråer terrenget med en gjennomsnittlig helning på 1:2,5 opp mot Tonstadbrinken på ca kote +150. Øst for skoleområdet er terrenget relativt flatt. Rundt 300 m nordvest for skolen skråer terrenget opp mot Øvre Sjetnhaugan med en gjennomsnittlig helning på 1:5. 300 m nord for skolen skråer terrenget opp mot Egganvegen med en gjennomsnittlig helning på 1:5.

### 3.2 Grunnforhold

Grunnforhold er nærmere beskrevet i Multiconsults rapport 416907-RIG-RAP-001 [3].

I følge tidligere grunnundersøkelser består grunnen på selve skoletomta av et topplag av rasmasser over fast leire med silt- og finsandlag.

Utførte grunnundersøkelser viser at løsmassene nord og nordvest for skoleområdet består av et topplag av faste friksjonsmasser i 2-5 m mektighet. Derunder er det leire med meget tynne siltlag. Leira er meget fast i toppen, men avtar i styrke i dybden. Fra 10-15 m under terreng har leira sprøbruddsegenskaper.

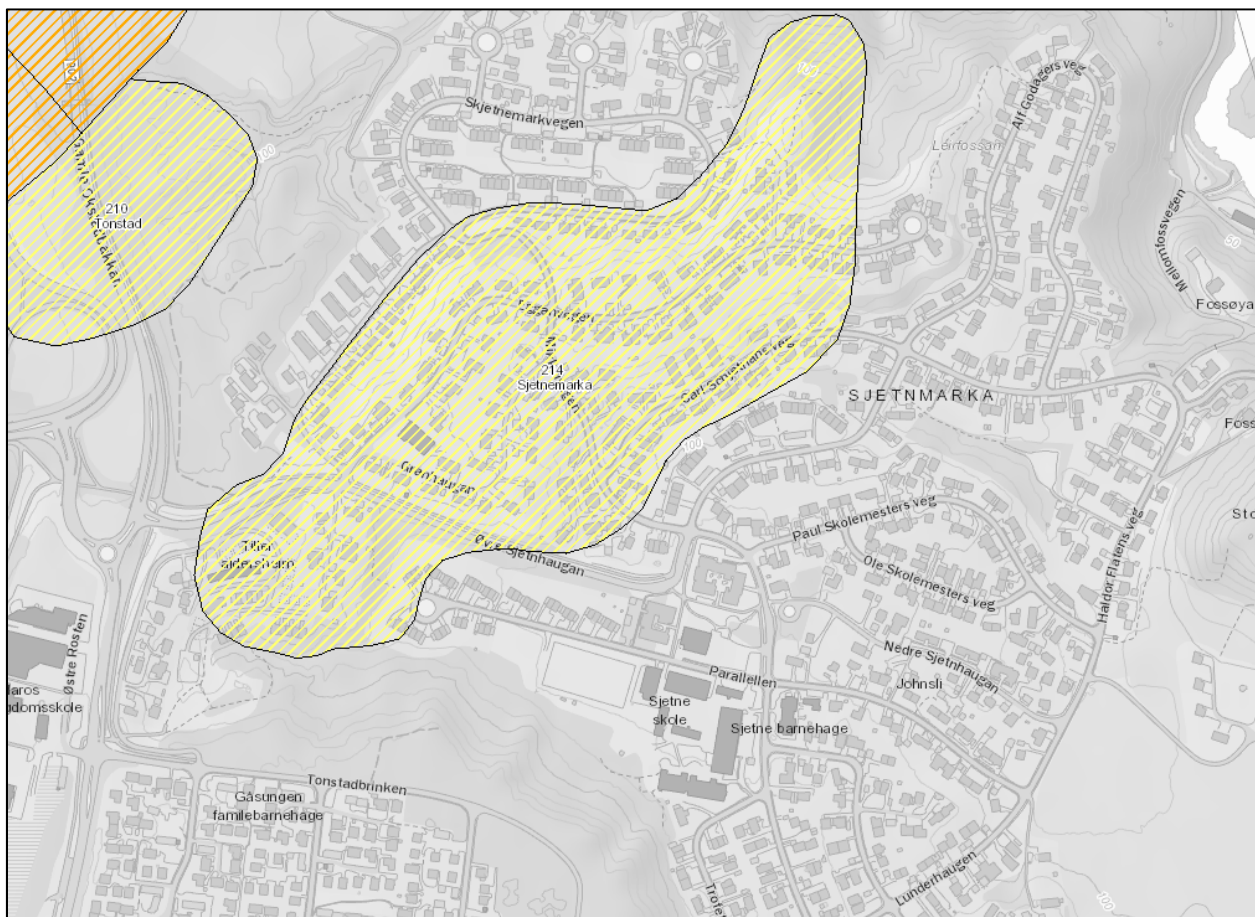
Geotekniske data for borpunkt 3 og 6, samt tolkning av CPTU sondering i borpunkt 5, 6 og 9 er vist i vedlagte tegninger. Underlag for tolkning av CPTU sonderinger (tolket treaksial- og ødometerforsøk) i punkt 3 og 6 er også vist på vedlagte tegninger. Se tegning 416907-RIG-TEG-040.7 til 043.11.



## 4 Avgrensing av løснеområdet for kvikkleiresone Sjetnemarka

### 4.1 Generelt

Reguleringsområdet ligger nedenfor kvikkleiresone Sjetnemarka, se Figur 2, og i henhold til NVEs Veileder nr. 7/2014 [2] skal blant annet sannsynlig løsne- og utløpsområdet for kvikkleiresonen avgrensnes.



Figur 2 – Kvikkleiresone 214 Sjetnemarka (atlas.nve.no), faregrad lav

### 4.2 Avgrensing av løsneområdet for kvikkleiresonen

Sprøbruddmateriale omfatter materiale med sprøbruddsoppførsel, dvs. kvikkleire og sensitive masser. NVEs definisjoner er benyttet. Grunnundersøkelsene i området gir grunnlag for å vurdere utbredelse av sprøbruddmateriale. Basert på tidligere og utførte grunnundersøkelser, samt topografiske forhold er det utarbeidet et forslag til ny avgrensning av kvikkleiresonen Sjetnemarka. Sonen foreslås avgrenset som vist i tegning 416907-RIG-TEG-003. Avgrensningen på selve skoleområdet er usikker. Tidligere grunnundersøkelser på skoleområdet er ikke utført i tilstrekkelig dybde. Det er i våre vurderinger antatt at laget med sprøbruddmateriale strekker seg videre mot skolen, da det ikke eksisterer grunnundersøkelser som avkrefter dette. Løsneområdet for kvikkleiresonen er imidlertid avgrenset inn mot skoleområdet på grunn av flatt terreng. Det anbefales å utføre grunnundersøkelser for videre avgrensning av sonen mot skoleområdet i en senere fase.

Følgende vurdering ligger til grunn for grenselinjen:

- Alle kjente grunnundersøkelser i området er tatt med i vurderingen. Plassering av borpunkt er vist på borplan tegning 416907-RIG-TEG-003.
- Sonen er trukket ut i fra de registrerte boringene med kvikkleire/leire med sprøbruddsegenskaper.
- Sonen er noe avgrenset av topografien i området.

Det er brukt fargekoder for å vise forekomst av kvikkleire og sprøbruddmateriale i de ulike borpunktene:

- Rød: Det er påvist eller antatt kvikkleire/sprøbruddmateriale i borpunktet på bakgrunn av opptatt prøveserie eller sondering.
- Gul/oransje: Det er registrert mulig sprøbruddmateriale i borpunktet basert på sonderinger, men dette er ikke påvist ved prøvetaking.
- Grønn: Det er ikke funnet indikasjoner på sprøbruddmateriale i borpunktet.

## 5 Vurdering og avgrensning av sannsynlige utløpsområder for skredmasser

### 5.1 Generelt

Formålet med å vurdere skredtype og utbredelse av skred er å belyse hvilken utstrekning et eventuelt skred utløst i sonen kan få, og hvilken følgerisiko for skader på bebyggelse nedstrøms sonen et skred kan medføre. I vår vurdering har vi valgt å fokusere på skred ovenfor skoleområdet, i kvikkleiresonen Sjetnemarka. Skoleområdet ligger i utløpssonen for et potensielt skred i denne sonen. Løsneområder med utløpsretning for eventuelle skred i kvikkleiresonen er vist på tegning 416907-RIG-TEG-003.

### 5.2 Skred nord for skoleområdet (Profil B1 og E)

På bakgrunn av topografi og grunnforhold vurderer vi at mest sannsynlig skredtype er et rotasjonsskred. Sprøbruddmaterialet ligger dypt, og en eventuell skredkant vil fylles opp av ikke-sensitive masser og stoppe videre utvikling. Et eventuelt skred i dette området vurderes derfor å ha begrenset utstrekning og i hovedsak kun omfatte det området som direkte berøres av skredet.

Et skredsenario som vurderes mindre reelt, er et bakoverrettet flakskred utviklet fra et initialskred i skråningsfot. Det foreligger ikke en klar utløsende årsak for et slikt skred, men kan i verste fall utløses av poreovertrykk og/eller grunnvannstrømning ved økt nedbør. Sprøbruddmaterialet ligger dypere enn bunnen av skråningen, med stor mektighet av faste friksjonsmasser over. Vi vurderer det derfor som lite sannsynlig et slikt skred kan inntreffe.

Vi har likevel utført stabilitetsberegninger for begge tilfeller for å dokumentere tilstrekkelig sikkerhet, disse er presentert i kap. 7.

### 5.3 Skred vest for skoleområdet (Profil A1)

Også for dette profilet vurderer vi at mest sannsynlig skredtype er et rotasjonsskred. Sprøbruddmaterialet ligger dypt, og en eventuell skredkant vil fylles opp av ikke-sensitive masser og stoppe videre utvikling. Et eventuelt skred i dette området vurderes derfor å ha begrenset utstrekning og i hovedsak kun omfatte det området som direkte berøres av skredet.

Rambøll har på oppdrag for Trondheim Eiendom utført en vurdering av denne delen av kvikkleiresonen og har dokumentert tilstrekkelig sikkerhet i henhold til krav om absolutt sikkerhet  $F \geq$

1,4. Stabilitetsvurderingen er presentert i Rambølls notat 6110730 G-not-001 «Tonstadbrinken – kvikkleirekarlegging og vurdering av områdestabilitet» [6]. Grunnundersøkelser som danner grunnlag for Rambølls vurderinger er presentert i Trondheim kommunes rapport R.1506. Vurderingene er kontrollert av Geovest-Haugland AS, nå Norconsult AS. Multiconsult ble først kjent med Rambølls arbeider etter at grunnundersøkelsene for reguleringsområde på Skjetne skole var utført, og det er derfor utført sonderinger i samme område.

Stabilitetsberegninger er utført i Rambølls Profil I-I, som sammenfaller med Multiconsults Profil A1.

Multiconsults Multiconsult sier seg enig i Rambølls vurderinger på bakgrunn av resultater fra Rambølls og Multiconsults undersøkelser. Multiconsult har derfor ikke utført egne beregninger for denne delen av sonen. Stabiliteten vurderes som tilstrekkelig i denne delen av sonen.

#### 5.4 Skred i skråningen fra Sjetnemarkveien mot nordvest

Dette skredtilfellet vurderes til å ikke kunne ramme skoleområdet siden et eventuelt skred her vil ha utløpsretning i retning nordvest, mot Okstad.

### 6 Avgrensing og faregradsklassifisering av faresonen

Kvikkleiresone «214 Sjetnemarka» er klassifisert med konsekvensklasse 3, lav faregrad og risikoklasse 3. Vi har ikke evaluert sonen på nytt med hensyn på faregrad. Verken utførte grunnundersøkelser eller tiltaket vil etter vårt syn medføre en endring av faregrad.

### 7 Stabilitetsvurderinger

#### 7.1 Krav til sikkerhet

##### 7.1.1 Generelt

Veilederen stiller ulike krav til sikkerhetsmessig vurdering på byggesaksnivå, avhengig av sonens faregradklasse og hvilken tiltakskategori planlagt tiltak faller inn under. Kravet til sikkerhetsnivå er gitt av matrisen presentert i tabell 5.1 i NVEs veileder 7/2014 [2].

##### 7.1.2 Bestemmelse av tiltakskategori

Ingen av de planlagte tiltakene vil ha direkte innvirkning på områdestabiliteten.

Planlagt utbygging for Sjetne skole plasseres i Tiltakskategori K4 (tiltak som medfører større personopphold samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner) i henhold til tabell 5.1 i NVEs veileder [2]. NVEs retningslinjer krever at det må utføres kvalitetssikring av uavhengig foretak på tiltak i tiltakskategori K4.

Øvrige tiltak på planområdet vurderes å havne i tiltakskategori K1 (tiltak med begrenset størrelse og tyngde og med lite personopphold). For slike tiltak er det ingen krav om utredning av sonen eller kvalitetssikring av uavhengig foretak.

Nærmere vurdering av tiltakskategori må utføres når konkrete planer foreligger.

##### 7.1.3 Krav til sikkerhetsnivå

Eurokode 7 [5] stiller krav om en absolutt sikkerhet  $F \geq 1,25$  for effektivspenningsanalyser og  $F \geq 1,4$  for totalspenningsanalyser.

NVEs veileder 7/2014 stiller krav om en absolutt sikkerhet  $F \geq 1,4$  for både effektivspenningsanalyser og totalspenningsanalyser eller en prosentvis forbedring av den sikkerheten.

For områdestabiliteten følger kravene til sikkerhetsnivå i NVEs veileder.

For lokal stabilitet for konkrete utbygginger i kvikkleireområder følger kravene til sikkerhetsnivå i Eurokoden dersom kravene i Eurokoden er strengere enn kravene i NVEs retningslinjer.

## 7.2 Skredteknisk vurdering

Kvikkleira ligger dypt og det er faste friksjonsmasser i foten av skråninga. Det er heller ikke registrert noe erosjon i skråningene. Det er derfor svært liten risiko for at det kan oppstå et initialskred som kan forplante seg inn i sprøbruddsmaterialet.

Den mest sannsynlige skredmekanismen vurderes å være rotasjonsskred med glidesirkler/glideflater i kontakt med kvikkleira. Det er utført stabilitetsanalyser for både sirkulærsylindriske og sammensatte glideflater.

Løsmassene i området består av kohesjonsmasser av leire, med sand- og grusmasser over og under leira. Leira er sensitiv og definert som sprøbruddmateriale. Basert på en totalvurdering legges det til grunn at bruddmekanismen vil være «sprø».

## 7.3 Stabilitetskritiske profiler

Basert på topografi og grunnforhold har profil B1 og E blitt vurdert som kritiske med tanke på skråningsstabilitet. Disse profilene vil i det videre bli benyttet som beregningsprofil for området nord for skolen.

Profil E er vurdert som mest representativt for skråningen ned mot skolen, da profilet går omtrent midt i skråningen og vinkelrett på.

Profil B1 er vurdert som mest kritisk med tanke på skråningsstabilitet da det har størst høydeforskjell og minst sidestøtte (3D-effekt). Profil B1 utgjør derimot en svært liten del av skråningssituasjonen ned mot skolen, og er derfor ikke ansett som det mest representative for stabilitetssituasjonen.

For område nordvest for skoleområdet vurderes profil A1 som mest kritisk profil. Dette profilet sammenfaller med Rambølls profil I-I. Stabiliteten for dette profilet er dokumentert tilfredsstillende i henhold til gjeldende regelverk [2].

Plassering av beregningsprofil er vist på tegning nr. 416907-RIG-TEG-002.

Lagdeling for profil B1 og E er tolket og er lagt til grunn for stabilitetsanalysene, se tegning nr. 416907-RIG-TEG-300 til 303. Lagdeling for profil A1 og B1 er også tolket og vedlagt på tegning 416907-RIG-TEG-350 og -351.

## 7.4 Beregningsparametere

Bestemmelse av parametere er gjennomgått i detalj i Vedlegg A.

Tabell 1 - Materialparametere, drenerte analyser

Lag	Tyngdetetthet $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Friksjonsvinkel $\phi$	$\tan \phi$	Attraksjon $a$ [kPa]	Kohesjon $c$
Grus/sand	19	38	0,78	10	7,8

Fast leire	20,5	28,8	0,55	10	5,5
Leire	21	28,8	0,55	10	5,5
Sprøbruddmateriale	21	28,8	0,55	10	5,5
Grus/sand	19	38	0,78	10	7,8

## 7.5 Stabilitetsberegninger

### 7.5.1 Generelt

I foreliggende rapport er stabilitetsberegninger for profil B1 og E presentert. Beregningene er utført for eksisterende situasjon.

Stabilitetsanalysene er beregnet både ved udrenert totalspenningsanalyse (ADP-analyse) og ved drenert effektivspenningsanalyse ( $\alpha\phi$ -analyse).

Det er benyttet trafikkklaster i foreliggende rapport. Trafikklast fra veg nedenfor midten av skrånningen er ikke tatt med, da dette vil virke stabiliserende. I tillegg er det benyttet terrenglast i boligfeltene.

En detaljert gjennomgang av forutsetninger i stabilitetsberegninger er gitt i Vedlegg A.

### 7.5.2 Beregningsresultater

I Tabell 2 er sikkerhetsfaktor  $\gamma_m$  for vurderte skjærflater presentert for beregninger med både ADP- og  $\alpha\phi$ -analyse.

Det er gitt flere detaljer rundt beregningsresultatene i Vedlegg A.

Tabell 2 - Oppsummering av beregningsresultater

Tegning nr.	Beregning	Analyse	Absolutt sikkerhet F
416907-RIG-TEG-300	Profil B1, optimalisert glideflate	$\alpha\phi$	2,18
416907-RIG-TEG-300	Profil B1, sirkulærsylindrisk glideflate	$\alpha\phi$	2,10
416907-RIG-TEG-300	Profil B1, sammensatt glideflate	$\alpha\phi$	2,30
416907-RIG-TEG-301	Profil B1, optimalisert glideflate	ADP	1,29
416907-RIG-TEG-301	Profil B1, sirkulærsylindrisk glideflate	ADP	1,28
416907-RIG-TEG-301	Profil B1, sammensatt glideflate	ADP	1,39
416907-RIG-TEG-302	Profil E, overflateutglidning	$\alpha\phi$	1,56
416907-RIG-TEG-302	Profil E, sirkulærsylindrisk glideflate	$\alpha\phi$	2,17
416907-RIG-TEG-302	Profil E, sammensatt glideflate	$\alpha\phi$	3,01
416907-RIG-TEG-302	Profil E, optimalisert glideflate	$\alpha\phi$	2,52

416907-RIG-TEG-303	Profil E, optimalisert glideflate	ADP	1,51
416907-RIG-TEG-303	Profil E, sirkulærsylindrisk glideflate	ADP	1,45
416907-RIG-TEG-303	Profil E, sammensatt glideflate	ADP	1,51

## 7.6 Vurdering av skredfare

Alle beregninger med unntak av ett tilfelle for profil B1, viser at krav til total sikkerhet  $F \geq 1,4$  er oppfylt. Udrenert analyse (ADP) for profil B1 viser beregningsmessig sikkerhet under kravet på  $F \geq 1,4$ . Profil B1 går langs en terrengrygg, og vurderes å ikke være representativ for områdestabiliteten, da det ikke er en plan tilstand. Resultatet for den udrenerte analysen i profil B1 er typisk for slike høye skråninger. Glidesirkelen går svært dypt under terreng. Dersom en slik udrenert situasjon skal oppstå, må drivende krefter økes, for eksempel ved oppfylling på toppen av skråninga eller motstanden mot glidning reduseres, for eksempel ved utgraving i bunn av skråningen. Med bakgrunn i topografi og grunnforhold må en slik ytre påvirkning være betydelig for at det skal oppnås en udrenert situasjon i de underliggende massene med sprøbruddegenskaper. De udrenerte analysene tillegges derfor liten vekt i vår vurdering av stabiliteten for Profil B1.

Videre vurderes at profil B1 utgjør en svært liten del av skråningssituasjonen ned mot skolen, og er derfor ikke ansett som det mest representative for stabilitetssituasjonen.

Med bakgrunn i Multiconsults beregninger og tidligere vurderinger og beregninger utført av Rambøll [6] vurderes stabilitetsforholdene å være tilfredsstillende for den delen av kvikkleiresonen som kan berøre reguleringsområdet. Tilstrekkelig sikkerhet mot skred for reguleringsområdet vurderes dermed å være dokumentert i henhold til NVEs retningslinjer og kvikkleireveileder.

## 8 Geotekniske vurderinger for skoleområdet

I følge tidligere undersøkelser utført av Rambøll (Kummeneje) og Trondheim kommune, består løsmassene av et topplag av rasmasser over fast leire med silt- og finsandlag. Ved direkte fundamentering av bygg må det påregnes masseutskiftning av eventuelle bløte og humusholdige masser.

Det er høy grunnvannstand i området, noe som kan føre til problemer med vanninntrenging i byggegrop da grunnen inneholder lag med sand og silt.

Grunn- og fundamenteringsforhold må vurderes nærmere i senere planfaser. Det vurderes at det vil være behov for supplerende grunnundersøkelser for bygg i prosjekteringsfasen.

Det er stedvis dårlig stabilitet i skråningen opp mot Tonstadbrinken sør og vest på planområdet. Grunnen i skråningen består av vekslende lag av leire, sand og finsand, med høy grunnvannstand i skråningsfoten og stedvis i skråningen. En eventuell utglidning i skråningen vurderes å ha begrenset utstrekning og dagens situasjon med tett vegetasjon antas å være tilfredsstillende.

Ved en eventuell graving i foten av skråningen må tilstrekkelig overflatestabilitet dokumenteres, både under gjennomføring og etter ferdigstillelse. Tiltak for å hindre overflateglidninger i skråningen bør vurderes dersom utbyggingen planlegges tett inntil skråningen.

## 9 Konklusjon

Utførte stabilitetsberegninger viser tilfredsstillende stabilitet for glideflater som kan tenkes å berøre skoleområdet. Tilstrekkelig sikkerhet mot skred for reguleringsområdet vurderes dermed å være dokumentert i henhold til NVEs retningslinjer og kvikkleireveileder.

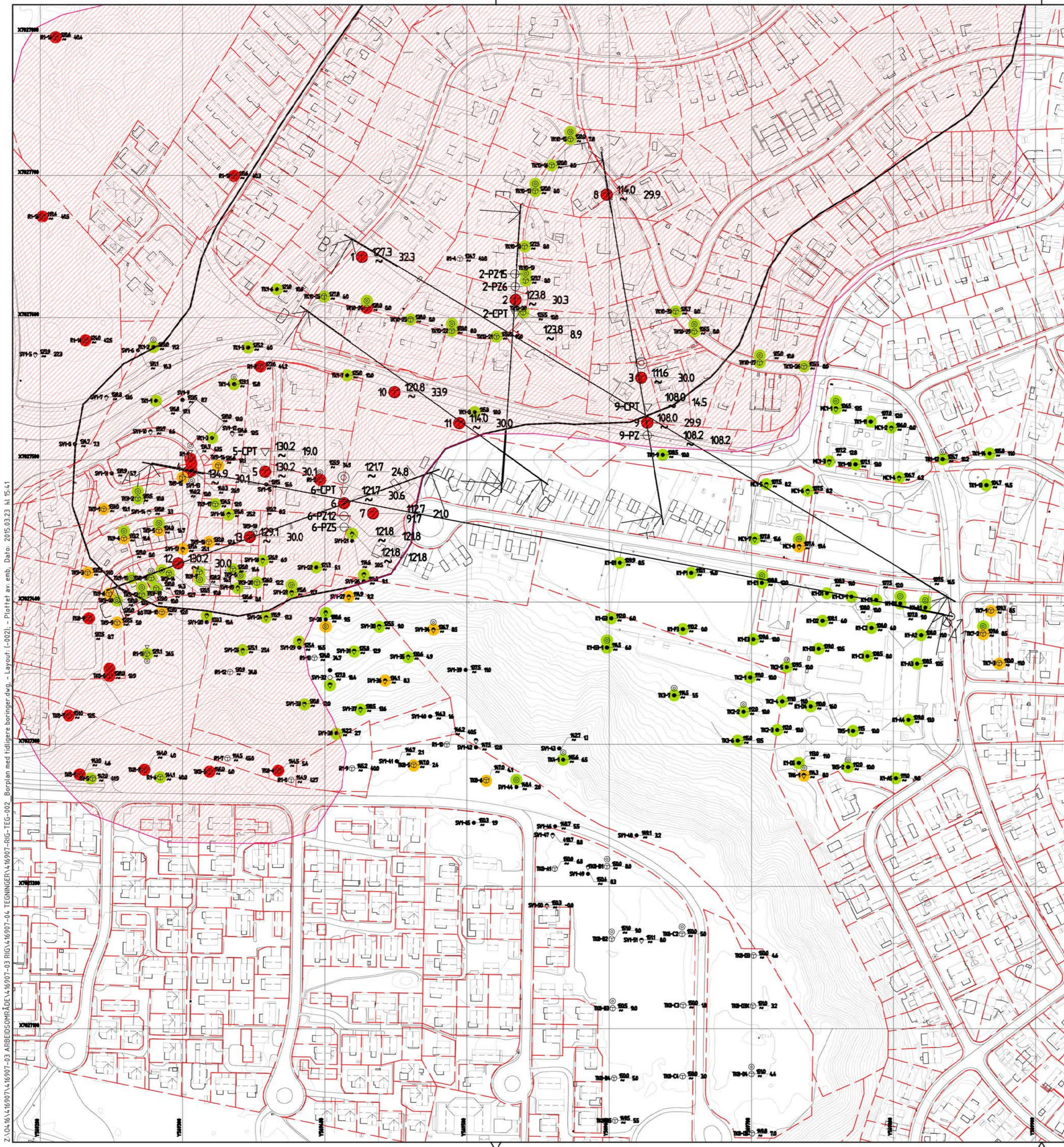
I forbindelse med videre planlegging av skoleområdet tilrås supplerende undersøkelser for å kartlegge forekomst av sprøbruddmateriale på selve tomta.

Det må utføres geoteknisk prosjektering av planlagt utbygging på skoleområdet.

Våre vurderinger av skredfare gitt i denne rapporten skal kvalitetssikres av uavhengig foretak. Trondheim kommune har engasjert Obron AS til å ivareta dette.

## 10 Referanser

- [1] (NVE) Norges vassdrags- og energidirektorat, "Flaum- og skredfare i arealplanar," NVE, Oslo, NVE retningslinjer Retningslinjer nr. 2-2011, Apr. 2011.
- [2] Norges vassdrags- og energidirektorat, "Sikkerhet mot kvikkleireskred : vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper," NVE, Oslo, Veileder 7-2014, Apr. 2014.
- [3] Multiconsult AS, "Reguleringsplan Sjetne skole, grunnundersøkelser," Trondheim, Datarapport geotekniske grunnundersøkelser 416907-RIG-RAP-001, Feb. 2015.
- [4] Standard Norge, "Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner," Standard Norge, Norsk standard (Eurokode) NS-EN 1990:2002+NA:2008, Apr. 2002.
- [5] Standard Norge, "Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler," Standard Norge, Norsk standard (Eurokode) NS-EN 1997-1:2004+NA:2008, Nov. 2004.
- [6] Rambøll Norge AS, "Tonstadbrinken – kvikkleirekarlegging og vurdering av områdestabilitet," Kvikkleireutredning 6110730 G-not-001, Jan. 2012.



**FORKLARING:**

**TEGNFORKLARING:**

- DREIESONDERING
- ENKEL SONDERING
- ▼ RAMSONDERING
- ▽ TRYKSONDERING
- ⊕ TOTALSONDERING
- ⊙ PRØVESERIE
- PRØVEGROP
- ◆ DREI TRYKSONDERING
- ⊠ SKRUPLATEFORSØK
- + VINGEBORING
- ⊖ PORETRYK MÅLING
- ⊕ KJERNEBORING
- ⊠ FJELLKONTROLLBORING
- ⊠ BERG I DAGEN

KARTGRUNNLAG: Digitalt kart fra scsi  
 KOORDINATSYSTEM: UTM Sone 32V  
 HØYDEREFERANSE: NN 2000  
 UTGANGSPUNKT FOR NIVELLEMENT: GPS GLONAS CPDS  
 BORBOK NR: 416907-1  
 LAB.BOK NR: 416907-1

EKSEMPEL  
 BP 1 ⊕  $\frac{430}{282}$  14,8 +2,4 — BORET DYBDE + BORET I BERG  
 ANTATT BERGKOTE

**KLASSIFISERING AV BORPUNKT:**

- PÅVIST KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE
- MULIG KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE
- IKKE PÅVIST KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE

**HENVISNINGER:**

**TIDLIGERE BORINGER:**

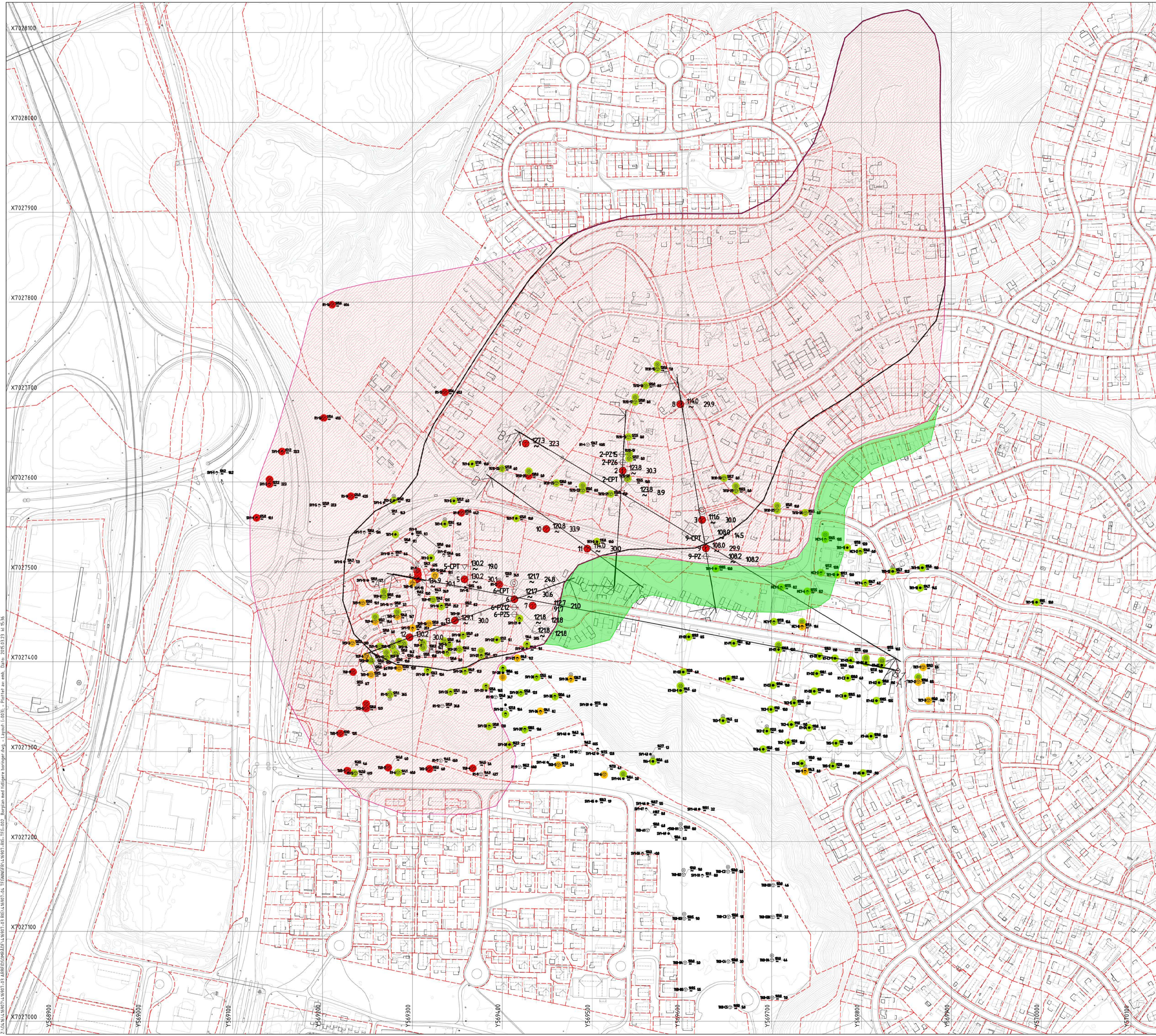
Tidligere boringer er opplyst fra scannet kopi og kan ha noe avvik. Tidligere boringer er angitt med indekser foran borhullsnr.

K1-X BORINGER FRA KUMMENEJE RAPPORT NR. 0.731 (1968) "Barneskole/dreiesplass Sjetnemarka"  
 MC1-X BORINGER FRA MULTICONSULT RAPPORT NR. 411179-1 (2005) "Sjetnemarka seniorboliger"  
 SV1-X BORINGER FRA STATENS VEGVESEN RAPPORT NR. U 142A-1 del 1 og 2 (1979) "Ytre ringveg parsell Tonstad-Nidelva"  
 TK1-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.0516 (1980) "Ytre Ringveg alt. gjennom Sjetnemarka"  
 TK2-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025 (1997) "Sjetne fotballhall"  
 TK3-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025-2 (1998) "Sjetne fotballhall alt. beliggenhet"  
 TK4-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025-3 (2000) "Sjetne fotballbane"  
 TK5-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1086 (1999) "Sjetne skole"  
 TK6-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1086-2 (2003) "Sjetne skole"  
 TK7-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1194 (2003) "Sjetne barnehage"  
 TK8-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1207 (2003) "Tonstad boligområder"  
 TK9-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1207-2 (2005) "Tonstad boligområde, Tonstadbrinken 2"  
 TK10-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1420 (2008) "Sjetnemarka"  
 R1-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1512 (VURDERING RAMBØLL RAPPORT NR. 6110703)

Z:\04\16\16907\16907-03\ARBEIDSDOK\16907-03\TEGNINGEN\16907-03\_RIG-TEG-002\_Borplan med tidligere boringer.dwg - Layout: L-0021 - Plottet av: amb. Dato: 2015.03.23 kl. 15:41

00	Klassifisering av borpunkter, plassering profiler	18.3.2015	EMB	SGH	ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Reguleringsplan Sjetne skole			Geoteknikk	AZ	
Vurdering av skredfare			Dato	18.3.2014	
Borplan			Format/Målestokk:	1:2000	
Klassifisering av borpunkter, plassering profiler			Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert
Multiconsult			Utsendt	EMB	SGH
www.multiconsult.no			Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Godkjent
			416907	RIG-TEG-002	ARV
					Rev.
					00





**FORKLARING:**

**TEGNFORKLARING:**

- DRIESONDERING
- ⊙ PRØVESERIE
- ⊖ ENKEL SONDERING
- PRØVEGROP
- ▽ RAMSONDERING
- ⚡ DREITRYKSONDERING
- ▽ TRYKSONDERING
- ⊠ SKRUPLATEFORSØK
- ⊕ TOTALSONDERING
- + VINGEBORING
- ⊖ PORETRYKTMÅLING
- ⊕ KJERNEBORING
- ⊕ FJELLKONTROLLBORING
- ⊕ BERG I DAGEN

KARTGRUNNLAG: Digitalt UTM Zone 32V  
 KOORDINATSYSTEM: N 2000  
 HØYDEREFERANSE: UTM  
 UTGANGSPUNKT FOR NIVELLEMENT: GPS GLONAS CPDS  
 BØRNBOK NR: 148  
 LABBOK NR: 282

EXEMPEL: TERRENGKOTE/SJØBNOKOTE  
 BP 1 430 282 14.8 +2.4 — BØRET DYBDE + BØRET I BERG  
 ANTATT BERGKOTE

**KLASSIFISERING AV BØRPUNKT:**

- PÅVIST KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE
- MULIG KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE
- IKKE PÅVIST KVIKKLEIRE/SPRØBRUDDMATERIALE

⊖ KVIKKLEIRESONE - FORSLAG TIL NY AVGRENSING

○ KVIKKLEIRESONE NVE

● UTLØPSSONE

**HENVISNINGER:**

**TIDLIGERE BORINGER:**

Tidligere boringer er opplyst fra skanne kopi og kan ha noe avvik.  
 Tidligere boringer er angitt med indekser foran boringsnr.

K1-X BORINGER FRA KLIMMENEJE RAPPORT NR. 0.731 (1968) "Barneskole/Adreffglass Sjetnemarka"  
 M1-X BORINGER FRA MULTICONSULT RAPPORT NR. 4.1197-1 (2005) "Sjetnemarka seniorboliger"  
 SV1-X BORINGER FRA STATENS VEGVESEN RAPPORT NR. U 142A-1 del 1 og 2 (1979) "T're ringveg parsell Tonstad-Ndelva"  
 TK1-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.0516 (1980) "T're Ringveg alt. gjennom Sjetnemarka"  
 TK2-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025 (1997) "Sjetne fotballhall"  
 TK3-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025-2 (1998) "Sjetne fotballhall alt. beliggenhet"  
 TK4-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1025-3 (2000) "Sjetne fotballbane"  
 TK5-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1086 (1999) "Sjetne skole"  
 TK5-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1086-2 (2003) "Sjetne skole"  
 TK7-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1104 (2003) "Sjetne barnehage"  
 TK9-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1207 (2005) "Tonstad boligområde, Tonstadbrinken 2"  
 TK10-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1420 (2008) "Sjetnemarka"  
 R1-X BORINGER FRA TRONDHEIM KOMMUNE RAPPORT NR. R.1512 (VURDERING RAMBOLL RAPPORT NR. 610703)



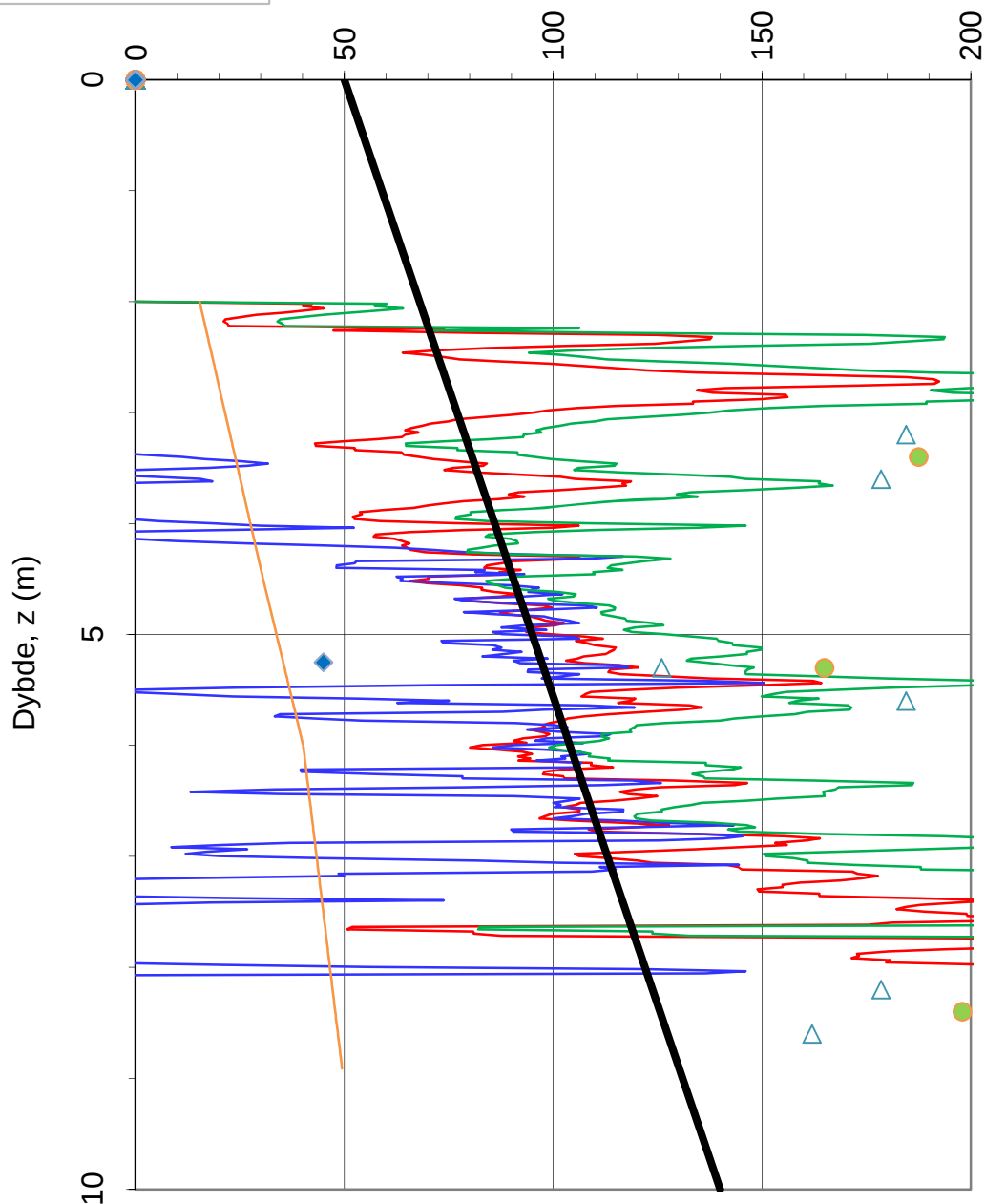
Z:\04\14897\14897\_02\_ABBEGRUNN\14897\_02\_BORINGSPLAN\14897\_02\_TEGNINGER\14897\_02\_TEG-002\_Boringsplan med tidligere boringer.dwg - Lagret: 2015.03.23 kl. 15:36  
 Plottet av: smh Date: 2015.03.23 kl. 15:36

01		18.3.2015	EMB	SGH	ARY
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Code
	Trondheim kommune				Format A1
	Reguleringsplan Sjetne skole				Dato 18.3.2015
	Vurdering av skredfare				Format 1:2000
	Borplan				
	Kvikkleiresone "214 Sjetnemarka", utløpssone				
Multiconsult		Status Utstedt	Konstr./Tegnet EMB	Kontrollert SGH	Godkjent ARY
www.multiconsult.no		Oppdragsnr. 416907	Tegningsnr.	RIG-TEG-003	Rev. 00

**OBS!**

**Fast leire regnes som drenert i beregningene.**

Udrenert skjærfasthet,  $c_{uA}$  (kN/m<sup>2</sup>)



- $c_{uA}$ ,  $N_{kt}=f(B_q)$
- $c_{uA}$ ,  $N_{Du}=f(B_q)$
- $c_{uA}$ ,  $N_{ke}=f(B_q)$
- $c_u$ ,  $N_C$ ,  $a(p_o'+a)$
- △  $c_{uk}$ , konus
- $c_{ue}$ , enaks
- ◆  $c_{utc}$ , treaks
- $c_{uA}$ , designlinje

$N_{kt} = (18,7-12,5 \cdot B_q)$   
 $N_{Du} = (1,8+7,25 \cdot B_q)$   
 $N_{ke} = (13,8-12,5 \cdot B_q)$

$\alpha_c$  valgt: **0,32**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver:

**Trondheim kommune**

Oppdrag:

**Sjetne skole**

Tegningens filnavn:

RIG-BER-001\_CPTU2

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , korrelert mot  $B_q$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

2

Sonde:

4672

**MULTICONSULT AS**

Dato:

07.01.2015

Tegnet:

EMB

Kontrollert:

SGH

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

416907

Tegning nr.:

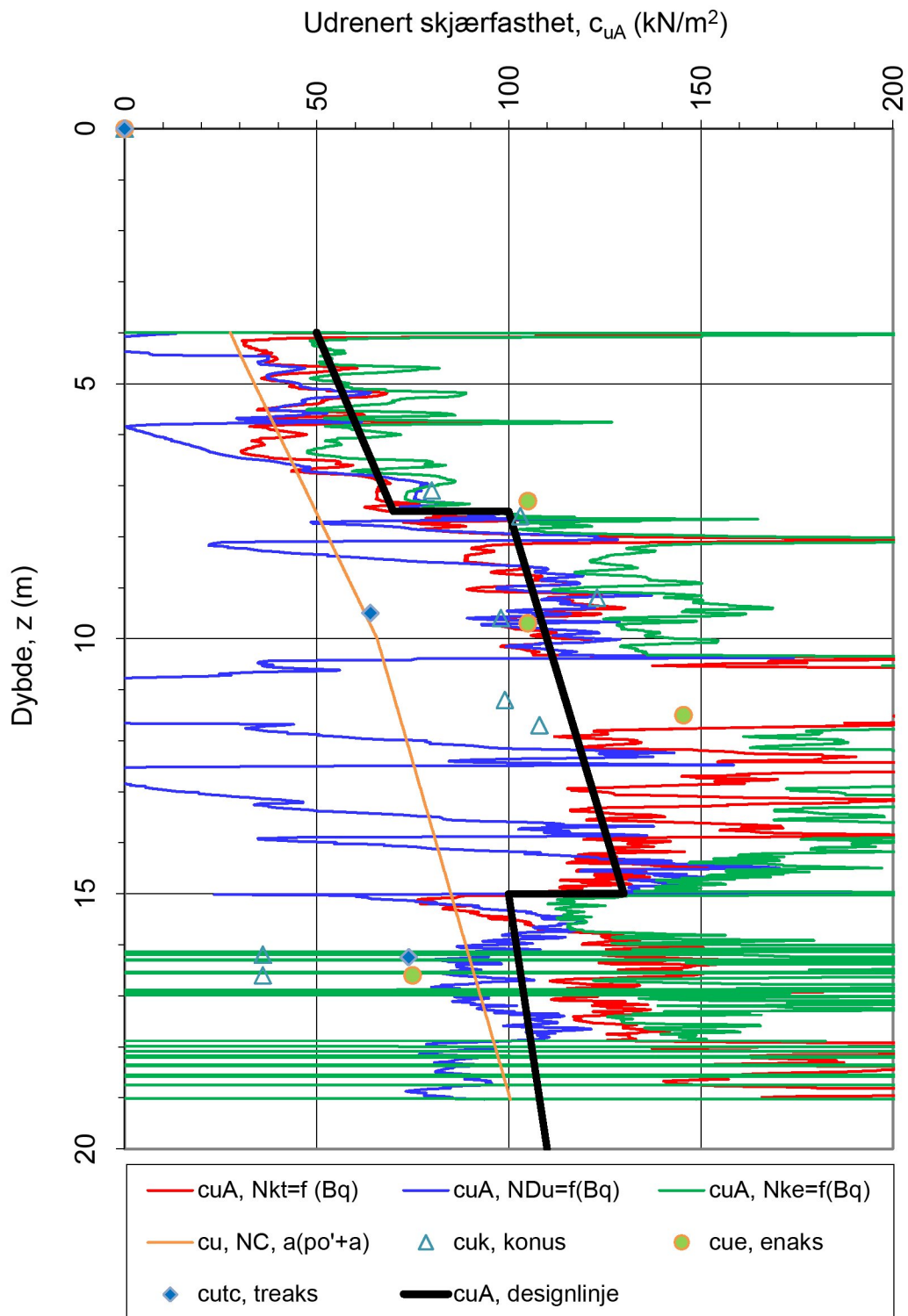
040.7

Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

0

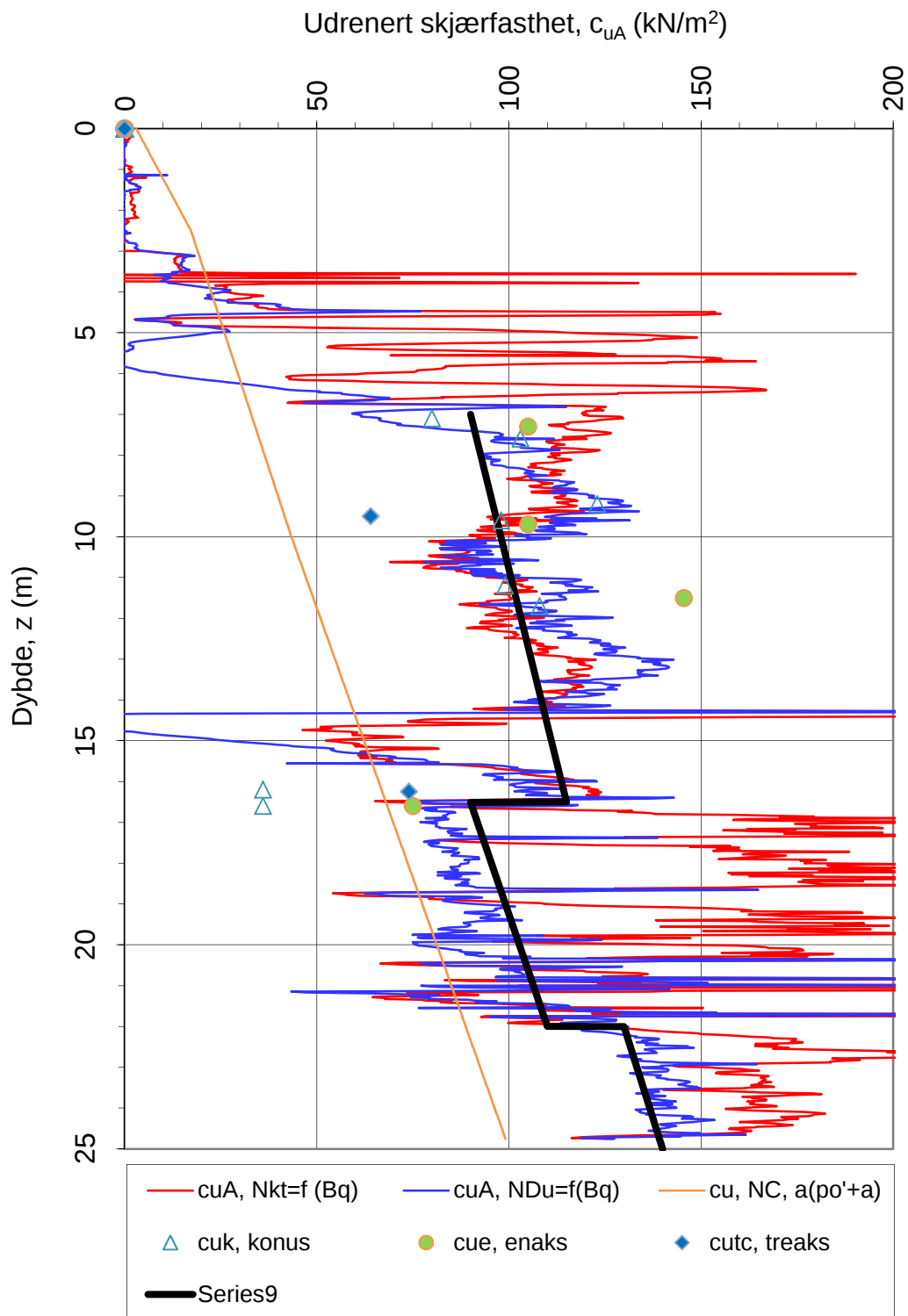


Nkt = (18,7-12,5·Bq)  
 NDu = (1,8+7,25·Bq)  
 Nke = (13,8-12,5·Bq)

$\alpha_c$  valgt: **0,32**

Referansem metode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver: <b>Trondheim kommune</b>		Oppdrag: <b>Sjetne skole</b>		Tegningens filnavn: RIG-BER-002_CPTU5
Aktiv udrenert skjærfasthet $c_{uA}$ , korrelert mot $B_q$ .				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	5	Sonde:	4672	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 07.01.2015	Tegnet: EMB	Kontrollert: SGH	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: 041.7	Versjon: 04.12.2014	Revisjon: 0



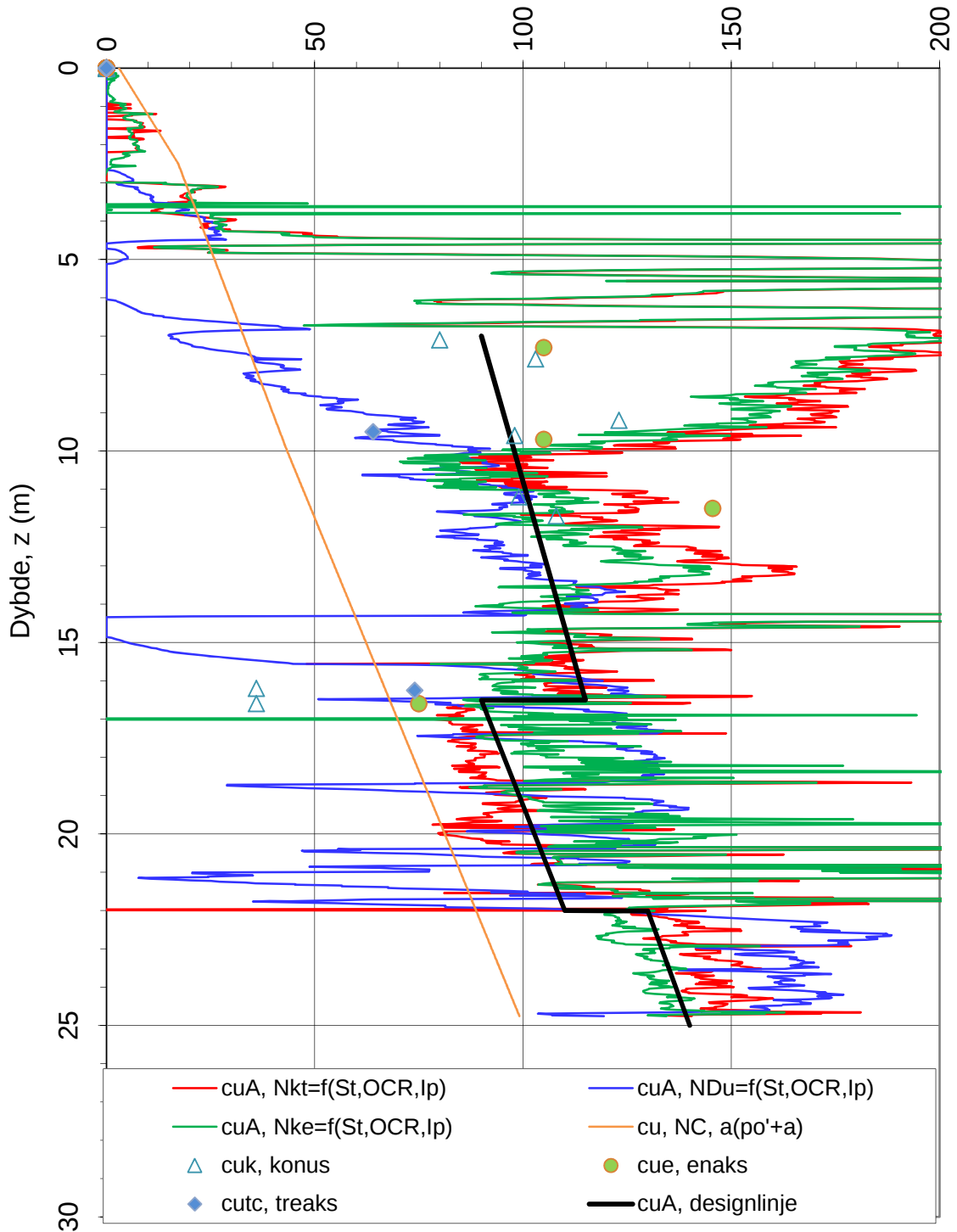
Nkt = (18,7-12,5·Bq)  
 NDu = (1,8+7,25·Bq)  
 Nke = (13,8-12,5·Bq)

$\alpha_c$  valgt: **0,3**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver: <b>Trondheim kommune</b>		Oppdrag: <b>Sjetne skole</b>		Tegningens filnavn: RIG-BER-003_CPTU6
Aktiv udrenert skjærfasthet $c_{uA}$ , korrelert mot $B_q$ .				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	6	Sonde:	4672	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 07.01.2015	Tegnet: EMB	Kontrollert: SGH	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: 042.7	Versjon: 04.12.2014	Revisjon: 0

Udrenert skjærfasthet,  $c_{uA}$  (kN/m<sup>2</sup>)



Sensitivitetsvalg:

**St < 15**

$$N_{kt} = (7,8 + 2,5 \log OCR + 0,082 I_p)$$

$$N_{du} = (6,9 - 4 \log OCR + 0,07 I_p)$$

$$N_{ke} = (11,5 - 9,05 B_q)$$

$\alpha_c$  valgt: **0,3**

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

**Trondheim kommune**

Oppdrag:

**Sjetne skole**

Tegningens filnavn:

RIG-BER-003\_CPTU6

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , korrelert mot  $S_t$ , OCR og  $I_p$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

6

Sonde:

4672

**MULTICONSULT AS**

Dato:

07.01.2015

Tegnet:

EMB

Kontrollert:

SGH

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

416907

Tegning nr.:

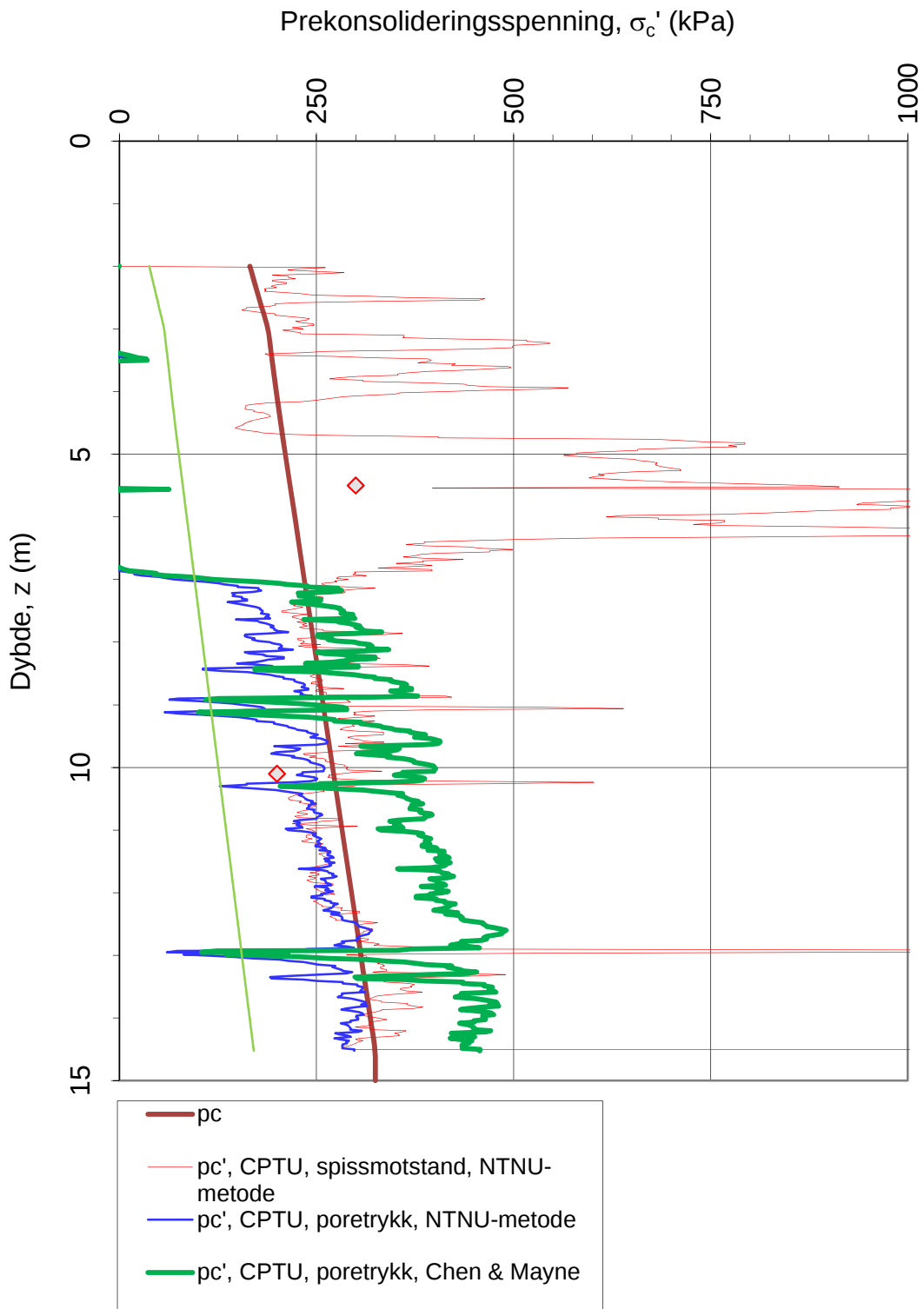
042.8

Versjon:

04.12.2014

Revisjon:

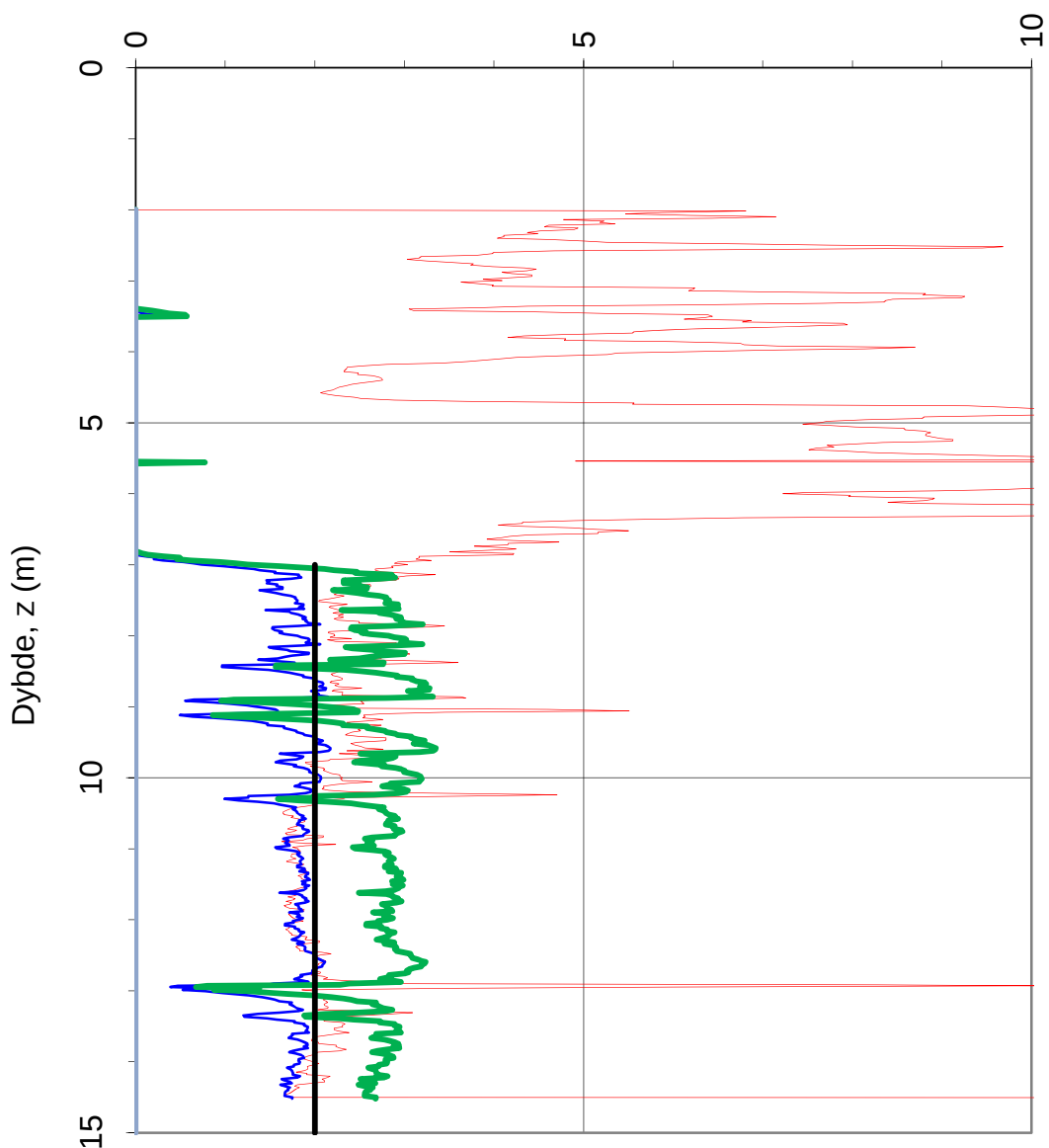
0



Referansemetoder 1 og 2: NTNU Senneset, Sandven & Janbu (1989)  
Referansemetode 3: Chen & Mayne (1996)

Oppdragsgiver: <b>Trondheim kommune</b>		Oppdrag: <b>Sjetne skole</b>		Tegningens filnavn: RIG-BER-004_CPTU9
Prekonsolideringsspenning $\sigma_c'$ :				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	9	Sonde:	4672	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 07.01.2015	Tegnet: EMB	Kontrollert: SGH	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: 043.10	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0

Prekonsolideringsforhold,  $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v0}$  (-)



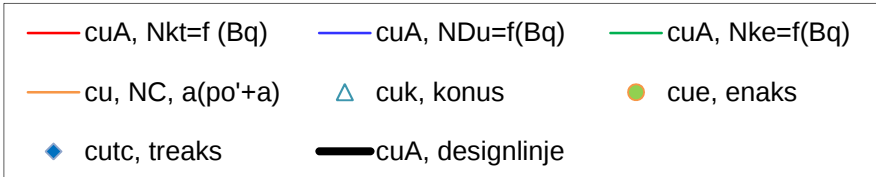
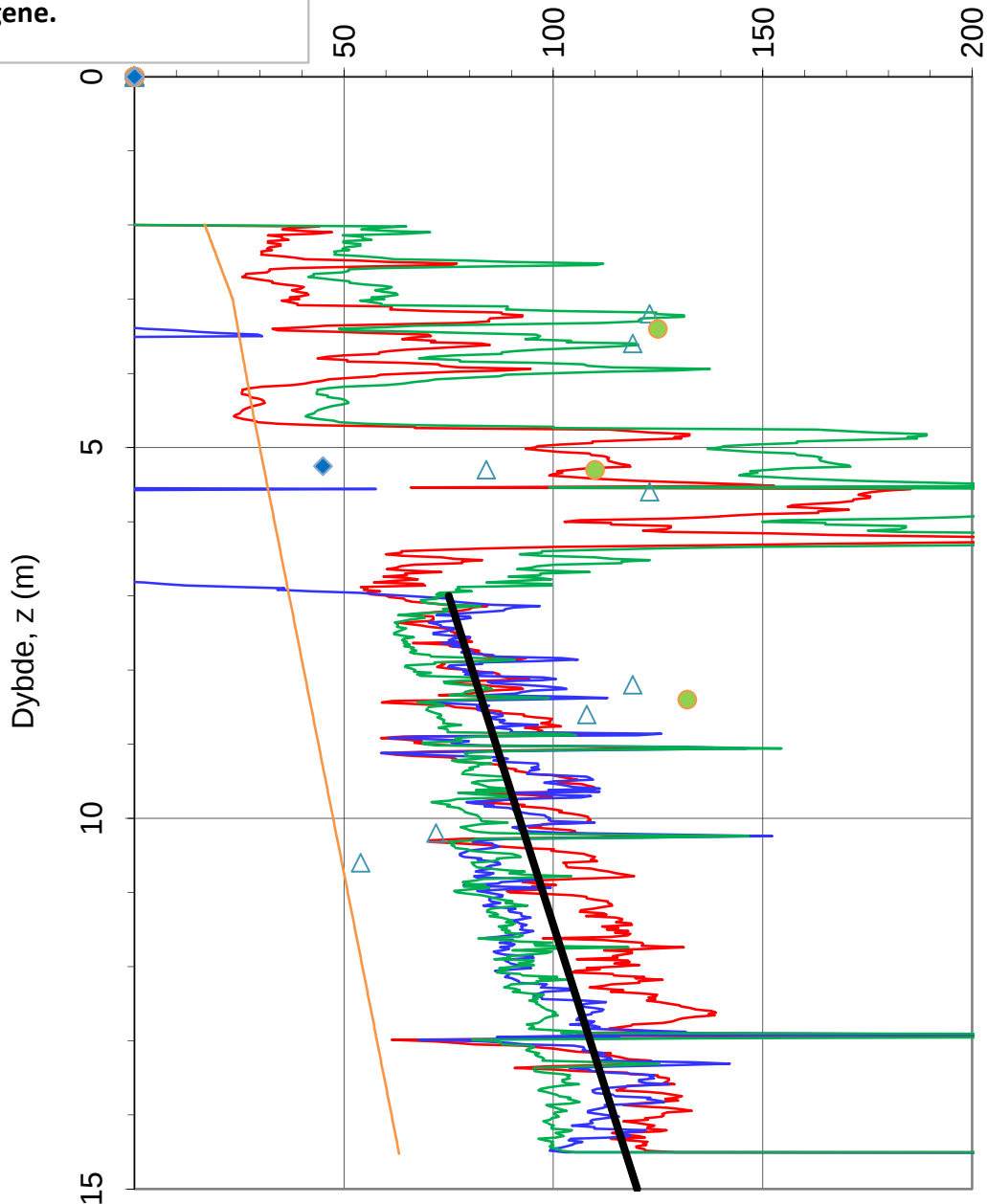
- OCR, CPTU, spissmotstand, NTNU-metode
- OCR, CPTU, poretrykk, NTNU-metode
- OCR, CPTU, poretrykk, Chen & Mayne
- ◊ OCR, ødometer, enkelldata
- OCR, ødometer, funksjon

Referansemetoder 1 og 2: NTNU Senneset, Sandven & Janbu (1989)  
 Referansemetode 3: Chen & Mayne (1996)

Oppdragsgiver: <b>Trondheim kommune</b>		Oppdrag: <b>Sjetne skole</b>		Tegningens filnavn: RIG-BER-004_CPTU9
Overkonsolideringsforhold, $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v0}$ :				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	9	Sonde:	4672	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 07.01.2015	Tegnet: EMB	Kontrollert: SGH	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: 043.11	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0

**OBS! Rutinedata fra BP 3.**  
**Styrkeparametere er redusert**  
**med ytterligere 10 % fra 10 m i**  
**beregningene.**

Udrenert skjærfasthet,  $c_{uA}$  (kN/m<sup>2</sup>)



$N_{kt} = (18,7-12,5 \cdot B_q)$   
 $N_{Du} = (1,8+7,25 \cdot B_q)$   
 $N_{ke} = (13,8-12,5 \cdot B_q)$

$\alpha_c$  valgt: **0,35**

Referansem metode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver:

**Trondheim kommune**

Oppdrag:

**Sjetne skole**

Tegningens filnavn:

RIG-BER-004\_CPTU9

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , korrelert mot  $B_q$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

9

Sonde:

4672

**MULTICONSULT AS**

Dato:

07.01.2015

Tegnet:

EMB

Kontrollert:

SGH

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

416907

Tegning nr.:

043.7

Versjon:

01.10.2014

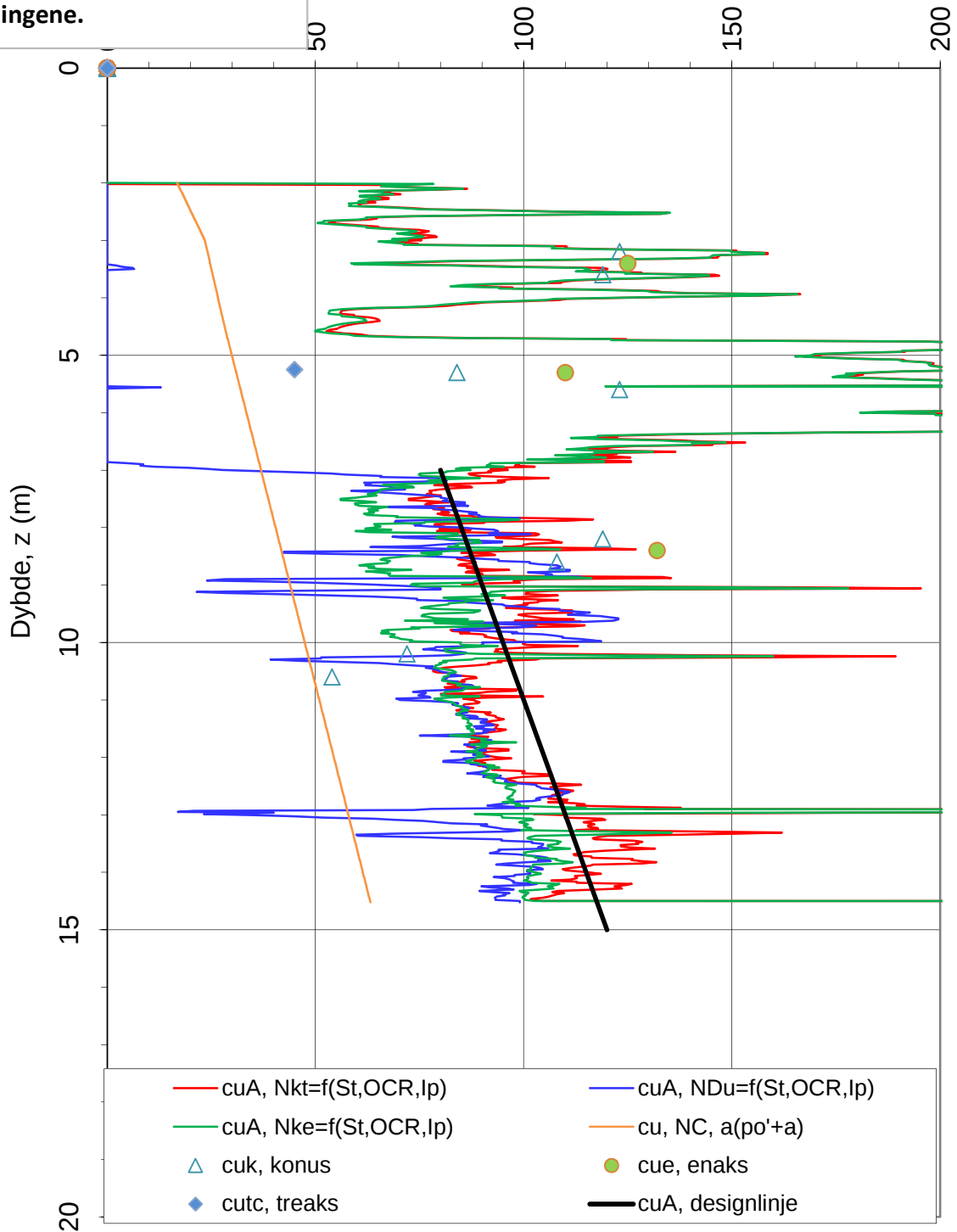
Revisjon:

0



**OBS! Rutinedata fra BP 3.**  
**Styrkeparametere er redusert med ytterligere 10 % fra 10 m i beregningene.**

Udrenert skjærfasthet,  $c_{uA}$  (kN/m<sup>2</sup>)



- $c_{uA}$ ,  $N_{kt}=f(St,OCR,I_p)$
- $c_{uA}$ ,  $N_{ke}=f(St,OCR,I_p)$
- $c_{uA}$ ,  $N_{du}=f(St,OCR,I_p)$
- $c_u$ ,  $N_C$ ,  $a(p_o'+a)$
- △  $c_{uk}$ , konus
- $c_{ue}$ , enaks
- ◆  $c_{utc}$ , treaks
- $c_{uA}$ , designlinje

Sensitivitetsvalg:

**St < 15**

$\alpha_c$  valgt:

**0,35**

$$N_{kt} = (7,8 + 2,5 \log OCR + 0,082 I_p)$$

$$N_{du} = (6,9 - 4 \log OCR + 0,07 I_p)$$

$$N_{ke} = (11,5 - 9,05 B_q)$$

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

**Trondheim kommune**

Oppdrag:

**Sjetne skole**

Tegningens filnavn:

RIG-BER-004\_CPTU9

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , korrelert mot  $S_t$ , OCR og  $I_p$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

9

Sonde:

4672

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
07.01.2015

Oppdrag nr.:  
416907

Tegnet:  
EMB

Tegning nr.:  
043.8

Kontrollert:  
SGH

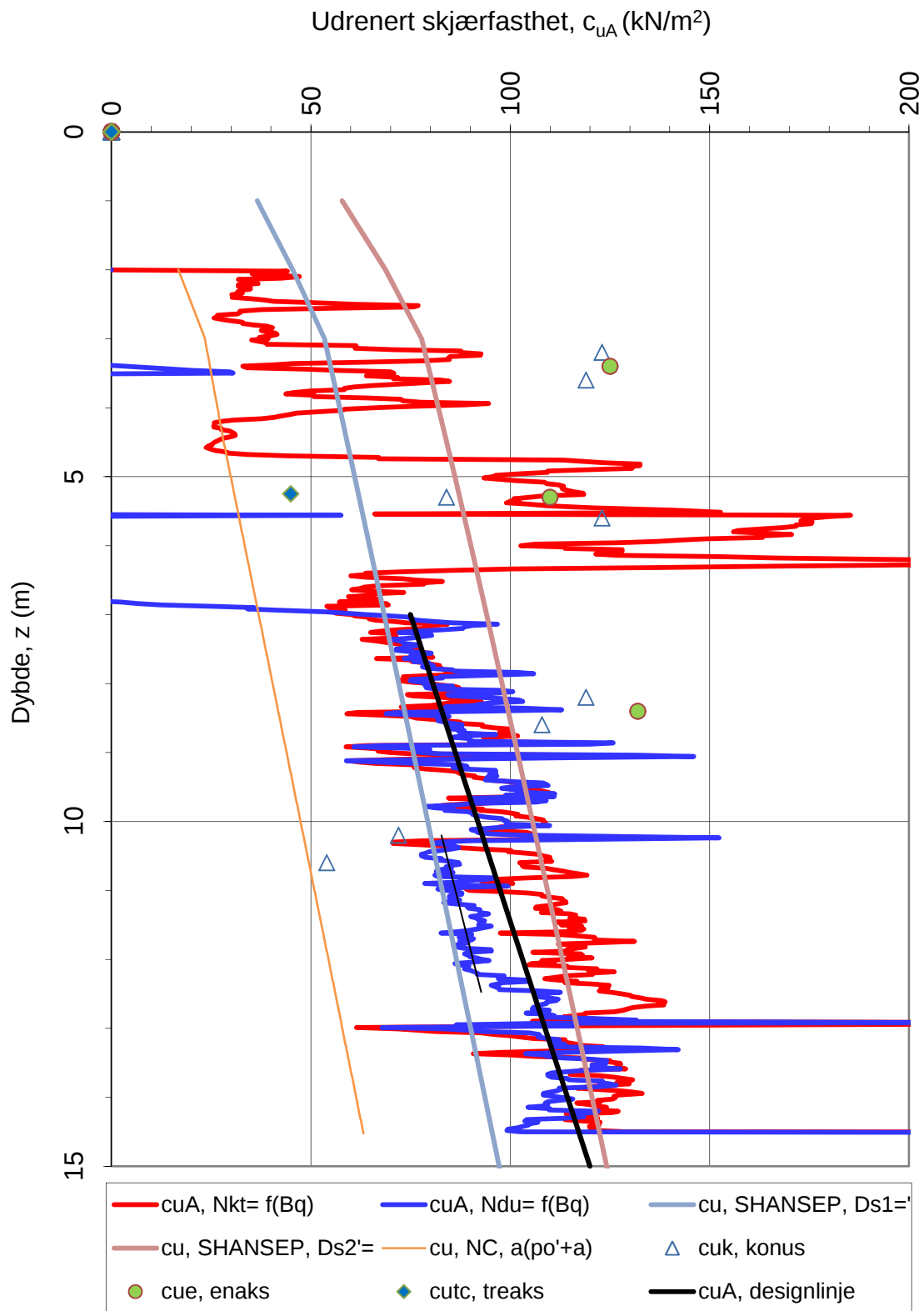
Versjon:  
01.10.2014

Godkjent:

ARV

Revisjon:

0



$N_{kt}$ : (18,7-12,5 $B_q$ )

$\alpha_c$  valgt: 0,35

$N_{du}$ : (1,8+7,25 $B_q$ )

Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver:

**Trondheim kommune**

Oppdrag:

**Sjetne skole**

Tegningens filnavn:

RIG-BER-004\_CPTU9

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , verdier fra SHANSEP-analyse.

**Multiconsult**

CPTU id.:

9

Sonde:

4672

**MULTICONSULT AS**

Dato:

07.01.2015

Tegnet:

EMB

Kontrollert:

SGH

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

416907

Tegning nr.:

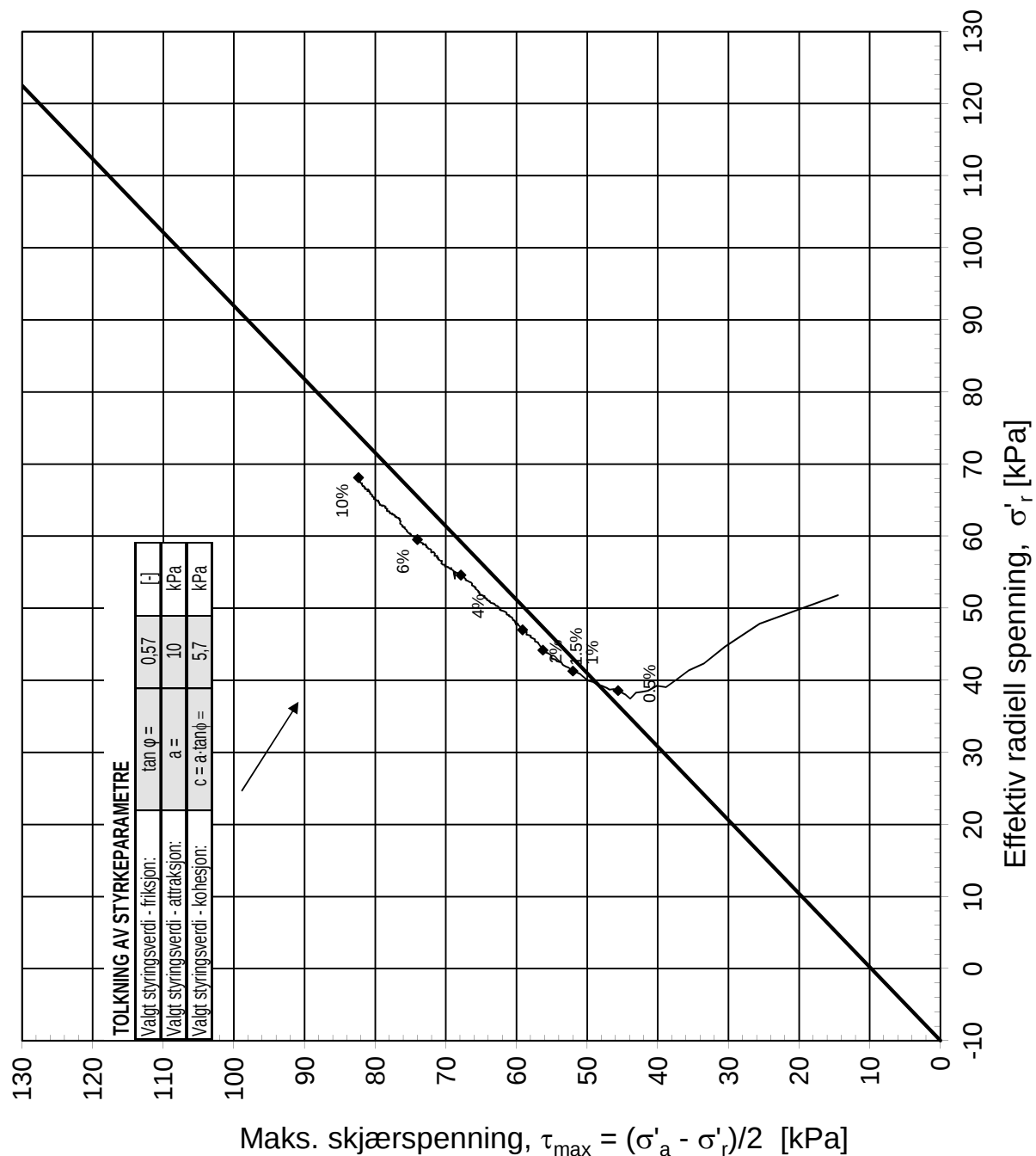
043.9

Versjon:

01.10.2014

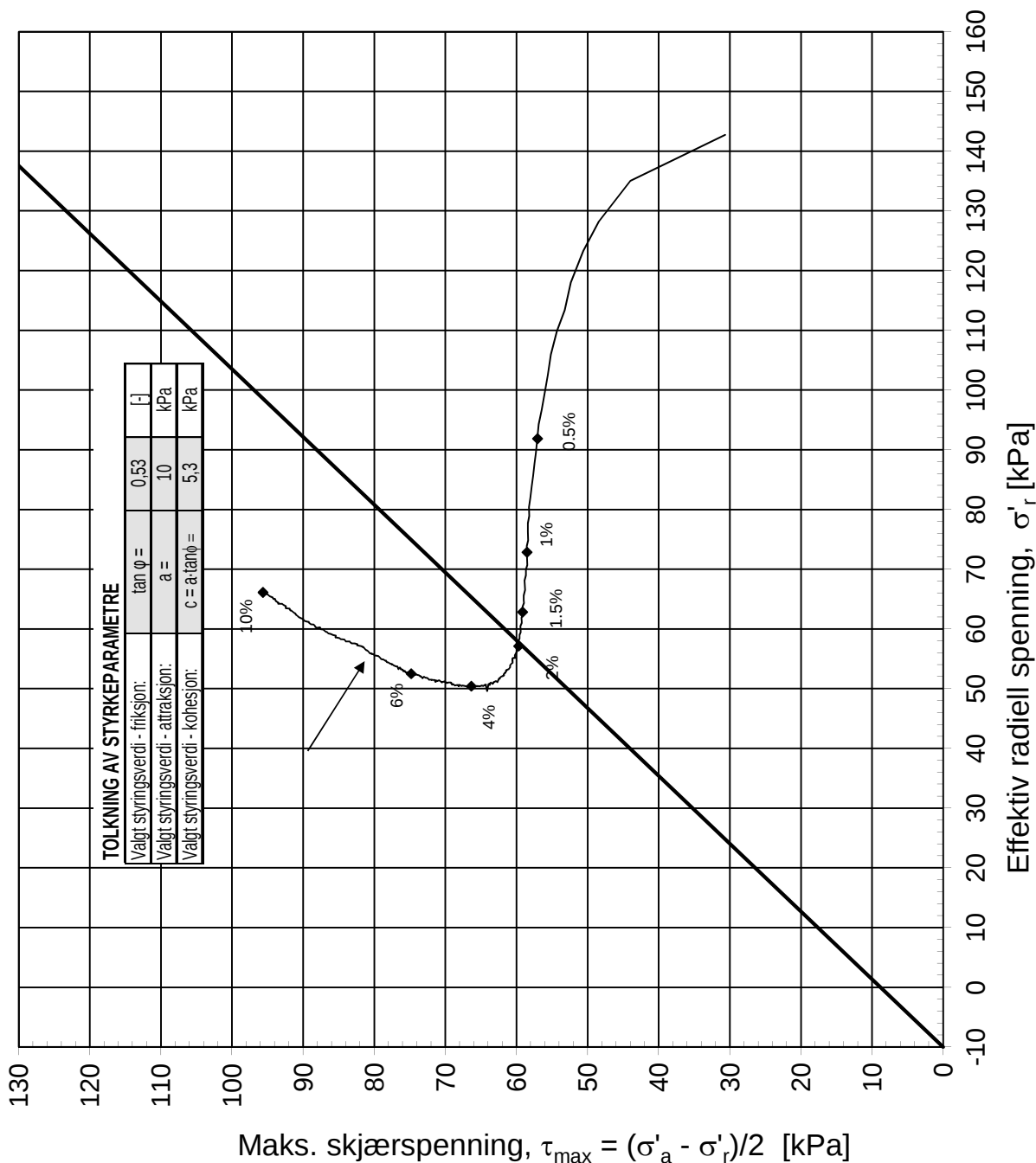
Revisjon:

0



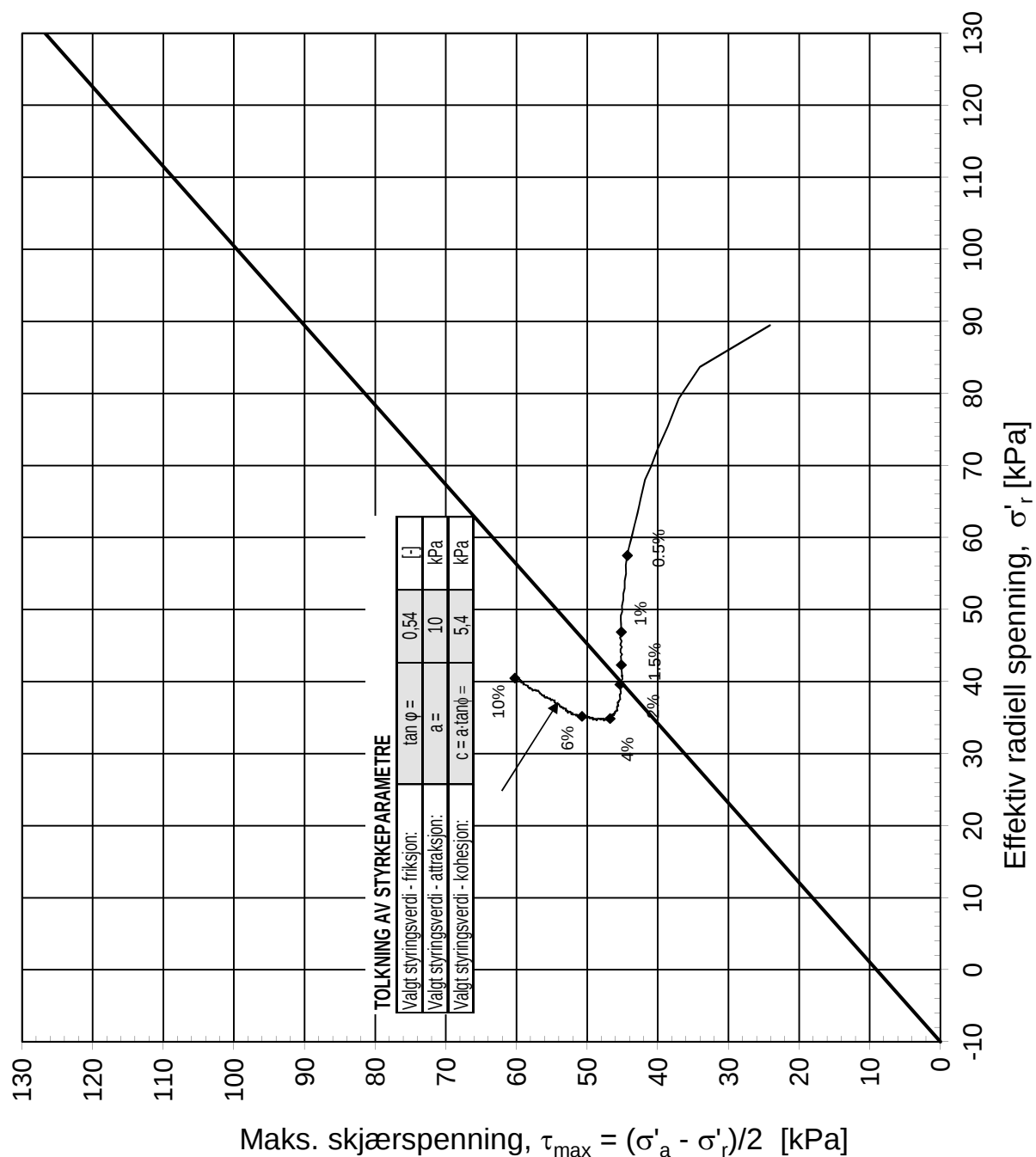
Konsolideringsspenning, aksial:	$\sigma'_{ac}$ (kPa):	80,77
Konsolideringsspenning, radial:	$\sigma'_{rc}$ (kPa):	51,79
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\epsilon_{vol}$ (%) = $\Delta V/V_0$ :	0,61
Baktrykk $u_b$ (kPa):	500	B - verdi = $\Delta u/\Delta \sigma_c$ (-): 0,96
Vanninnhold $w_i$ (%):	22,38	Densitet $\rho_i$ (g/cm <sup>3</sup> ): 2,05

<b>Trondheim kommune</b>		<b>Prøvekvalitet</b>	Tegningens filnavn:
<b>Sjetne skole</b>		Etter volumtøyning:	416907-RIG-TEG-090-h3,d5,25m.xlsx
Treaksialforsøk. Tolkning av parametre. NTNU-plott.		Akseptabel	<b>Multi</b> consult
<b>Multiconsult</b>		Etter poreallsending:	
Forsøksdato:	Dybde, z (m):	Borpunkt nr.:	
06.01.2015	5,25	3	
Forsøk nr.:	Tegnet/kontrollert lab:	Kontrollert:	Godkjent:
1	kjt / truk	EMB	SGH
Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Prosedyre:	Programrevisjon:
416907	RIG-TEG-090.4	CAUa	05.01.2014
Sluppenvegen 15, 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 Faks: 73 10 62 30			



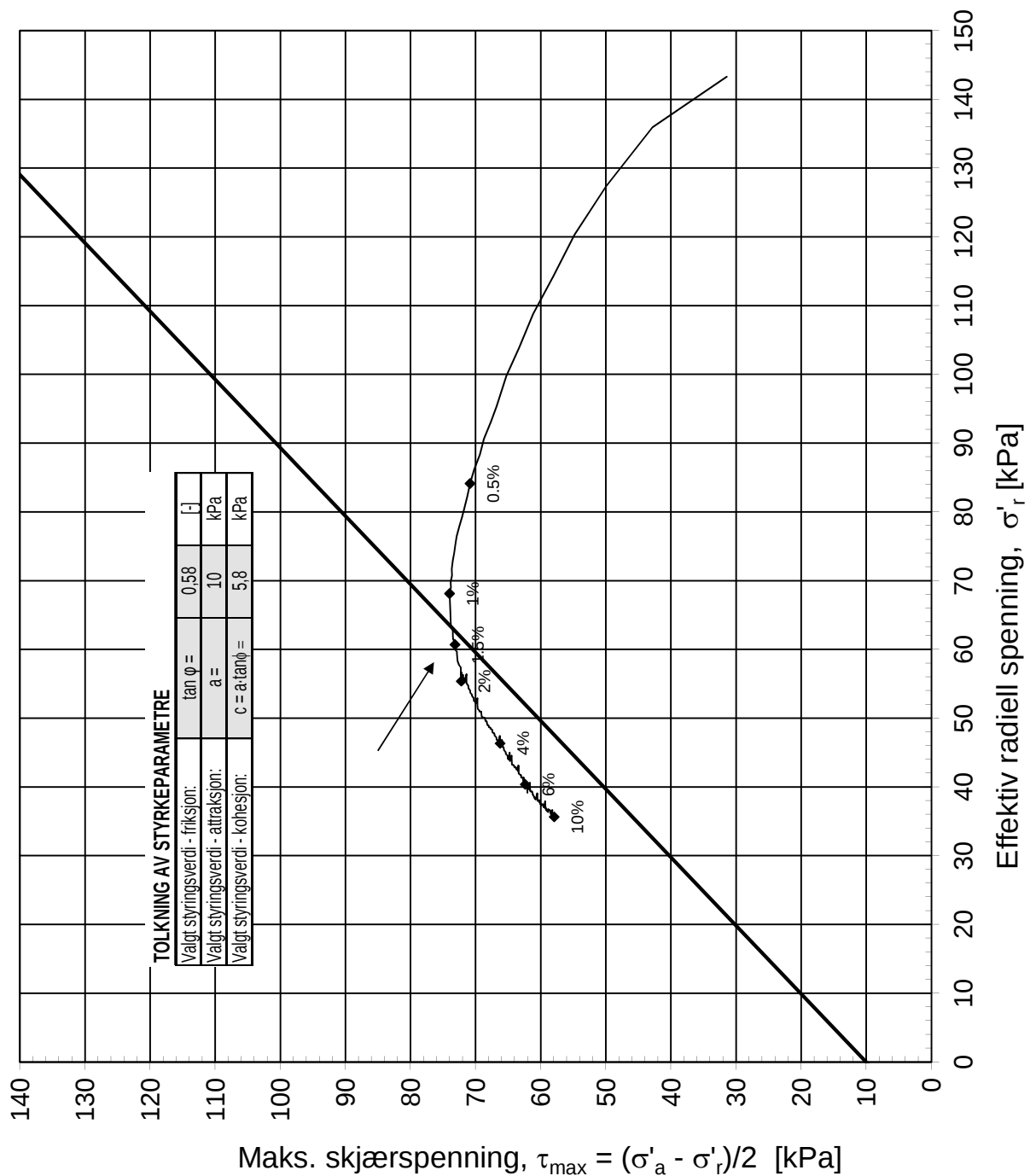
Konsolideringsspenning, aksial:	$\sigma'_{ac}$ (kPa):	204,08
Konsolideringsspenning, radial:	$\sigma'_{rc}$ (kPa):	142,74
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\varepsilon_{vol}$ (%) = $\Delta V/V_0$ :	3,76
Baktrykk $u_b$ (kPa):	500	B - verdi = $\Delta u/\Delta \sigma_c$ (-): 0,82
Vanninnhold $w_i$ (%):	21,35	Densitet $\rho_i$ (g/cm <sup>3</sup> ): 2,12

<b>Trondheim kommune</b>		<b>Prøvekvalitet</b>	Tegningens filnavn:	
<b>Sjetne skole</b>		Etter volumtøyning: Forstyrret	416907-RIG-TEG-091-h6,d9,15m.xlsx	
<b>Treaksialforsøk. Tolkning av parametre. NTNU-plott.</b>		Etter poreallsending:	<b>Multi consult</b>	
<b>Multiconsult</b> Sluppenvegen 15, 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 Faks: 73 10 62 30	Forsøksdato: 14.01.2015	Dybde, z (m): 9,15		Borpunkt nr.: 6
	Forsøk nr.: 2	Tegnet/kontrollert lab: kjt / truk	Kontrollert: EMB	Godkjent: SGH
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: RIG-TEG-091.4	Prosedyre: CAUa	Programrevisjon: 05.01.2014



Konsolideringsspenning, aksial:	$\sigma'_{ac}$ (kPa):	137,73
Konsolideringsspenning, radial:	$\sigma'_{rc}$ (kPa):	89,47
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\varepsilon_{vol}$ (%) = $\Delta V/V_0$ :	1,71
Baktrykk $u_b$ (kPa):	500	B - verdi = $\Delta u/\Delta \sigma_c$ (-): 0,96
Vanninnhold $w_i$ (%):	21,35	Densitet $\rho_i$ (g/cm <sup>3</sup> ): 2,12

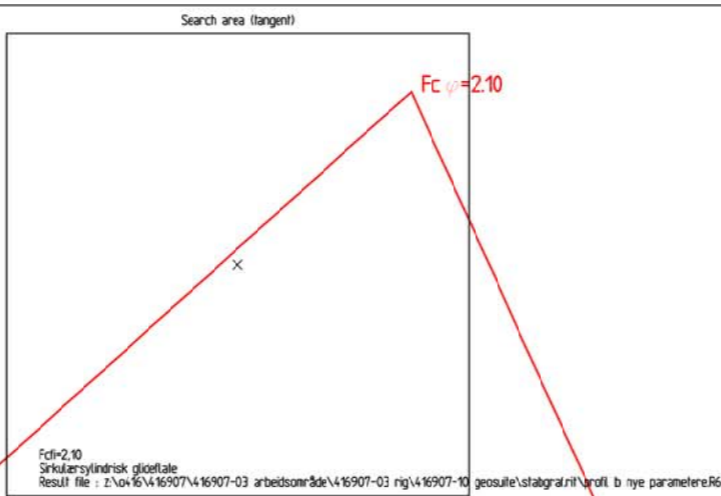
<b>Trondheim kommune</b>		<b>Prøvekvalitet</b>	Tegningens filnavn: 416907-RIG-TEG-092-h6.d9.3m.xlsx
<b>Sjetne skole</b>		Etter volumtøyning: Akseptabel	<b>Multi consult</b>
<b>Treaksialforsøk. Tolkning av parametre. NTNU-plott.</b>		Etter poreallsending:	
<b>Multiconsult</b> Sluppenvegen 15, 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 Faks: 73 10 62 30	Forsøksdato: 06.01.2015	Dybde, z (m): 9,30	Borpunkt nr.: 6
	Forsøk nr.: 3	Tegnet/kontrollert lab: vt / kjt	Kontrollert: EMB
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: RIG-TEG-092.4	Prosedyre: CAUa
			Programrevisjon: 05.01.2014



Konsolideringsspenning, aksial:	$\sigma'_{ac}$ (kPa):	206,07	
Konsolideringsspenning, radial:	$\sigma'_{rc}$ (kPa):	143,27	
Volumtøyning i konsolideringsfase:	$\epsilon_{vol}$ (%) = $\Delta V/V_0$ :	2,91	$\Delta e/e_0$ (-): #DIV/0!
Baktrykk $u_b$ (kPa):	500	B - verdi = $\Delta u/\Delta \sigma_c$ (-):	0,74
Vanninnhold $w_i$ (%):	23,12	Densitet $\rho_i$ (g/cm <sup>3</sup> ):	2,06

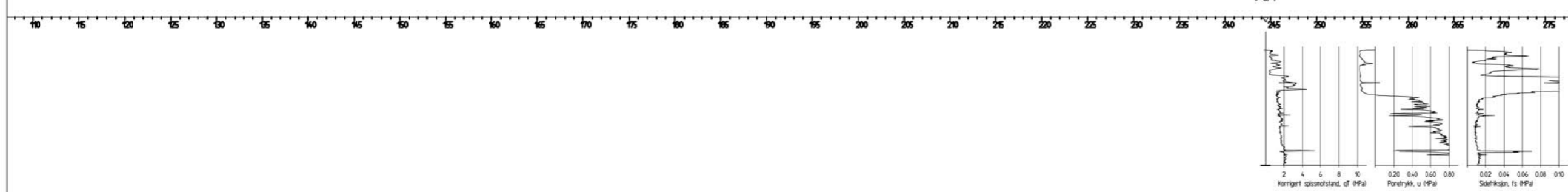
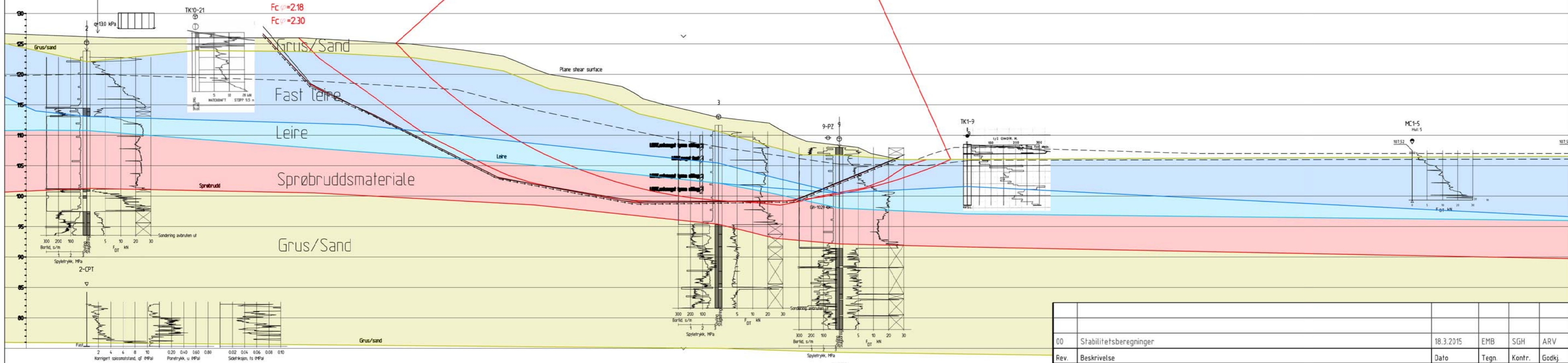
<b>Trondheim kommune</b>		<b>Prøvekvalitet</b>	Tegningens filnavn: 416907-RIG-TEG-093-h6-16.25m.xlsx
<b>Sjetne skole</b>		Etter volumtøyning: Akseptabel	<b>Multi consult</b>
Treaksialforsøk. Tolkning av parametre. NTNU-plott.		Etter poreallsending:	
<b>MULTICONSULT AS</b> Sluppenvegen 23, 7486 TRONDHEIM Tlf.: 73 10 62 00 Faks: 73 10 62 30	Forsøksdato: 08.01.2015	Dybde, z (m): 16,25	Borpunkt nr.: 6
	Forsøk nr.: 4	Tegnet: vt / kjt	Kontrollert: EMB
	Oppdrag nr.: 416907	Tegning nr.: RIG-TEG-093.4	Godkjent: SGH
		Prosedyre: CAUa	

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				
Fast	20.50	10.50	28.8	5.5				
Leire	21.00	11.00	28.8	5.5				
Sprøbrudd	21.00	11.00	28.8	5.5				
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				



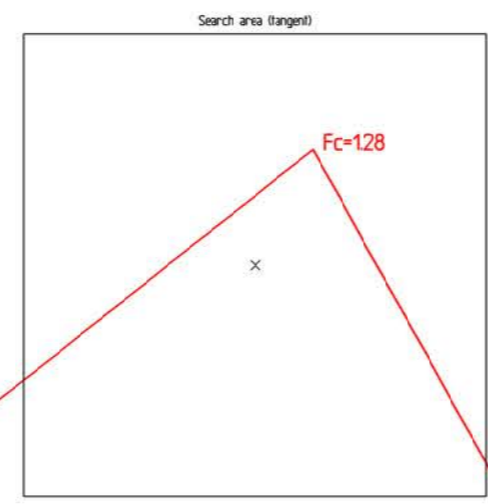
Fcl=2.18  
Optimal glideflate  
Result file : Z:\0416\416907\416907-03 arbeidsområde\416907-03 rig\416907-10 geosulle\stabgrat\profil b nye parametreR5

Fcl=2.30  
Sammenstill glideflate  
Result file : Z:\0416\416907\416907-03 arbeidsområde\416907-03 rig\416907-10 geosulle\stabgrat\profil b nye parametreR4

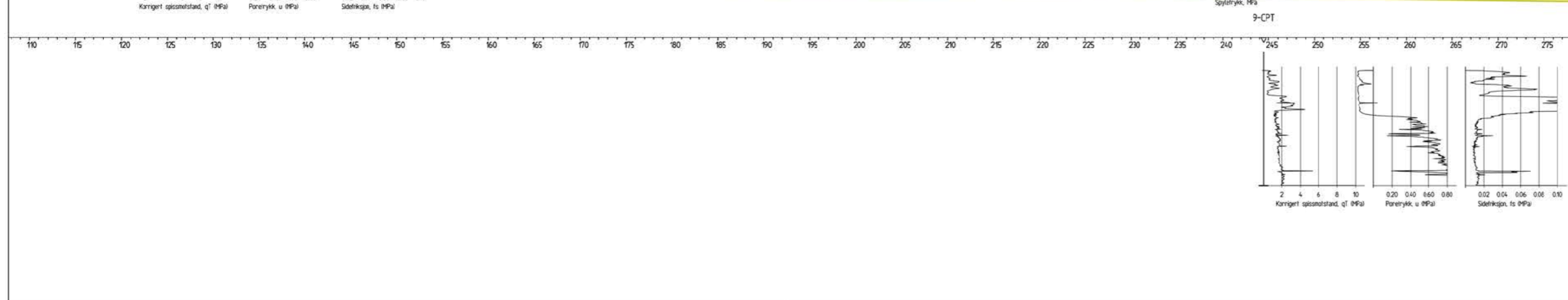
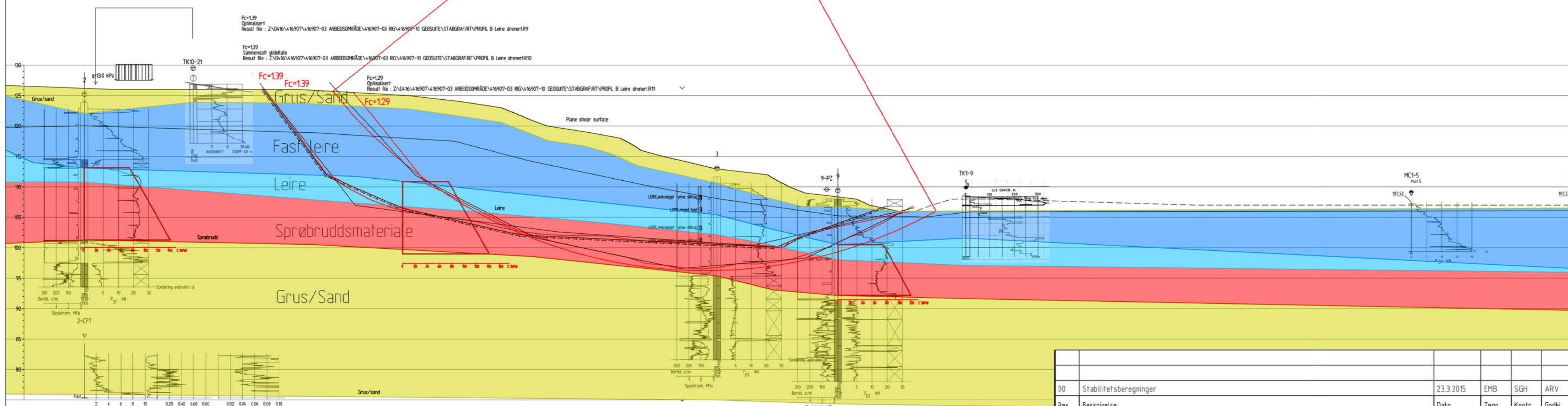


00	Stabilitetsberegninger	18.3.2015	EMB	SGH	ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Reguleringsplan Sjetne skole			Geoteknikk	A3L	
Vurdering av skredfare			Dato	18.03.2015	
Profil B1			Format/Målestokk:	1:500	
Effektivspenningsanalyser			Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert
Multiconsult			Utsendt	EMB	SGH
www.multiconsult.no			Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Godkjent
			416907	RIG-TEG-300	ARV
					Rev.
					00

Material	Un.Weighth	Sub.Weighth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				
Fast	20.50	10.50	28.8	5.5				
Leire	21.00	11.00			C-prof	1.00	0.64	0.36
Sprøbrudd	21.00	11.00			C-prof	0.77	0.57	0.32
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				



Fc=128  
Sirkulærsylindrisk  
Result file: Z:\04\6\4\6907\4\6907-03 ARBEIDSRÅDE\4\6907-03 RIG\4\6907-10 GEOSLITE\STABGRAFIT\PROFIL B Leire drenertR8

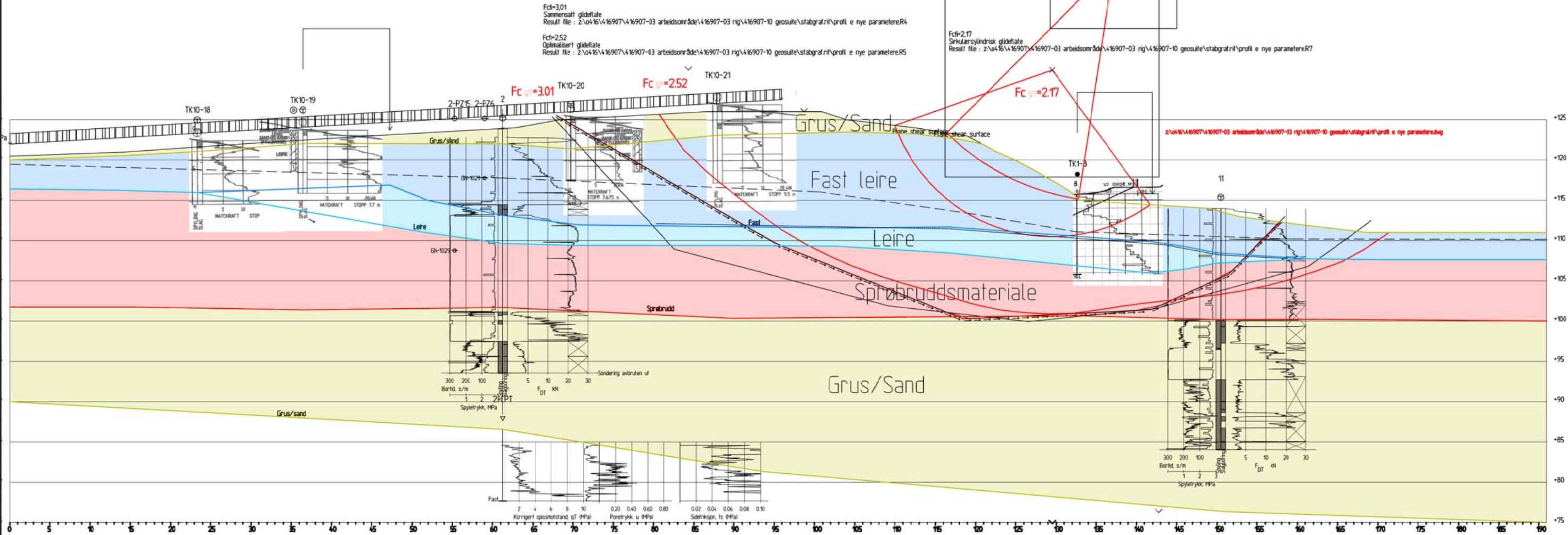


00	Stabilitetsberegninger	23.3.2015	EMB	SGH	ARV	
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.	
Trondheim kommune					Fag	Format
Reguleringsplan Sjetne skole					Geoteknikk	A3L
Vurdering av stabilitet					Dato	
Profil B1					23.03.2015	
Totalspenningsanalyser					Format/Målestokk:	
					1:500	
Multiconsult			Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
www.multiconsult.no			Utsendt	EMB	SGH	ARV
Oppdragsnr.		Tegningsnr.		Rev.		
416907		RIG-TEG-301		00		



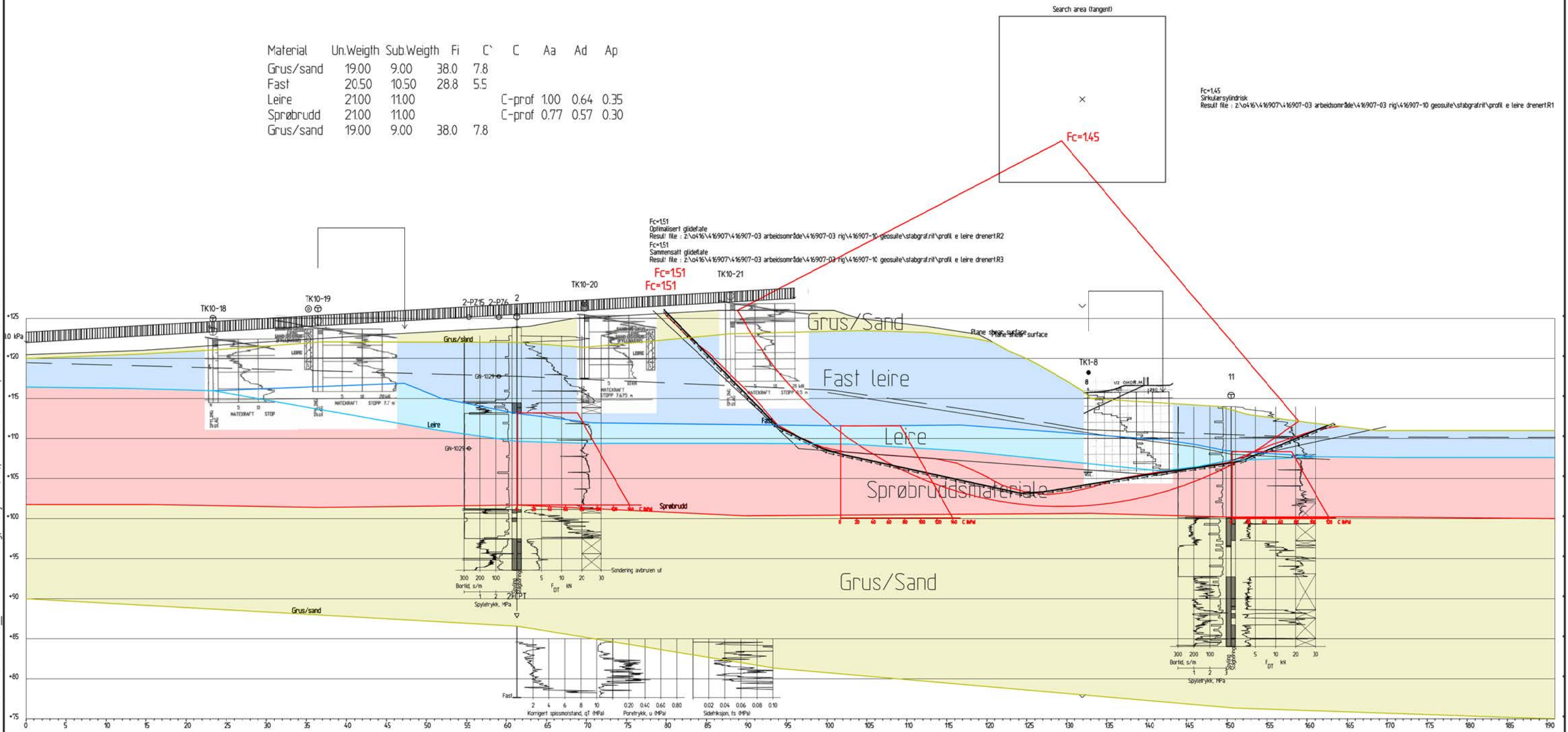
Z:\04\16\4\16907\4\16907-03 ARBEIDSRÅDE\4\16907-03 RIG\4\16907-04 TEGNINGER\4\16907-04 TEG-302\_Effektiv Profil E.dwg, - Plottet av: emb, Dato: 2015.03.20 kl. 14:01

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				
Fast	20.50	10.50	28.8	5.5				
Leire	21.00	11.00	28.8	5.5				
Sprøbrudd	21.00	11.00	28.8	5.5				
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				



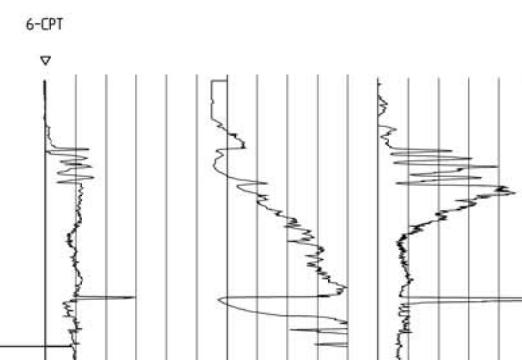
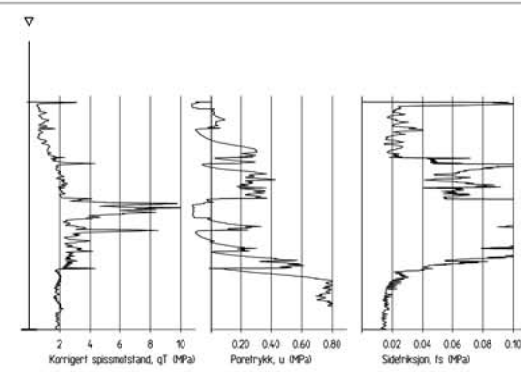
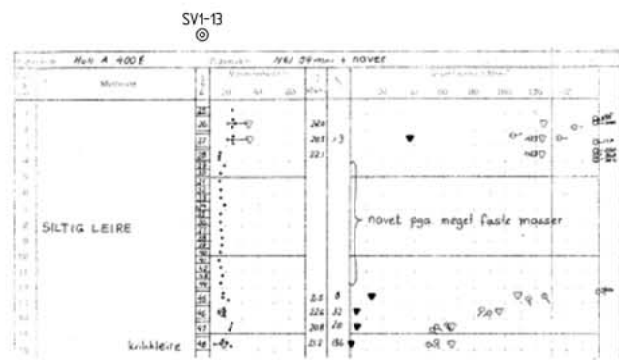
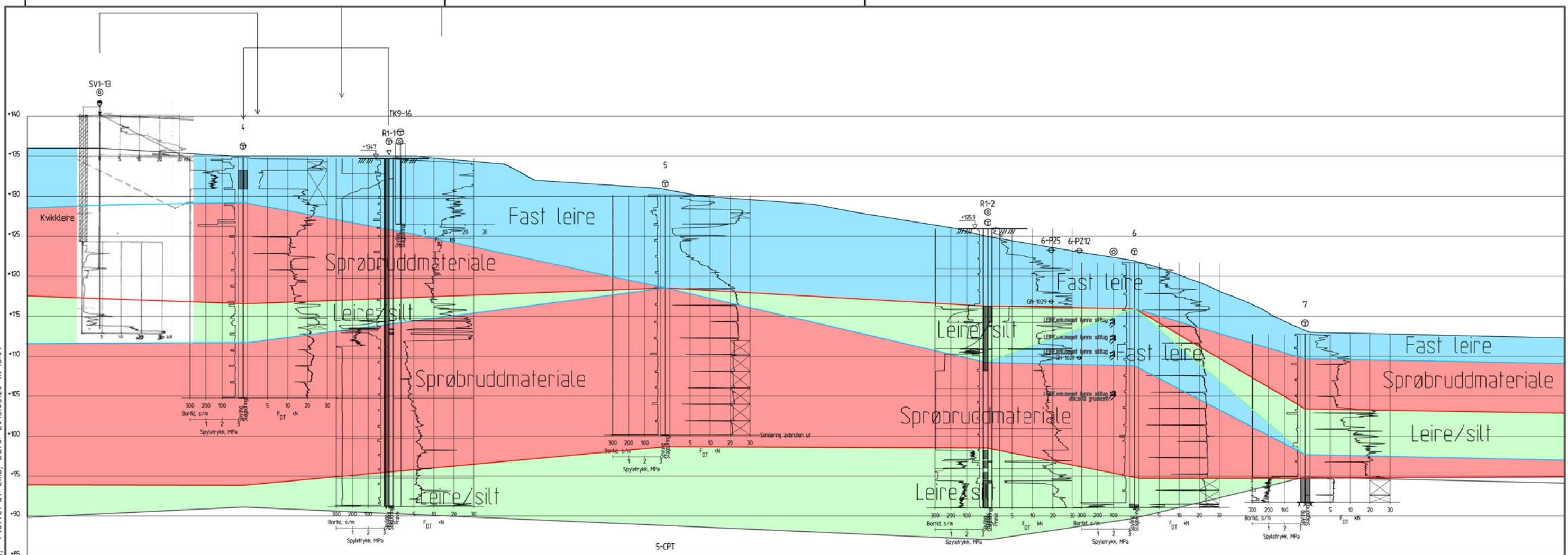
Z:\0416\416907\416907-03 ARBEIDSONMRÅDE\416907-03 RIG\416907-04 TEGNINGER\416907-03 RIG-TEG-303\_Totall Profil E.dwg, - Layout: (A3), - Plottet av: emb, Dato: 2015.03.23 kl 14:01

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				
Fast	20.50	10.50	28.8	5.5				
Leire	21.00	11.00			C-prof	1.00	0.64	0.35
Sprøbrudd	21.00	11.00			C-prof	0.77	0.57	0.30
Grus/sand	19.00	9.00	38.0	7.8				

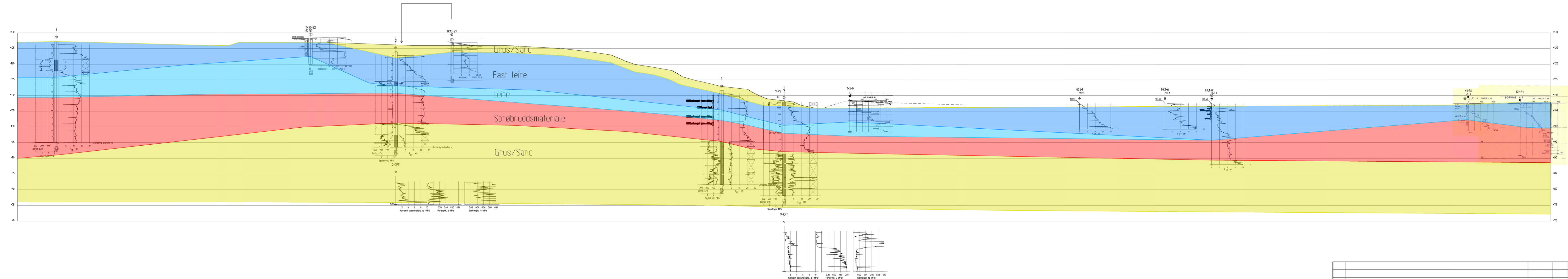


00	Stabilitetsberegninger	18.3.2015	EMB	SGH	ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Reguleringsplan Sjetne skole			Geoteknikk	A3L	
Vurdering av stabilitet			Dato	18.03.2015	
Profil E			Format/Målestokk:	1:500	
Totalspenningsanalyser					
<b>Multiconsult</b>	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	EMB	SGH	ARV	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.	
	416907	RIG-TEG-303		00	

Z:\04.16\4.16907\4.16907-03 ARBEIDSSOMRÅDE\4.16907-03 RIG\4.16907-04 TEGNINGER\Beregningprofil A1.dwg, - Layout: [A3], - Plottet av: emb, Dato: 2015.03.20 kl 13:01



00	Lagdeling deler av profilet	18.3.2015	EMB	SGH	ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune			Fag	Format	
Reguleringsplan Sjetne skole			Geoteknikk	A3	
Vurdering av skredfare			Dato	18.3.2015	
Lagdeling profil A1			Format/Målestokk:	1:500	
Multiconsult	Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
	Utsendt	EMB	SGH	ARV	
	Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.	
	416907	RIG-TEG-350		00	



00	Lagdeling hele profilet	18.3.2015	EMB	SGH	ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Trondheim kommune					Fag
Reguleringsplan Sjetne skole					Geoteknikk
Vurdering av skredfare					Format
Lagdeling profil B1					A3L
					Dato
					18.3.2015
					Format/Målestokk
					1:500
Multiconsult		Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
www.multiconsult.no		Utsendt	EMB	SGH	ARV
Oppdragsnr.		Tegningsnr.	Rev.		
416907		RIG-TEG-351	00		

## 1 Klassifisering av borpunkter

Alle borpunkter er klassifisert med utgangspunkt i NVEs retningslinjer [2]. Følgende tre fargekoder er benyttet:

Rød:	Sprøbruddmateriale
Gul/oransje:	Mulig sprøbruddmateriale
Grønn:	Ikke påvist sprøbruddmateriale

Kvikkleire (omrørt skjærfasthet  $S_r < 0,5$  kPa) og sensitiv leire (sensitivitet  $S_t > 15$  og omrørt skjærfasthet  $0,5$  kPa  $< S_r < 2,0$  kPa) benevnes samlet som sprøbruddmateriale i tråd med retningslinjene. Borpunkter med prøveserie som betraktes som sprøbruddmateriale, får rød status i henhold til ovennevnte definisjoner. Et borpunkt med sondering som med rimelig sikkerhet indikerer sprøbruddmateriale, men ikke har prøveserie, kan også få rød status. Gul status er gitt hvis sonderingen kan indikere sprøbruddmateriale, men det er usikkert og kan ikke dokumenteres. Grønn status er gitt dersom prøveserien betraktes som ikke sprøbruddmateriale, eller sonderingen helt klart indikerer fast grunn.

Flere sonderinger er markert grønne fordi de er stoppet før laget med sprøbruddmateriale. Det er derfor viktig å se på sonderingsdybden når kartet leses.

## 2 Valg av kritiske profiler

Basert på topografi og grunnforhold er profil B1 vurdert som mest kritisk. Profil B1 utgjør derimot en svært liten del av skråningssituasjonen ned mot skolen, og er derfor ikke ansett som det mest representative for stabilitetssituasjonen. Profilet er vurdert som mest kritisk med tanke på skråningsstabilitet da det har størst høydeforskjell og minst sidestøtte (3D-effekt).

Profil E er vurdert som mest representativt for skråningen ned mot skolen, da profilet går omtrent midt i skråningen og vinkelrett på.

Profilene er brukt som beregningsprofiler. Lagdeling for profilene er tolket og lagt til grunn for stabilitetsanalysene. Profilene er vist på tegning nr. 416907-RIG-TEG-101 og -104.

### 3 Materialparametere

#### 3.1 Relevante beregningsparametere og basis for vurdering

Nødvendige parametere for beregningsmessig sjekk av områdestabiliteten er:

- Styrkeparametere:
  - ➔ Udrenert skjærstyrke tolkes fra CPTU i kombinasjon med laboratoriedata.
  - ➔ Friksjonsvinkel vurderes fra treaksialforsøk for de lagdelinger der dette er tilgjengelig, og fra erfaringsverdier i litteraturen.
  - ➔ Anisotropiforhold tas fra omforent anbefaling for norske leirer
- Tyngdetetthet: Vurderes ut fra rutinedata fra laboratoriet og fra erfaringsverdier
- Grunnvannstand: Vurderes fra poretryksmålere.

#### 3.2 Kvalitet av undersøkelser

Den faste leira i området gjorde opptak av prøveserier og CPTU-sonderinger vanskelig. Det var ikke mulig å utføre CPTU i borpunkt 3, derfor ble det valgt å utføre CPTU i borpunkt 9 i stedet.

Prøvetaking er utført med 54 mm sylinderprøver (stålsylinder) og vurderes i hovedsak å ligge Kvalitetsklasse 1, «*Akseptabel kvalitet*», med unntak av én av sylindrene som var noe forstyrret utvendig.

Ved treaksialforsøkene kan prøveforstyrrelsen vurderes ut fra prøveoppføreselen gjennom konsolideringsfasen. Volumtøyningen er i størrelsesorden 0,6-3,7 %. For en leire med overkonsolideringsgrad i størrelsesorden 1,5-2,5 (se kapittel *Overkonsolideringsgrad*) tilsvarer dette en klassifisering for akseptabel prøve kvalitet, med unntak av forsøk nr 2 utført i BP 6 i 9,15 m dybde. Dette forsøket viser nesten samme resultat som treaksialforsøket utført i 9,30 m dybde med akseptabel kvalitet, derfor vurderes forsøk nr 2 også å være representativt. Overordnet vurderes prøve kvaliteten derfor å være i kvalitetsklasse «*akseptabel kvalitet*».

Basert på tolkede rådatafiler er alle trykksonderinger (CPTU) plassert i anvendelsesklasse 1. Ett unntak er for spissmotstand i BP 2, men denne trykksonderingen er ikke benyttet i tolkning av skjærfasthet, da den er kjørt i faste friksjonsmasser. CPTU er benyttet i stor grad for parameterbestemmelse for vurdering av områdestabilitet.

Grunnforholdene gjorde det utfordrende å ta opp prøveserier og utføre CPTU-sonderinger av høy kvalitet. I borpunkt 2 ble det kjørt CPTU i to omganger, én ned til det faste laget på rundt 9 m dybde, og én ble forboret til rundt 12 m og kjørt derfra. Den siste CPTU-sonderingen ble forsøkt kjørt to ganger uten hell, og måtte til slutt avsluttes da massene var for faste.

##### Tyngdetetthet

Rutineanalyser viser total tyngdetetthet i størrelsesorden 20,5 – 21,0 kN/m<sup>3</sup>.

**Grunnvannsnivå og poretrykksfordeling med dybden**

Grunnvannsstand på selve skoleområdet står i følge tidligere rapporter rett under terreng, og det antas et poreovertrykk grunnet terrengforholdene rundt skolen.

Det er satt ned 4 hydrauliske piezometere i 3 ulike borpunkt for å måle grunnvannstand og poretrykket i grunnen. Rambøll har tidligere satt ned poretrykksmålere i ett punkt. Se Tabell 1 for oversikt over poretrykksmålere grunnvannsnivå.

Borpunkt	Kote terreng	Dybde piezometer-spiss [meter under terreng]	Dato installert	Avlesning [meter under terreng]	Antatt nivå grunnvanns [kote]
2	+123,8	8,9	10.12.2014	5,7	+118,1
6	+121,8	5	6.1.2015	3,8	+118,0
6	+121,8	11,5	6.1.2015	5,25	
9	+108,2	10	4.12.2014	3,1	+105,1
R1-1	+134,7	12	2010	8,3	+126,4
R1-1	+134,7	35	2010	15,6	

Tabell 1 – Resultat fra avlesning av poretrykksmålere

Basert på en vurdering av poretrykksmålingene og poretrykksresponsen i CPTU sonderingene ble grunnvann antatt til å ligge rundt 6 m under terreng i BP 2, og 3 m under terreng i BP 9. Basert på poretrykksmålinger i området (BP 6 og R1-1) ser det ut til å være underhydrostatisk poretrykksfordeling i grunnen. Det antas å være lik situasjon i kritiske profiler, men i mangel av målinger i flere dybder her, er det i beregningene brukt hydrostatisk fordeling.

Beskrevne poretrykksforhold benyttes ved tolkning av CPTU og i drenerte stabilitetsberegninger. Merk at drenert langtidsstabilitet er funnet å ha god beregningsmessig sikkerhet.

### 3.3 Overkonsolideringsgrad

Det er utført ødometerforsøk av leirmassene i borpunkt 3 og 6. I forbindelse med foreliggende sjekk av områdestabilitet benyttes ødometerforsøk kun for kalibrering av OCR-profil for nyansert tolkning av udrenert skjærstyrke fra CPTU samt for vurdering av prøve kvalitet

Ødometerforsøk utført på opptatte prøver i BP 3 og 6 viser at leira er overkonsolidert. Via sammenstilling mot og tolkning av CPTU, viser leiren en overkonsolideringsgrad på ca OCR = 1,5-2,5 i dybden.

Tegning nr. 416907-RIG-TEG-075.1 t.o.m. -078.2 i geoteknisk datarapport 416907-RIG-RAP-001 viser resultat fra ødometerforsøkene.

Tolkninger fra ødometerforsøkene:

Tabell 3-2: Tolkede parametere fra ødometerforsøk

BP. [nr]	Kote [moh]	Dybde [m]	$\sigma_{v0}'$ [kPa]	Tolket fra ødometer				Estimert tidligere terrengnivå [moh]	Valgt $POP=\Delta\sigma_c'$ [kPa]
				$\sigma_c'$ [kPa]	OCR [-]	$M_{OC}$ [MPa]	$m$ [-]		
3		5,48	89	270	3,0	-	-	-	-
3		10,10	142	190	1,3	-	-	-	-
6		9,45	161	320	2,0	-	-	-	-
6		16,40	237	250	1,1	-	-	-	-

Tolkninger fra CPTU:

Data fra CPTU er benyttet til å ekstrapolere dataene fra ødometerforsøk mot dybden. Det er benyttet tolkning fra CPTU både på spissmotstands- og poretrykksbasis. De to metodene gir relativt godt samsvar og indikerer at leira er noe overkonsolidert.

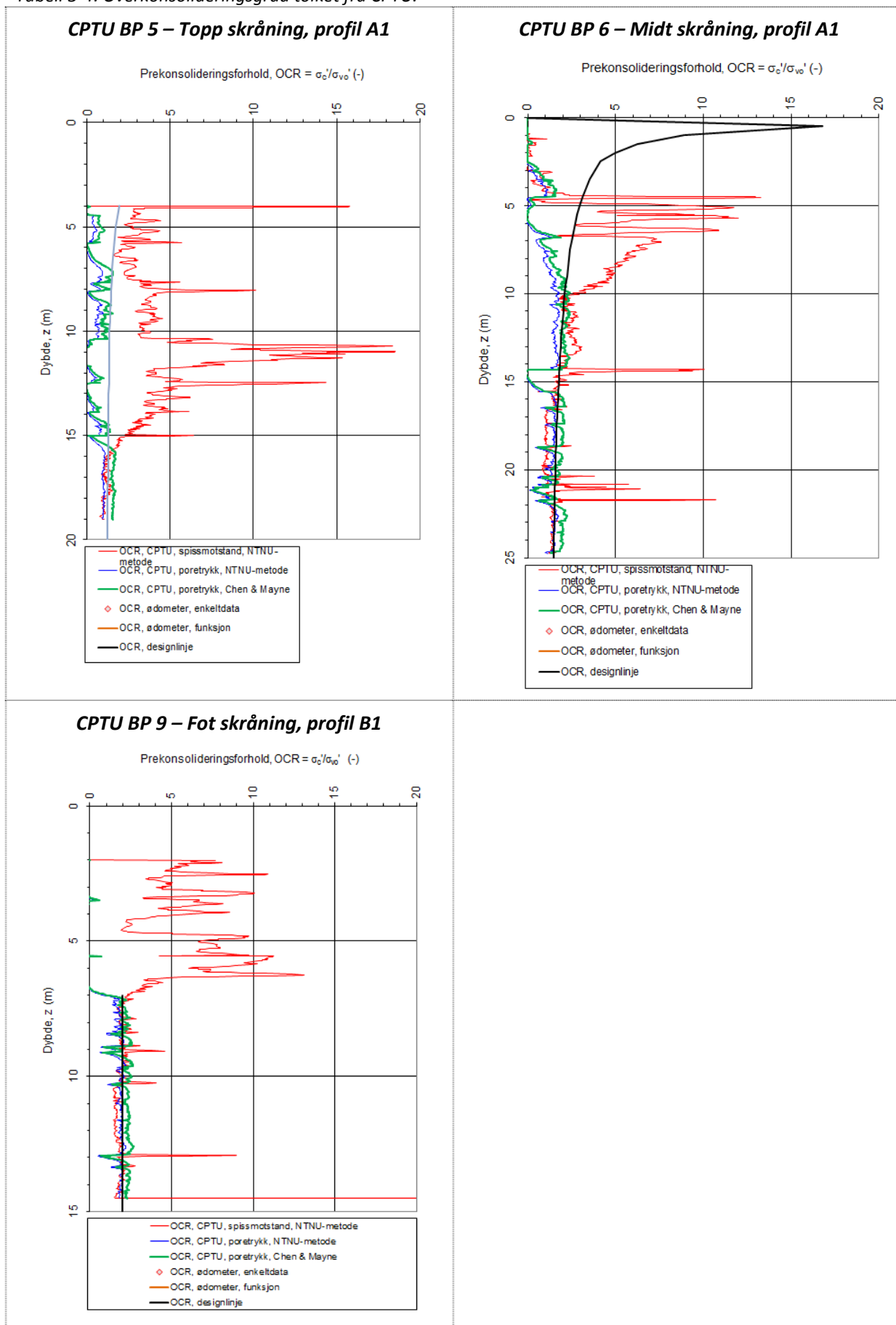
Tabell 3-3: Tolkingsformler for overkonsolideringsgrad fra CPTU.

Spissmotstandsbasert tolkning	Poretrykksbasert tolkning
$OCR = \frac{\sigma_{cq}'}{\sigma_{v0}'}$ $\sigma_{cq}' = \frac{q_n}{\alpha \cdot N_{kt}} - a$	$OCR = \frac{\sigma_{cu}'}{\sigma_{v0}'}$ $\sigma_{cu}' = \frac{\Delta u}{\alpha \cdot N_{\Delta u}} - a$
der, $\alpha$ = normalkonsolideringsforhold; $N_{kt}$ = spissmotstandsfaktor;  $\alpha=0,32$ er benyttet $N_{kt} = 9$ er benyttet	der, $\alpha$ = normalkonsolideringsforhold; $N_{\Delta u}$ = poretrykksfaktor;  $\alpha=0,32$ er benyttet $N_{\Delta u} = 8$ er benyttet

For hver CPTU er det bestemt en glattet funksjon for overkonsolideringsgraden (designlinje) som videre er benyttet ved tolkninger som innehar OCR; eksempelvis udrenert skjærstyrke fra CPTU-data. Alle CPTU-sonderingene viser OCR i størrelsesorden 1,5-2,5 i dybden.



Tabell 3-4: Overkonsolideringsgrad tolket fra CPTU.



### 3.4 Udrenerte styrkeparametere

Verdier for  $c_u$  fra rutineundersøkelser på opptatte prøver (enaks og konus) er i våre vurderinger benyttet som verdier for direkte skjærstyrke,  $c_{uD}$ .

Ved treaksialforsøkene er karakteristiske verdier ( $c_{uC}$ ) tatt ut ved brudd (peak-verdi).

For bestemmelse av udrenert skjærstyrke fra CPTU-sonderingene er registreringene korrelert iht. empirisk baserte tolkningsfaktorer.

For finkornige masser med relativt homogene forhold betraktes tolkning av CPTU på poretrykksbasis som den mest egnede metoden. I dette tilfellet må vi likevel bruke en sammenlikning av spissmotstandsbasert og poretrykksbasert tolkning, da sonderingen mister noe poretrykksrespons i de fastere lagene over leira med sprøbruddegenskaper.

Tabell 3-5: Tolkningsformler for udrenert skjærstyrke fra CPTU.

Spissmotstandsbasert tolkning	Poretrykksbasert tolkning
$c_{uC} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} = \frac{q_n}{N_{kt}}$	$c_{uC} = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}}$
der, $q_t$ = korrigert spissmotstand $\sigma_{v0}$ = in situ vertikal overlagringstrykk $N_{kt}$ = bæreevnefaktor/konfaktor	der, $\Delta u$ = $u_2 - u_0$ , registrert poreovertrykk i CPTU $N_{\Delta u}$ = tolkningsfaktor på poretrykksbasis

Der det er kvikkleire/sprøbruddmateriale bør det differensieres i forhold til lagdeling/sensitivitet. I dette tilfellet har vi benyttet tolkning for kvikkleire/sprøbruddmateriale fra 10 m under terreng i Profil B1 og E (CPTU BP 9) og tolkning for ikke-sensitiv leire over 10 m. I CPTU 5 og 6 er det benyttet tolkning for kvikkleire/sprøbruddmateriale fra 15 m under terreng. Bq-tolkningen er benyttet i stor grad, mens OCR, St & Ip-tolkningen er lagt mindre vekt på.

Følgende korrelasjoner er benyttet for tolkningsfaktorene:

Tabell 3-6: Tolkningsfaktorer for udrenert skjærstyrke fra CPTU.

	Empirisk middelvariasjon i $B_q$	Empirisk middelvariasjon i OCR, $S_t$ og $I_p$
Leire ( $S_t < 15$ )	$N_{\Delta u} = 1,8 + 7,25 \cdot B_q$ $N_{kt} = 18,7 - 12,5 \cdot B_q$	$N_{\Delta u} = 6,9 - 4,0 \cdot \log OCR + 0,070 \cdot I_p$ $N_{kt} = 7,8 + 2,5 \cdot \log OCR + 0,082 \cdot I_p$
Kvikkleire/ sprøbruddmateriale ( $S_t > 15$ )	$N_{\Delta u} = 1,8 + 7,25 \cdot B_q$ $N_{kt} = 18,7 - 12,5 \cdot B_q$	$N_{\Delta u} = 9,8 - 4,5 \cdot \log OCR + 0,0 \cdot I_p$ $N_{kt} = 8,5 + 2,5 \cdot \log OCR + 0,0 \cdot I_p$

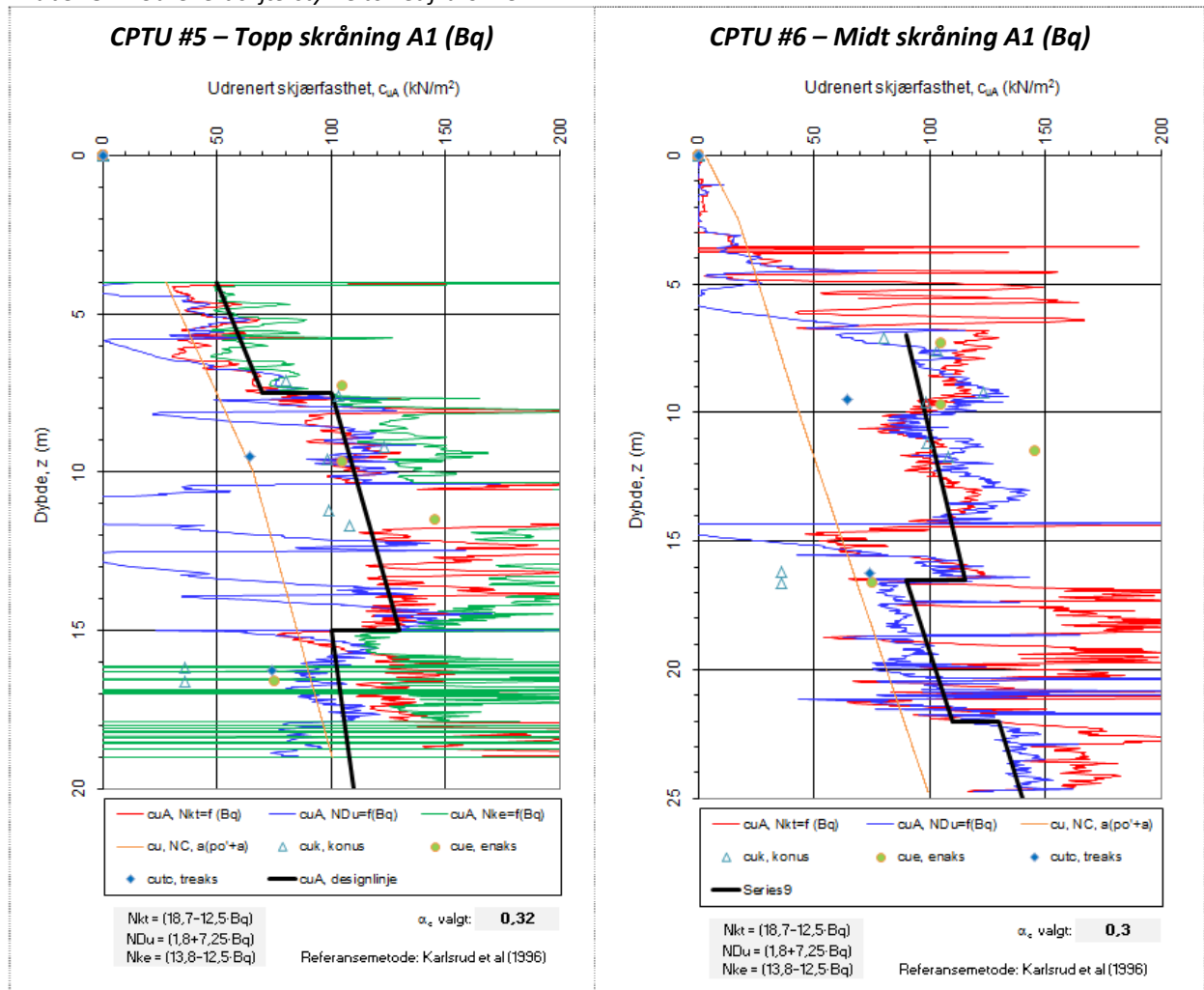
Poretrykksforholdet,  $B_q$ , beregnes som: 
$$B_q = \frac{\Delta u}{q_n}$$

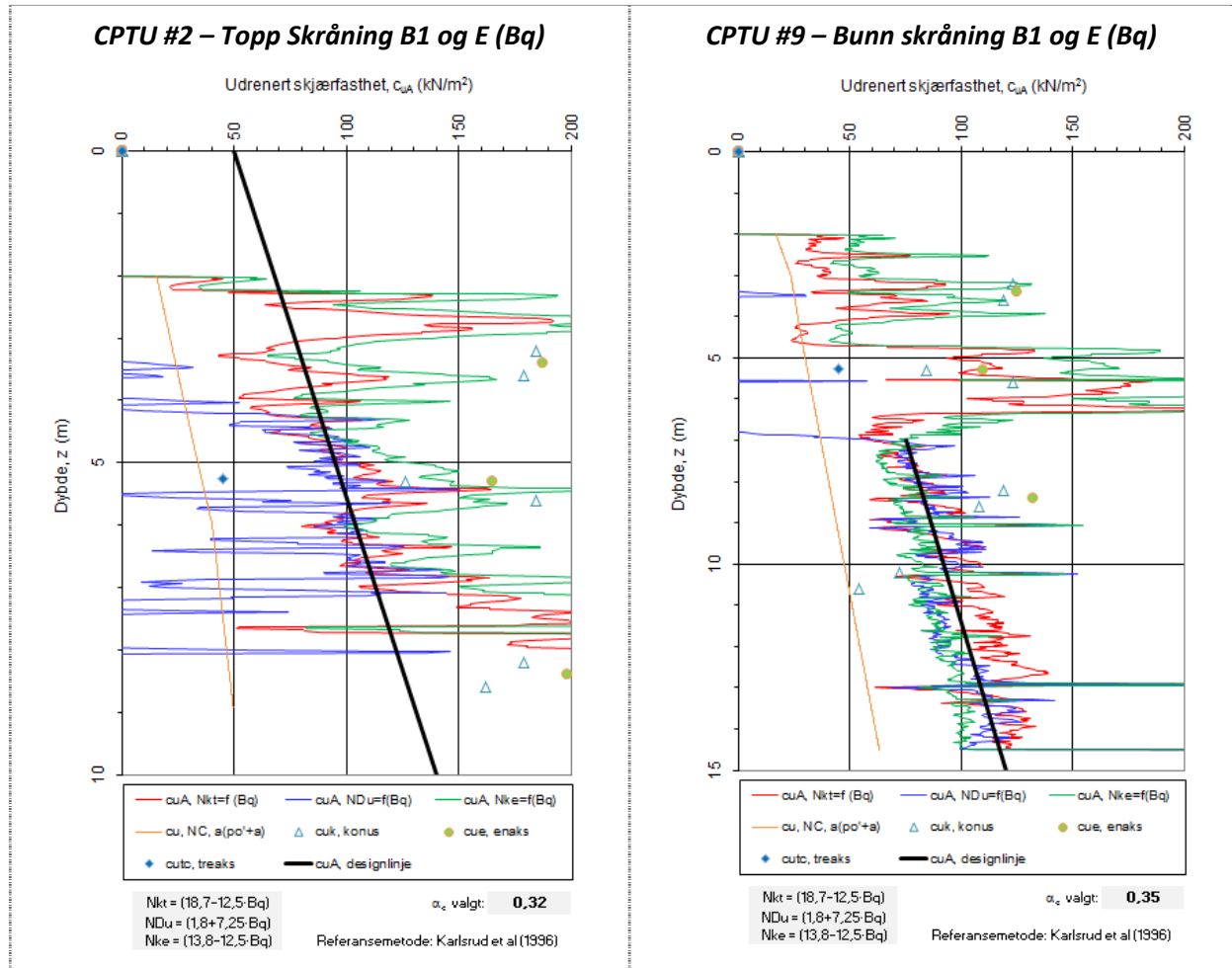
der,  $q_n$  = netto spissmotstand registrert ved CPTU.

Designverdiene er i henhold til NVEs veileder redusert med 15 % i de lagene som omfatter sprøbruddmateriale i stabilitetsberegningene. Vi har valgt å inkludere dette i ADP-faktoren i GeoSuite Stability.

Resultatene fra CPTU 9 tyder på at det er et svakere lag mellom 10-13 meter under terreng i borpunkt 9. I dette laget (med sprøbruddegenskaper) har vi i tillegg til å redusere designverdiene med 15 %, redusert dem med ytterligere 10 % for å slippe å få et «hakk» i designlinja i GeoSuite.

Tabell 3-7: Udrenert skjærstyrke tolket fra CPTU.





**Anisotropi**

Det er ikke utført parallelle aktive og passive treksialforsøk for vurdering av anisotropiforhold. Anisotropiforholdet er derfor vurdert ut fra publiserte «omforent anbefaling» i NIFS-rapport nr 14/2014.

Tabell 3-8: ADP faktorer iht. NIFS-rapport nr 14/2014

$I_p$	$c_{uD}/c_{uC}$	$c_{uE}/c_{uC}$
$I_p \leq 10\%$	0,63	0,35
$I_p > 10\%$	$0,63 + 0,00425 * (I_p - 10)$	$0,35 + 0,00375 * (I_p - 10)$

Vi har differensiert mellom sensitiv (sprøbrudd) og ikke-sensitiv leire. Følgende anisotropiforhold er benyttet:

Ikke-sensitiv leire	Leire med sprøbruddegenskaper (sensitiv)
$\frac{c_{uD}}{c_{uC}} = 0,64$ $\frac{c_{uE}}{c_{uC}} = 0,36$	$\frac{c_{uD}}{c_{uC}} = 0,63$ $\frac{c_{uE}}{c_{uC}} = 0,35$

### 3.5 Effektivspenningsparametere

#### Effektivspenningsparametre, friksjonsvinkel, $\varphi_k$

For effektivspenningsparametere på leira er det tatt ut  $\alpha$ - $\varphi$  parametere fra de udrenerte treaksialforsøkene som er utført på leira i BP 3 og 6. For grus/sandlaget er det benyttet erfaringsverdier.

I følge treaksialforsøkene er det følgende parametere i de ulike leirelagene:

Tabell 9 – Sammenstilling treaksialforsøk

Bor-punkt	Dybde	Lag	Friksjonsvinkel $\phi$	$\tan\phi$	Attraksjon, a	Kohesjon, c	Skjærfasthet $C_{uA}$ (peak)
3	5,25	Fast leire	28,8	0,55	10	5,5	45
6	9,15	Leire	28	0,53	10	5,3	65
6	9,30	Leire	28,4	0,54	10	5,4	47
6	16,25	Sprøbruddmateriale	30,1	0,58	10	5,8	74

Det vurderes at leira har høye materialparametere, men det er lite trolig at leira med sprøbruddegenskaper har høyere verdier enn den faste leira med  $C_{uD}$  mellom 80-130 kPa. Derfor har vi valgt å bruke  $\tan\phi = 0,55$  og  $a = 10$  for alle leirelagene i effektivspenningsanalysene. Dette er en konservativ antakelse, da treaksialforsøket i sprøbruddmaterialet viser en udrenert skjærfasthet  $C_{uA}$  mer i samsvar med rutinedata og vurderes derfor som mest representativt.

### 3.6 Materialparametere

Grus/sandlaget og det faste leirelaget er antatt å ha drenert materialoppførsel, og effektivspenningsbaserte materialparametere er benyttet for disse lagene også i ADP-analysene. Valgt styrkeprofil (c-profil) for resterende lag i ADP-analysene er benevnt « $s_{uA}$ , GS input» og vist på tegning 416907-RIG-TEG-040.7 til -043.8.

Valgte styrkeparametere benyttet ved beregningene er angitt i tabellen under.

Lag	Tyngdetetthet $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Friksjonsvinkel $\phi$	$\tan\phi$	Attraksjon a [kPa]	Kohesjon c
Grus/sand	19	38	0,78	10	7,8
Fast leire	20,5	28,8	0,55	10	5,5
Leire	21	28,8	0,55	10	5,5
Sprøbruddmateriale	21	28,8	0,55	10	5,5
Grus/sand	19	38	0,78	10	7,8

### 3.7 Beregningsverktøy og -metode

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsprogrammet GeoSuite Stability v. 14.1.0 med beregningsmetode Beast 2003. Beregningsmetoden er basert på grenselikevektsmetode, og anvender en versjon av lamellmetoden som tilfredsstillende både kraft- og momentlikevekt. Programmet søker selv etter kritisk sirkulærsylindrisk glideflate for definerte variasjonsområder av sirkelsentrum. Det er også mulig å definere egne glideflater i programmet. I tillegg kan programmet automatisk justere valgte kritiske sirkulærsylindrisk glideflater til optimaliserte sammensatte glideflater.

Det er utført stabilitetsberegninger i profil B1 og E, som er antatt å være henholdsvis det mest kritiske og det mest representative.

Det er ikke regnet med vannfylte sprekker.

Følgende fremgangsmåte benyttes for å identifisere kritiske sirkulære glideflater:

1. Det utføres først ett eller flere grovsøk i profilet med tangent søkemetode med stort søkeområde og få lameller.
2. Deretter utføres det finsøk med r-tangent søkemetode med noe mindre søkeområde og mange lameller.

Følgende fremgangsmåte benyttes for å identifisere kritiske sammensatte glideflater:

1. Det plasseres en gitt «plan glideflate», hvor funksjonen «optimize» brukes for å finne optimal glideflate.
2. Dersom den optimale glideflaten vurderes som representativ, presenteres denne. Hvis ikke justeres søkeområdet etter den optimaliserte glideflaten med funksjonen «plane».