

NOTAT

OPPDRAK	Lund Torv, Kristiansand - Geotekniske undersøkelser	DOKUMENTKODE	313786-RIG-NOT-001
EMNE	Faresonekartlegging, stabilitetsberegninger og -vurderinger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAKSGIVER	Kristiansand kommune	OPPDRAKSLEDER	Tracey Raen
KONTAKTPERSON	Nils Erik Hessen	SAKSBEHANDLER	Jostein Aasen
KOPI		ANSVARLIG ENHET	2362 Geofag Sør

SAMMENDRAG

I forbindelse med planlagt utvikling av Lund Torv i Kristiansand kommune, er Multiconsult engasjert av Kristiansand kommune til blant annet å foreta en faresonekartlegging av området mht. områdestabiliteten, jfr. retningslinjer utarbeidet av NVE. Dette innebærer en vurdering av utstrekningen av sonen av masser med sprøbruddsoppførsel, samt kartlegging av denne mht. skadekonsekvens, faregrad og tilhørende risiko. Denne faresonen består av to områder, hhv. "Løsneområde" (dvs. området som glir ut når et skred inntreffer) og "Utløpsområde" (dvs. området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa).

Stabilitetsberegningene utført for dagens situasjon viser at den mest kritiske skråningen i faresonen ikke tilfredsstillende kravene i teknisk veileder til NVE, og at det derfor er behov for stabiliserende tiltak dersom det ønskes utbygging i Tiltakskategori K4 innenfor faresonen (dvs. "Løsneområde" og "Utløpsområde"). Aktuelle tiltak kan være etablering av stabiliserende motfylling i foten av skråningen, evt. installering av kalk-sement peler om stabiliserende motfylling kommer i konflikt med fremtidige planer for området. Avlastning av toppen av skråningen er også et mulig alternativ. Når stabiliserende tiltak er utført vurderes den planlagte utbyggingen for å være gjennomførbar iht. gjeldende regler og forskrifter hva angår sikkerhet mht. skred i kvikkleiremasser/masser med sprøbruddsegenskaper. Det påpekes imidlertid at planlegging og gjennomføring av ny bebyggelse innenfor faresonen må utføres i samråd med geoteknikk sakkyndig i forbindelse med detaljprosjekteringen for å sikre at stabiliteten også er tilfredsstillende i bygge- og permanentfasen.

Det bemerkes at dagens forhold mht. områdestabiliteten vurderes som tilfredsstillende for dagens bruk, og for evt. fremtidig utbygging innenfor faresonen (dvs. innenfor "Løsneområdet" og "Utløpsområde") såfremt denne begrenses til Tiltakskategori K0 - K3.

En evt. utbygging innenfor det kartlagte/vurderte området forutsettes utført iht. gjeldende regelverk (PBL/Eurokoder) for å sikre at de lokale samt anleggsmessige stabilitetsforholdene også er ivaretatt.

1 Innledning

Kristiansand kommune planlegger å utvikle området på Lund Torv i Kristiansand kommune. I forbindelse med planlagt utvikling er Multiconsult ASA engasjert til å utføre en faresonekartlegging av området mht. områdestabiliteten. Multiconsult ASA har nylig utført geotekniske grunnundersøkelser og presentert resultatene av disse i rapport nr. 313786-RIG-RAP-001 (/1/).

I følge kartgrunnlaget fra NVE ligger marine grense i område på mellom ca. kote +30 og +35 som er høyere enn terrengnivået i området, og som medføre at sannsynligheten for kvikkleire/sprøbruddsmateriale på større deler av tomta er til stede.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
01	19.05.17	Utarbeidet basert på uavhengig kontroll utført av Rambøll 30.03.17	JAA	MIO	TDR
00	10.03.2017	Utarbeidet - Utkast	TDR/MIO	JAA	TDR

Tidligere utførte grunnundersøkelser, samt undersøkelsene som nylig er utført, har påvist sprøbruddsmateriale i området, og dette medfører derfor at det må foretas en faresonekartlegging av området mht. områdestabiliteten, jfr. retningslinjer utarbeidet av NVE (/2/). Hensikten er å kartlegge potensielt skredfarlige kvikkleireområder og med dette identifisere områder der kreves geotekniske beregninger/vurderinger i forbindelse med nye tiltak/utbygginger.

Foreliggende notat inneholder resultatene av faresonekartleggingen samt geotekniske beregninger og vurderinger mht. skredfare/stabilitet. Notatet er utarbeidet i samsvar med NVE sine retningslinjer vedr. "Planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag" (ref. /2/) og tilhørende vedlegg 1 "Teknisk veiledning for vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire". I NVE-veiledningen kreves bl.a. at det foretas faregradsevaluering av området, og denne evalueringen er også inkludert i notatet.

2 Situasjonsbeskrivelse, topografi og grunnforhold

Lund Torv ligger på Lund i Kristiansand kommune. Planområdet er stort sett bebyggt, med unntak av et grøntområde i nordøst. Området ligger i krysset med Østerveien, Marviksveien, Torridalsveien og Kuholmsveien.

Store deler av det undersøkte området ligger med terrengnivå mellom ca. kote +5 i vest-sydvest økende til ca. kote +10 mot øst, og med en gjennomsnittlig helning stort sett mellom 1:15 og 1:25. Helt i øst øker terrenget opp til ca. kote +22 og med brattere helning, mellom ca. 1:2 og 1:5. Det er enkelte partier der terrenget er tilnærmet vertikalt, men dette skyldes bergskjæringer.

Det er registrert berg i dagen også på flere steder i øst-sydøst på planområdet.

Ifølge løsmassekart utarbeidet av NGU domineres området av fyllmasse, jfr. Figur 2-1.



Figur 2-1 NGU; Løsmassekart

Tidligere og nylig utførte grunnundersøkelsene viser at grunnen i hovedsak består av et øvre lag av sand og stedvis silt/leire, og med kvikkleire i dybden.

3 Faresonekartlegging og områdestabilitet

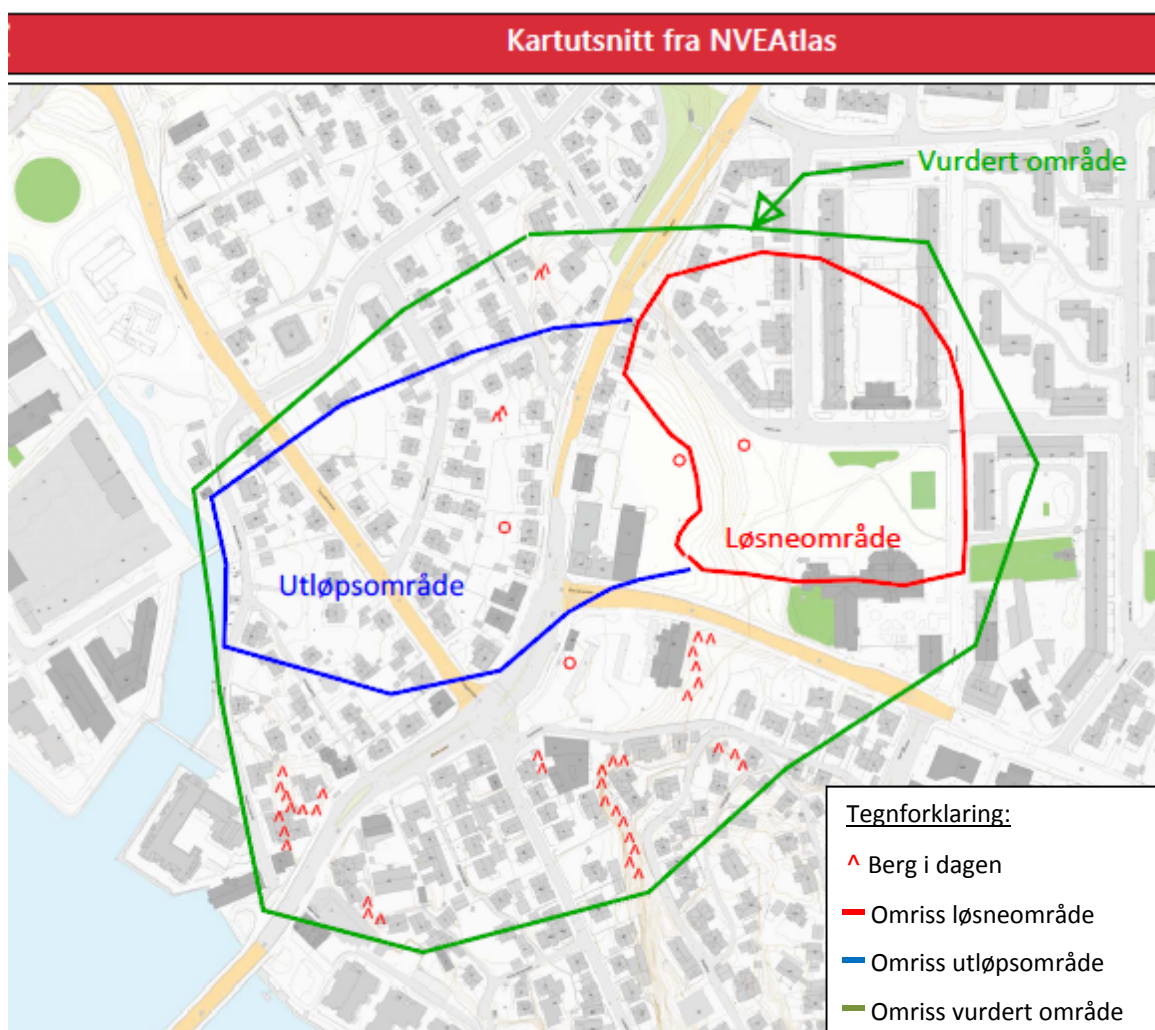
3.1 Geotekniske vurderinger

Det er foretatt en kartlegging av faresonen iht. /2/, og resultatene fremgår av kap. 0. Videre er det foretatt geotekniske beregninger og vurderinger mht. stabiliteten av området ned mot vest-sydvest. Her er beliggenheten av kritisk snitt identifisert og deretter er det foretatt både udrenert (s_u) og drenert analyse ($a\phi$) av stabiliteten. Resultatene av beregningene og vurderingene er presentert i kap. 3.3.

3.2 Vurdering av faresone

I Figur 3-1 nedenfor er det vist et mer detaljert utsnitt av kartgrunnlaget fra skrednett.no påført markeringer mht. berg i dagen (\wedge) samt områder hvor det ifølge nylig utførte grunnundersøkelser er registrert sprøbruddsmateriale/kvikkleire (\circ).

Det kan ikke utelukkes at det er kvikkleire/sprøbruddsmateriale i de andre undersøkelsespunktene. Basert på disse observasjonene, resultatene av nylig og tidligere utførte geotekniske grunnundersøkelsene samt topografien i området mht. berg i dagen, er det foretatt en vurdering mht. utstrekningen av faresonen. Denne faresonen består av to områder, "Løsneområde" og "Utløpsområde".



Figur 3-1 Utarbeidet faresonekart påført anmerkninger

Faresonekartlegging, stabilitetsberegninger og -vurderinger

1. "Løsneområde" (dvs. området som glir ut når et skred inntreffer - merket med rød linje). Det er kun et potensielt skred i den lokale skråningen opp mot Kirkeveien og bebyggelsen i bakkant som er vurdert til å være reellt. Utstrekningen av selve løsneområdet er begrenset i øst av en linje med helning 1:15 (/2/) trukket fra foten av skråningen og videre opp mot terrenget ved Kirkeveien i øst. I nord og syd er løsneområdet begrenset av berg i dagen, evt. beliggenheten av undersøkelser der det kun er påvist grove masser over bergoverflaten
2. "Utløpsområde" (dvs. området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa - merket med blå linje), og denne fremgår også av Figur 3-1. Hele området som er vurdert er markert med grønn linje.

Faresonekartleggingen er basert på resultatene av de geotekniske grunnundersøkelsene, topografien og NVE sine retningslinjer "Flaum- og skredfare i arealplaner" med tilhørende tekniske veileder (/2/) og NGI rapport nr. 20001008-2 revisjon 3 vedr. "Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire" (/3/). Faresonen er skissert inn på kartgrunnlaget i Figur 3-1.

3.2.1 Skadekonsekvens

Evalueringen er utført iht. Tabell 3-1 og Tabell 3-2 under:

Tabell 3-1 Skadekonsekvens

Faktorer	Vekt-tall	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
Oppdemning/flom	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum poeng		45	30	15	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Faresoner er inndelt i tre skadekonsekvensklasser iht. /3/.

- Skadekonsekvensklasse mindre alvorlig: Poengverdi fra 0 til 6
- Skadekonsekvensklasse alvorlig: Poengverdi 7 til 22
- Skadekonsekvensklasse meget alvorlig: Poengverdi 23 til 45

En evaluering av faresonen mht. skadekonsekvens gir følgende resultat (Tabell 3-2):

Tabell 3-2 Skadekonsekvens, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Boligheter, antall	4	3	12	
Næringsbygg, personer	3	2	6	
Annen bebyggelse, verdi	1	0	0	Ingen annen bebyggelse innenfor faresonen
Vei, ÅDT	2	3	6	Hovedveg til sentrum
Toglinje, baneprioritet	2	0	0	Ingen toglinjer innenfor faresonen
Kraftnett	1	1	1	Ingen høyspentlinjer innenfor faresonen
Oppdemning/flom	2	1	2	Antas "liten" konsekvens
Poengverdi			27	Gir skadekonsekvensklasse "meget alvorlig"

Skadekonsekvensevalueringen for dagens situasjon gir en poengverdi på 27 og medfører at sonen plasseres i skadekonsekvensklasse "meget alvorlig", og som omfatter soner med poengverdi fra 23 til 45 poeng (jfr. /3/). På grunnlag av de oppsatte kriteriene vil dermed sonen ha risiko for skade på mennesker/tap av menneskeliv eller betydelige økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser. Den beregnede poengverdien er 60 % av maksimal poengverdi.

3.2.2 Faregrad

Evalueringen er utført iht. Tabell 3-3 og Tabell 3-4 under:

Tabell 3-3 Faregrad

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	
Sum poeng		51	34	16	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Faresoner er inndelt i tre faregradsklasser iht. /3/.

- Faregradklasse lav: Poengverdi fra 0 til 17
- Faregradklasse middels: Poengverdi 18 til 25
- Faregradklasse høy: Poengverdi 26 til 51

En evaluering av faresonen mht. faregrad gir følgende resultat (Tabell 3-4):

Tabell 3-4 Faregrad, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Tidl. skredaktivitet	1	1	1	
Skråningshøyde, meter	2	0	0	Total høydeforskjell er inntil ca. H = 11 - 12 m
OCR	2	1	2	
Poretrykk	3/-3	0	0	Det antas hydrostatisk fordeling i dybden
Kvikkleiremektighet	2	3	6	Mektighet av kvikkleire/sprøbruddsmateriale innenfor løснеområde er registrert inntil ca. 8 m i PR. v/2
Sensitivitet	1	3	3	Sensitiviteten er for enkeltprøver målt opptil $s_t = 600$
Erosjon	3	0	0	Det antas ingen erosjon
Inngrep Forverring	3	0 ¹	0 ¹	Gjelder for dagens situasjon
Poengverdi			12	Gir faregradsklasse "Lav"

Faregradsevalueringen for dagens situasjon gir en poengverdi på 19 og medfører at sonen plasseres i faregradsklasse "Lav", og som omfatter soner med poengverdi fra 0 til 17 poeng (jfr. /3/). På grunnlag av de oppsatte kriteriene vil dermed sonen, relativt sett, ha liten sannsynlighet for at skred skal inntreffe.

Den beregnede poengverdien er 24 % av maksimal poengverdi for hhv. dagens situasjon.

3.2.3 Risikoklasse

Risiko er iht. /3/ definert som skadekonsekvens x faregrad. For å få en enhetlig basis for beregningene er poengverdiene for skadekonsekvens og faregrad omgjort til "% av maksimal poengverdi". Tallverdien for risiko fremkommer således ved å multiplisere %-tallet for skadekonsekvens med %-tallet for faregrad.

Risiko er inndelt i fem klasser (mens skadekonsekvens og faregrad er inndelt i tre klasse). Dette er gjort for å skille ut soner med aller lavest risiko og aller høyest risiko. Også for risiko er det en viktig målsetting for klassifiseringen å oppnå en god spredning av sonene mellom de fem klassene.

Dette gir følgende inndeling for de fem risikoklassene:

Faresonekartlegging, stabilitetsberegninger og -vurderinger

- Risikoklasse 1 omfatter alle soner med tallverdi fra 0 til 170
- Risikoklasse 2 omfatter alle soner med tallverdi fra 171 til 630
- Risikoklasse 3 omfatter alle soner med tallverdi fra 631 til 1 900
- Risikoklasse 4 omfatter alle soner med tallverdi fra 1 901 til 3 200
- Risikoklasse 5 omfatter alle soner med tallverdi fra 3 201 til 10 000

Faresonen iht. dagens situasjon:

- Skadekonsekvens lik 60 % av maksimal poengverdi
- Faregrad lik 24 % av maksimal poengverdi

Det gir risiko med tallverdi lik 1440, og dermed Risikoklasse 3.

3.3 Stabilitetsberegninger og -vurderinger

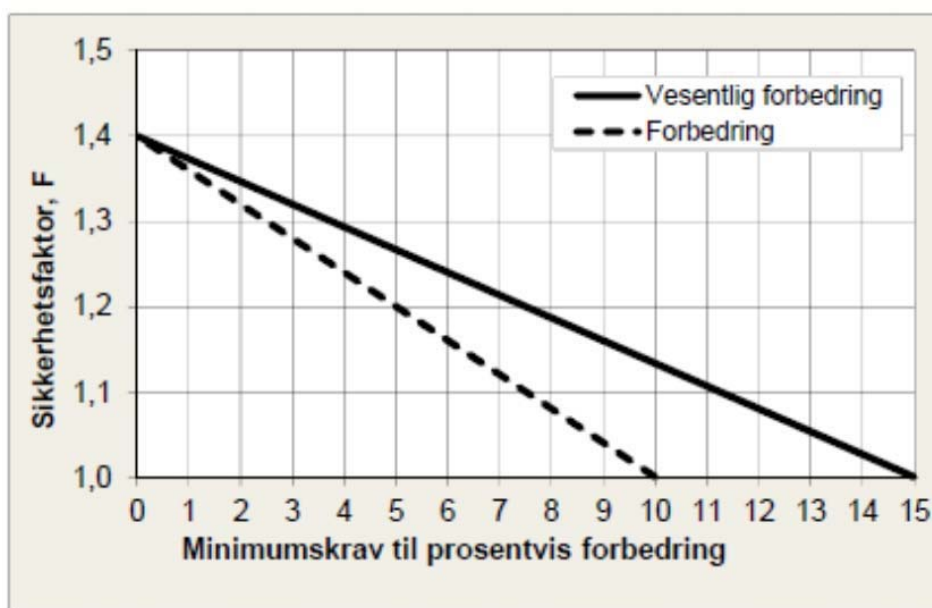
Det er foretatt geotekniske beregninger og vurderinger mht. stabiliteten av den kartlagte faresonen ("områdestabilitet") for å vurdere dagens situasjon og evt. konsekvenser for planlagt utbygging.

3.3.1 Tiltakskategori og sikkerhetsfaktor

Sikkerhetsnivå mot utglidning representeres ved sikkerhetsfaktor F. Krav til sikkerhetsnivå avhenger av tiltakskategori og faregradsklasse slik det fremgår av NVE sine retningslinjer "Flaum- og skredfare i arealplaner" med tilhørende tekniske veileder (/2/) samt TEK10 (/4/).

Deler av området som er undersøkt planlegges med blokkbebyggelse, og det legges derfor til grunn tiltakskategori K4 (jfr. ref. /2/). Kombinert med en "Lav" faregrad (kap. 3.2.2) medfører dette et krav om sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$.

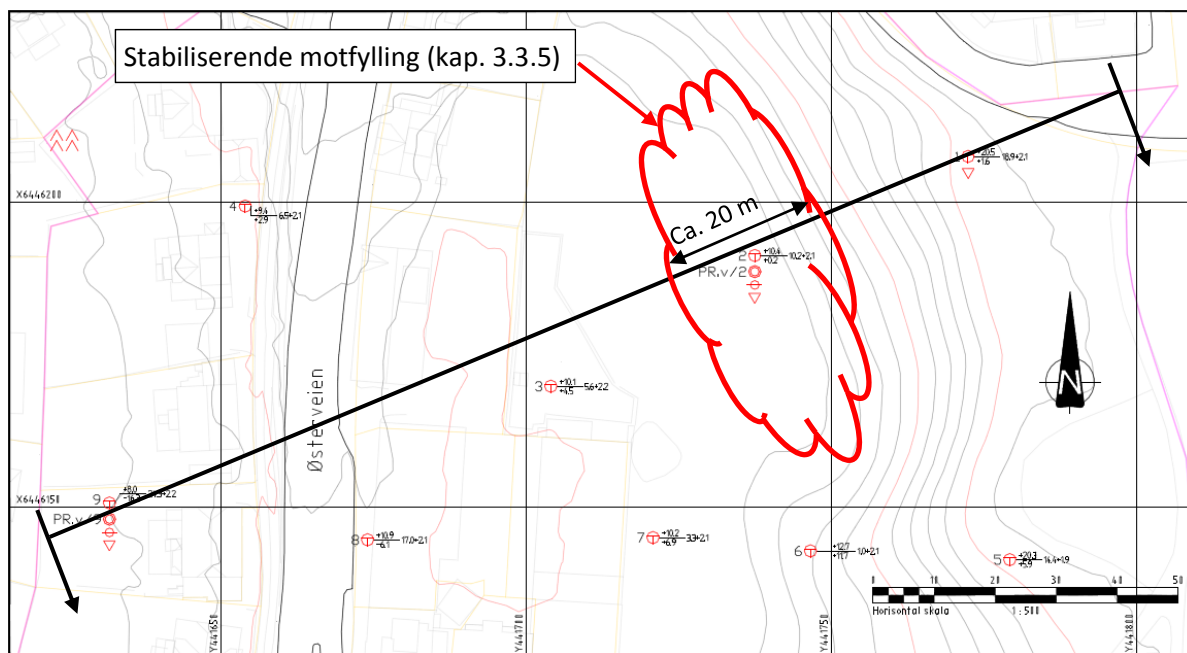
Hvis det ikke kan dokumenteres tilstrekkelig sikkerhet kreves det iht. /2/ en %-vis forbedring av stabiliteten, og da vil sikkerhetsfaktoren for dagens områdestabilitet, kombinert med "Lav" faregrad og tiltakskategori K4 avgjøre hvor mye stabiliteten må forbedres (inntil 10 %), slik det fremgår av Figur 3-2 (kurveplott - "Forbedring"). Det bemerkes at forbedring av stabiliteten iht. kun kan utføres ved å foreta topografiske endringer (for eksempel ved å avlaste toppen skråning og/eller foreta stabiliserende motfylling i foten) eller ved å masseutskifte med lette masser i toppen av skråningen.



Figur 3-2 Krav til %-vis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser (/2/)

3.3.2 Kritisk snitt

Beliggenheten av kritisk snitt fremgår av Figur 3-3, og er valgt med bakgrunn i topografi (skråningshøyde- og helning) samt grunnforhold, dvs. områder der undersøkelsene viser relativ stor mektighet av kvikkleire/sprøbruddsmateriale. Det påpekes at det er noen få partier i området (syd for beliggenheten av kritisk snitt) hvor kartgrunnlaget viser brattere helning, men i disse områdene er det enten registrert berg i dagen eller sparsom løsmassdekke, og disse partiene er dermed ikke relevante mht. vurderingen av områdestabiliteten.



Figur 3-3 Beliggenhet av kritisk snitt

3.3.3 Laster

Det er medtatt en karakteristisk trafikkbelastning $p_{k,trafikk}$ lik 10 kN/m^2 . Med en lastfaktor γ_L lik 1,3 resulterer dette i en dimensjonerende trafikkbelastning $p_{k,trafikk}$ lik 13 kN/m^2 . Dette er iht. Statens vegvesen håndbok V220 (/5/).

3.3.4 Jordparametere

Tolkning av parametere for grunnen i beregningsprofilen er utført på basis av opptatte 54 mm prøveserier, treaksialforsøk og erfaringsdata. Videre er trykksonderinger benyttet mht. utvikling av skjærfasthet med dybden. For vurdering av beliggenheten av laggrensene er i tillegg resultatene av utførte totalsonderinger hensyntatt.

Grunnvannstand

Grunnvannstanden i foten av skråningen er, basert på avlest hydraulisk poretryksmåler, forutsatt beliggende ca. 0,4 m under terreng, tilsvarende kote +10,0, og med hydrostatisk trykkfordeling med dybden.

Grunnvannstanden i toppen av skråningen er, basert på poretryksresponsen i utført trykksondring CPTu v/ pkt. 1, i utgangspunktet antatt beliggende i ca. 9,5 m dybde under terreng, tilsvarende ca. kote +11,0, og med hydrostatisk trykkfordeling med dybden. I forbindelse med stabilitetsberegningene er imidlertid grunnvannstanden i toppen av skråningen konservativt antatt i ca. 5 m dybde.

Rutinedata

Vanninnholdet varierer generelt mellom ca. 36 og 54 % for leira/kvikkleira. Tyngdetettheten ligger generelt i området 17,5 - 19,2 kN/m³. I beregningene er det valgt å benytte en gjennomsnittlig tyngdetetthet på 18 kN/m³ i leira/kvikkleira.

Plastisiteten (I_p) for leira/kvikkleira er i størrelsesorden 4-8 %.

Skjærfasthet

På de opptatte prøvene er det ved konus- og enaksialt trykkforsøk målt en udrenert skjærfasthet mellom 24 og 49 kN/m², og det er også målt en udrenert skjærfasthet lik 65 kN/m² på en av prøvene. Leira anses dermed for å være bløt til fast. Det er utført to treaksialforsøk på prøve fra borpunkt 2 i hhv. 4,55 og 8,55 m dybde under terreng. Treaksialforsøkene er utført som anisotrop konsolidert, udrenert og aktivt forsøk (CAUa). Ved 1 % tøyning viser resultatet av forsøkene en udrenert aktiv skjærfasthet s_{uA} lik ca. 45 kN/m² i 4,55 m dybde under terreng og ca. 54 kN/m² i 8,55 m dybde.

Konsolideringsforhold

Prekonsolideringsforhold og grunnens deformasjonsegenskaper er bestemt ut i fra ødometerforsøk på prøve fra prøvetaking utført i foten av skråningen. Resultatene tilsier at massene i foten av skråningen er overkonsoliderte tilsvarende en forkonsolideringsspenning som er ca. 200 kN/m² høyere enn dagens insitu spenningsnivå. Massene i toppen av skråningen vurderes til å være normalkonsoliderte.

Styrkeparametre benyttet i beregninger - Anisotropi

Beregninger er utført på totalspenningsbasis (s_u -analyse med anisotropifaktorer - ADP-analyse) og på effektivspenningsbasis ($a\phi$ -analyse).

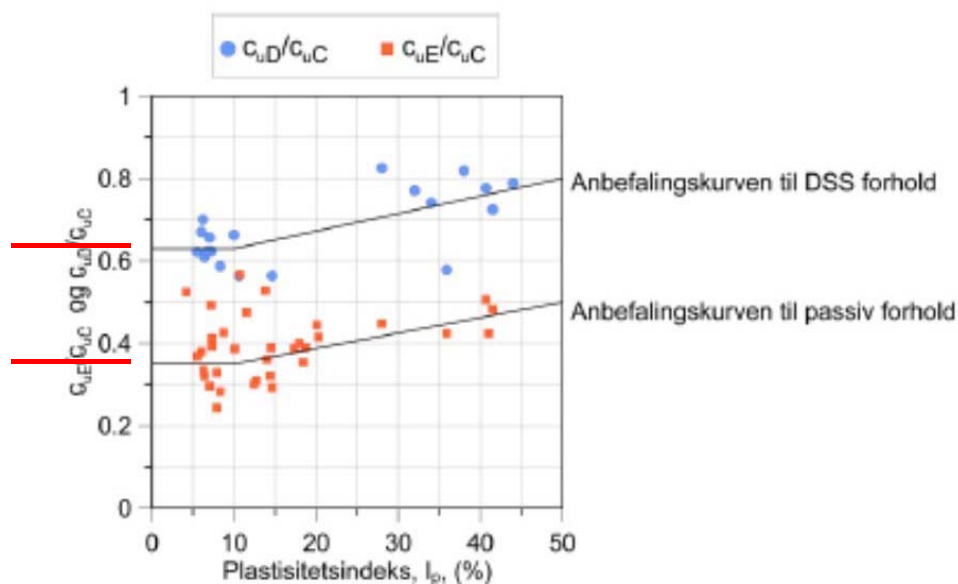
Mht. karakteristisk friksjonsvinkel (ϕ_k) i massene av sand er det det benyttet erfaringsverdier, mens det for leira/kvikkleira er benyttet resultatene fra udrenert aktivt treaksialforsøk og konservativ tolkning ved ca. 0,5 % tøyning.

For beregningene er det benyttet udrenert skjærfasthet basert på tolkning av aktive treaksialforsøk samt resultatene av utførte trykksonderinger, og fremgår som dimensjonerende aktive skjærfasthetsprofil på vedlagte tegninger nr. 40.6 tom. 40.8, 41.6 tom. 41.9 og 42.6 tom. 42.9. For bestemmelse av direkte og passiv skjærfasthet er det valgt å benytte erfaringsbaserte forhold mellom plastisitetsindeks (I_p) og skjærfastheten fra aktive, direkte og passive treaksialforsøk (s_{uA} , s_{uD} og s_{uP}), jfr. NIFS rapport 2014 utarbeidet av NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen (/6/).

Basert på plastisitetsindeks $I_p < 10$ % er det dermed benyttet følgende forholdstall mellom direkte og aktiv skjærfasthet, og mellom passiv og aktiv skjærfasthet, jfr. Figur 3-4:

$$s_{uD} / s_{uA} = 0,63 \Rightarrow s_{uA} / s_{uD} = 1,59$$

$$s_{uP} / s_{uA} = 0,35 \Rightarrow s_{uP} / s_{uD} = 0,56$$



Figur 3-4 Anisotropifaktorer (/6/)

Det er benyttet jordparametere på total- og effektivspenningsbasis slik det fremgår av Tabell 3-5 under, og med utgangspunkt i karakteristiske jordparametere:

Tabell 3-5 Jordparametere

Lag	Friksjonsvinkel, ϕ	Attraksjon, a	Udrenert skjærfasthet, s_u
	Karakteristisk		Karakteristisk
Sand	34°	0	-
Kvikkleire	30°	9	s_u -profil
Morene	40°	0	-

3.3.5 Beregningsresultater og -konklusjoner

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsprogrammet GeoSuite Stability (ref. /7/). Programmet er basert på grenselikevektsmetode, og anvender en versjon av lamellemetoden som tilfredsstillende både kraft- og momentlikevekt. Programmet kan selv søke etter kritisk sirkulærsylindrisk glideflate ("SG") for definerte variasjonsområder av sirkelsentrum. Det er også mulig å definere egne glideflater ("EG") i programmet. Stabilitetsberegninger er som nevnt over foretatt ved udrenert analyse (s_u) og drenert analyse ($a\phi$). Stabilitetsberegningene resulterer i en sikkerhetsfaktor F, der minstekrav er enten $F \geq 1,4$ eller forbedring iht. kap. 3.3.1. Resultatene av beregningene fremgår av Tabell 3-6, og er også vist i vedlegg A.

Tabell 3-6 Stabilitetsberegninger og -resultater

Beregningsnr. og -metode	Sikkerhetsfaktor, F	Kommentarer
1 - Udrenert analyse (s_u)	1,23	Dagens situasjon (krav til min. 4,5 % forbedring)
2 - Udrenert analyse (s_u)	1,29	Skrå motfylling (minimums krav til F oppnådd)
3 - Udrenert analyse (s_u)	1,40	Mer omfattende motfylling (absolutt sikkerhet)
4 - Drenert analyse ($a\phi$)	1,96	Dagens situasjon

Som det fremgår av tabellen viser udrenert analyse at stabiliteten for dagens situasjon ikke er tilfredsstillende med tanke på videre utbygging i Tiltakskategori K4 i faresonen (dvs. innenfor "Løsneområde" og "Utløpsområde") da sikkerhetsfaktor F er lavere enn minimumskravet på 1,4. Det er dermed behov for stabiliserende tiltak. Aktuelle tiltak kan være å etablere motfylling i foten av skråningen iht. beregning nr. 2 jfr. Tabell 3-6, evt. installere kalk-sement peler. Et annet alternativ kan også være avlastning av toppen av skråningen ved avgraving av dagens masser og tilbakefylling med lette masser av for eksempel skumglassgranulat eller lettklinker.

Tabellen viser videre at stabiliteten er tilfredsstillende mht. effektivspenningsanalysene, og således vil bli enda bedre med bakgrunn i ovennevnte stabiliserende tiltak.

4 Konklusjon

Som nevnt over viser beregningene at dagens områdestabilitet ikke er tilfredsstillende med tanke på videre utbygging av området innenfor faresonen, og at det er behov for i forkant å foreta stabiliserende tiltak:

- Et tiltak kan være å etablere motfylling i foten av dagens skråning, slik det fremgår av Figur 3-3 og vedlegg A. Det er imidlertid ikke tatt stilling til hvorvidt en slik motfylling, som vurderes å være relativt beskjeden i størrelse, vil komme i konflikt med fremtidige planer mht. utnyttelsen av området da vi ikke har mottatt informasjon om disse.
- I så fall kan et alternativt stabiliserende tiltak være å installere kalk-sement peler, som imidlertid er et langt dyrere alternativ en etablering av nevnte motfylling. Det påpekes at ved å gjennomføre dette tiltaket så vil kravet være å oppnå en absolutt sikkerhet $F \geq 1,4$, dvs. det er ikke tilstrekkelig å kun oppnå en forbedring av sikkerheten.
- Det kan også vurderes avlastning av terrenget på toppen av skråningen ved masseutskifting med lette masser, men dette vil mest sannsynlig medføre inngrep i vegtraseen på toppen av skråningen.

Etter at stabiliserende tiltak er etablert, så vurderes områdestabiliteten som tilfredsstillende for videre utbygging i Tiltakskategori K4. Den planlagte utbygging vurderes dermed for å være gjennomførbar iht. gjeldende regler og forskrifter hva angår sikkerhet mht. skred i kvikkleiremasser/masser med sprøbruddsegenskaper.

Det påpekes at planlegging og gjennomføring av ny bebyggelse innenfor faresonen ("Løsneområde" og "Utløpsområde") må utføres i samråd med geoteknisk sakkyndig i forbindelse med detaljprosjekteringen for å sikre at de lokale samt anleggsmessige stabilitetsforholdene er ivaretatt iht. gjeldende regelverk (PBL/Eurokoder).

Avslutningsvis bemerkes det at områdestabiliteten vurderes som tilfredsstillende mht. dagens bruk, og at det kun er videre utbygging i Tiltakskategori K4 innenfor faresonen ("Løsneområde" og "Utløpsområde") som krever at det i forkant foretas stabiliserende tiltak som beskrevet over. Ved tiltakskategori K0 - K3 er det ikke behov for stabilisering av området.

Tegninger

- 40.6 tom. 40.8 Trykksondering (CPTu) ved pkt. 1
- 41.6 tom. 41.9 Trykksondering (CPTu) ved pkt. 2
- 42.6 tom. 42.9 Trykksondering (CPTu) ved pkt. 9

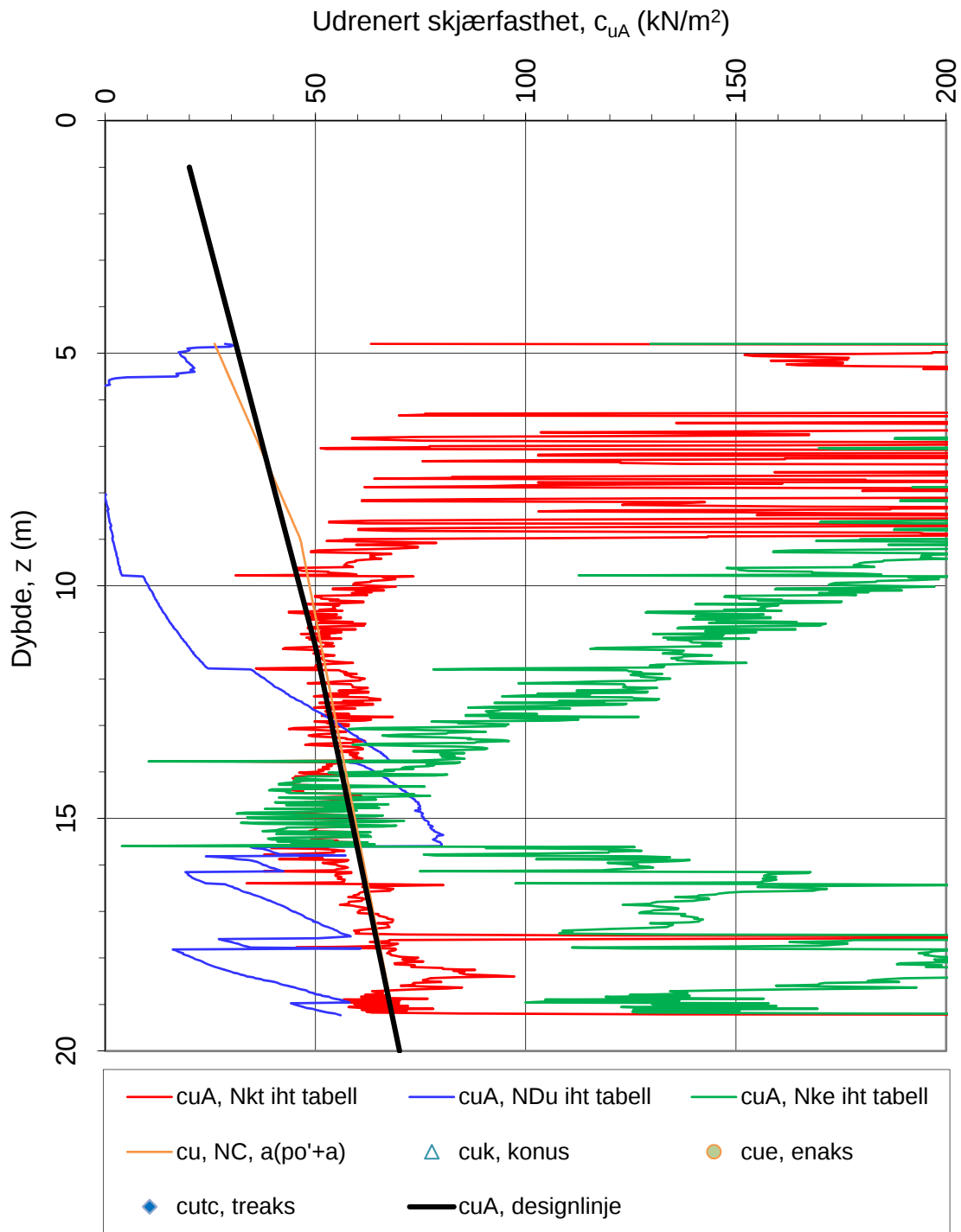
Vedlegg

- A Resultat av stabilitetsberegninger

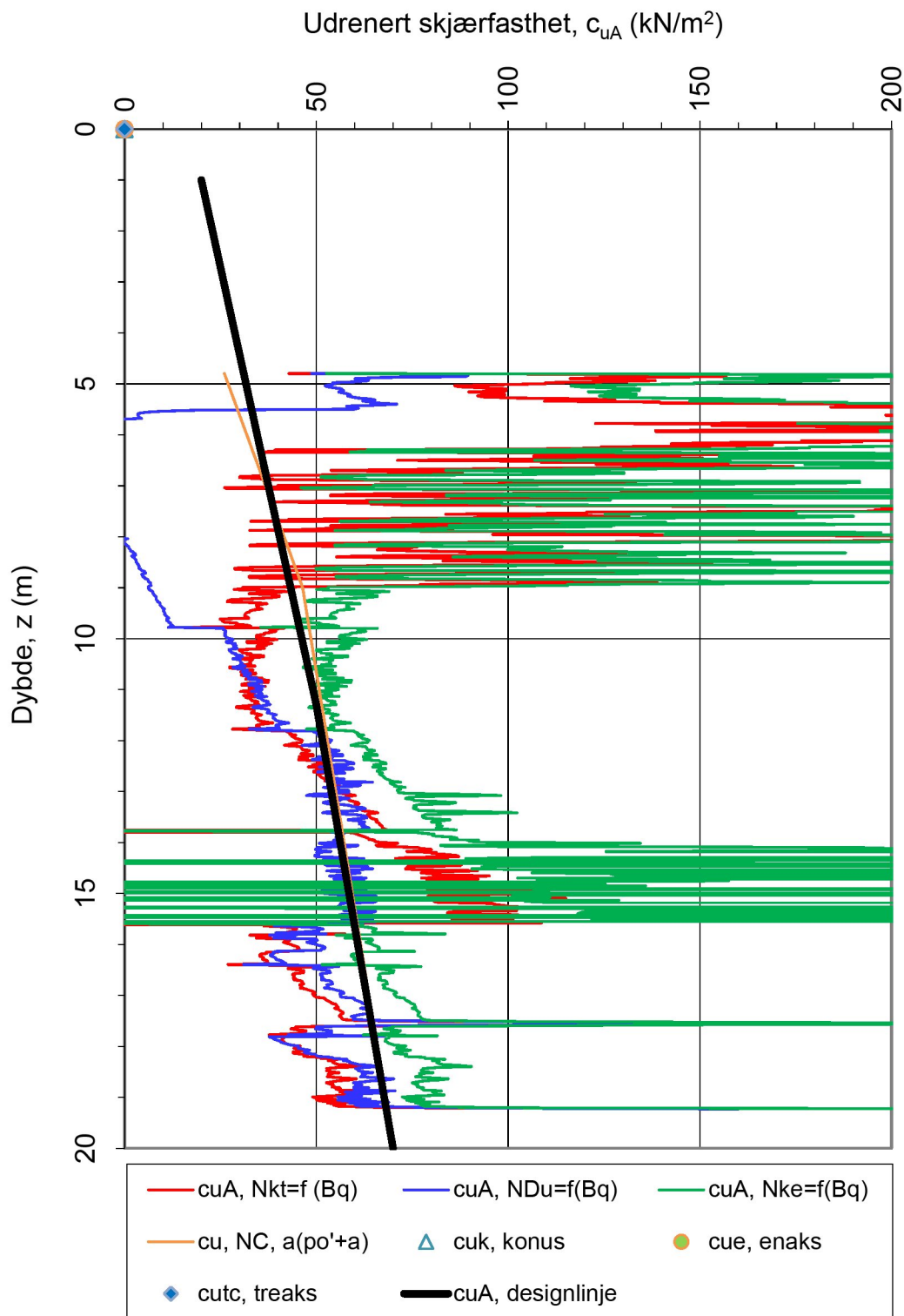
Faresonekartlegging, stabilitetsberegninger og -vurderinger

Referanser

- /1/ Multiconsult AS; Rapport nr. 313786-RIG-RAP-001 "Lund Torv. Geotekniske grunnundersøkelser." av 08.11.16
- /2/ NVE; Retningslinjer 2/2011 - "Flaum- og skredfare i arealplaner" og tilhørende tekniske veileder "Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper" (NVE-veileder 7/2014)
- /3/ NGI; Rapport nr. 20001008-2 revisjon 3 datert 08.10.08 vedr. "Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire"
- /4/ Kommunal- og moderniseringsdepartementet; Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift - TEK10)
- /5/ Statens vegvesen; Håndbok V220 - Geoteknikk i vegbygging, datert juni 2010
- /6/ NVE/Jernbaneverket/Statens vegvesen; NIFS rapport 14-2014 datert 30.01.14
- /7/ GS Stability, versjon 5.0.7. Novapoint GeoSuite Toolbox. Versjon 4.4.027, Installasjon 2.0.30



Lag	Dybde uk laggrense, z (m)	N_{kt}	$N_{\Delta u}$	N_{ke}	Merknad
1	25.00	10	7	4	
2	40.00	0	0	0	
3	40.00	0	0	0	
Oppdragsgiver: KRISTIANSAND EIENDOM		Oppdrag: LUND TORV, KRISTIANSAND			Tegningens filnavn: PTU_EXTRA_v5.0_CPTU
Aktiv udrenert skjærfasthet c_{uA} , valgte tolkningsfaktorer.					Multiconsult
CPTU id.:	1	Sonde:	4405		
MULTICONSULT AS	Dato: 23.12.2016	Tegnet: MIO	Kontrollert: JAA	Godkjent: TDR	
	Oppdrag nr.: 313786	Tegning nr.: 40.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 00	



$$N_{kt} = (18,7 - 12,5 \cdot B_q)$$

$$N_{Du} = (1,8 + 7,25 \cdot B_q)$$

$$N_{ke} = (13,8 - 12,5 \cdot B_q)$$

$$\alpha_c \text{ valgt: } \mathbf{0.27}$$

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND EIENDOM

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

PTU_EXTRA_v5.0_CPTU

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

Multiconsult

CPTU id.:

1

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

40.7

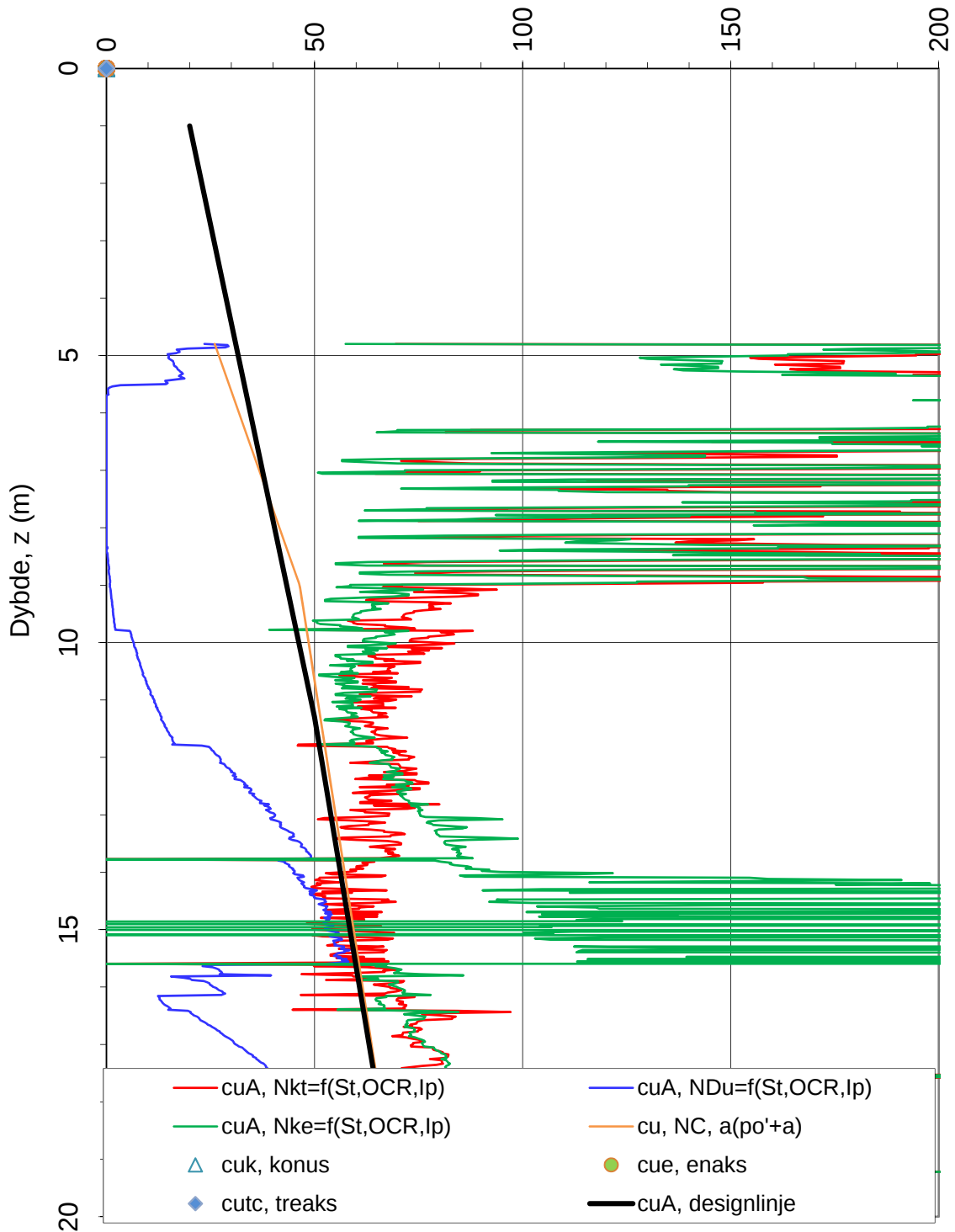
Versjon:

09.03.2016

Revisjon:

00

Udrenert skjærfasthet, c_{uA} (kN/m²)



- 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

α_c valgt:

0.27

$$N_{kt} = (8.5 + 2.5 \log OCR + 0 I_p)$$

$$N_{du} = (9.8 - 4.5 \log OCR + 0 I_p)$$

$$N_{ke} = (12.5 - 11 B_q)$$

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND EIENDOM

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

PTU_EXTRA_v5.0_CPTU

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

Multiconsult

CPTU id.:

1

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

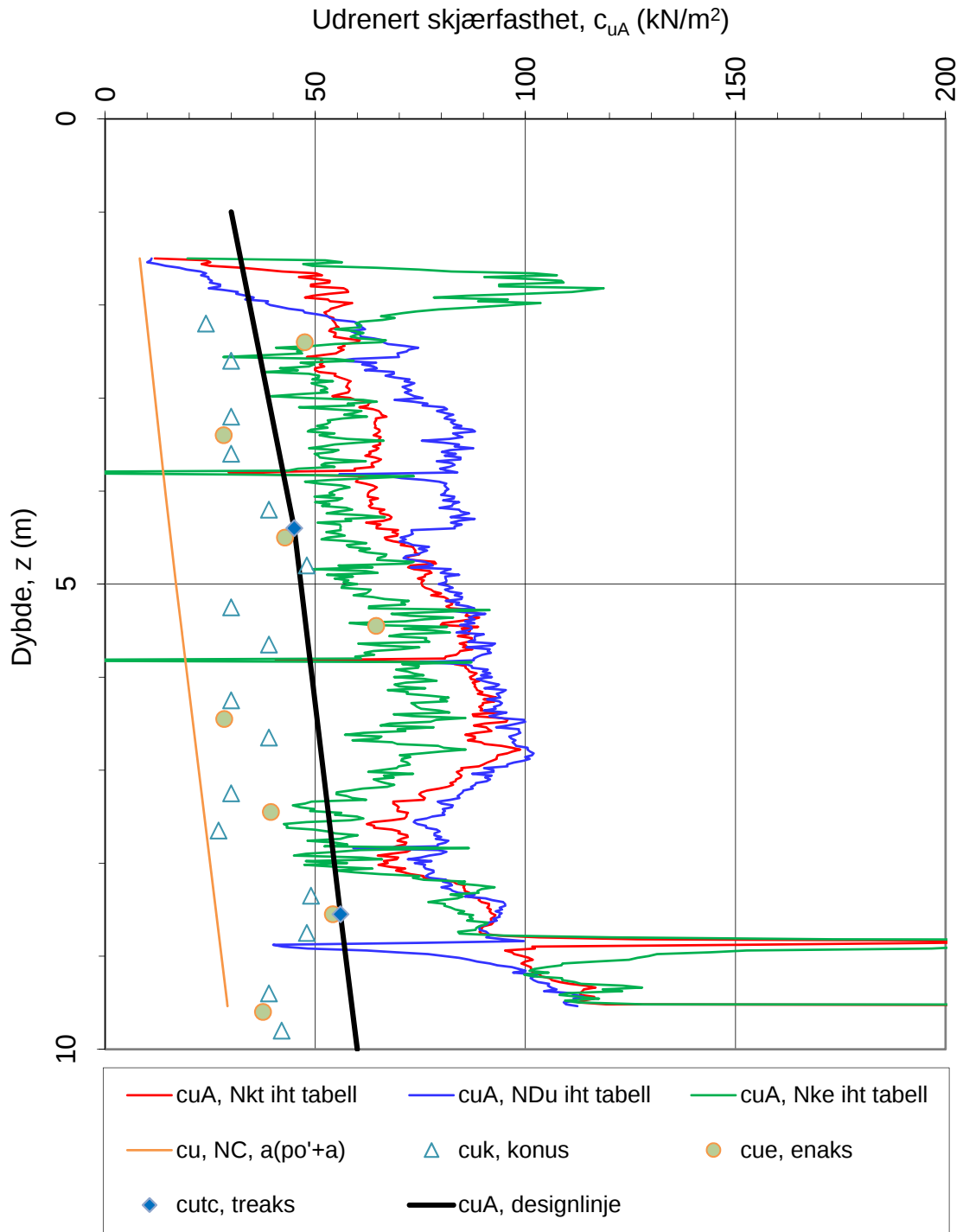
40.8

Versjon:

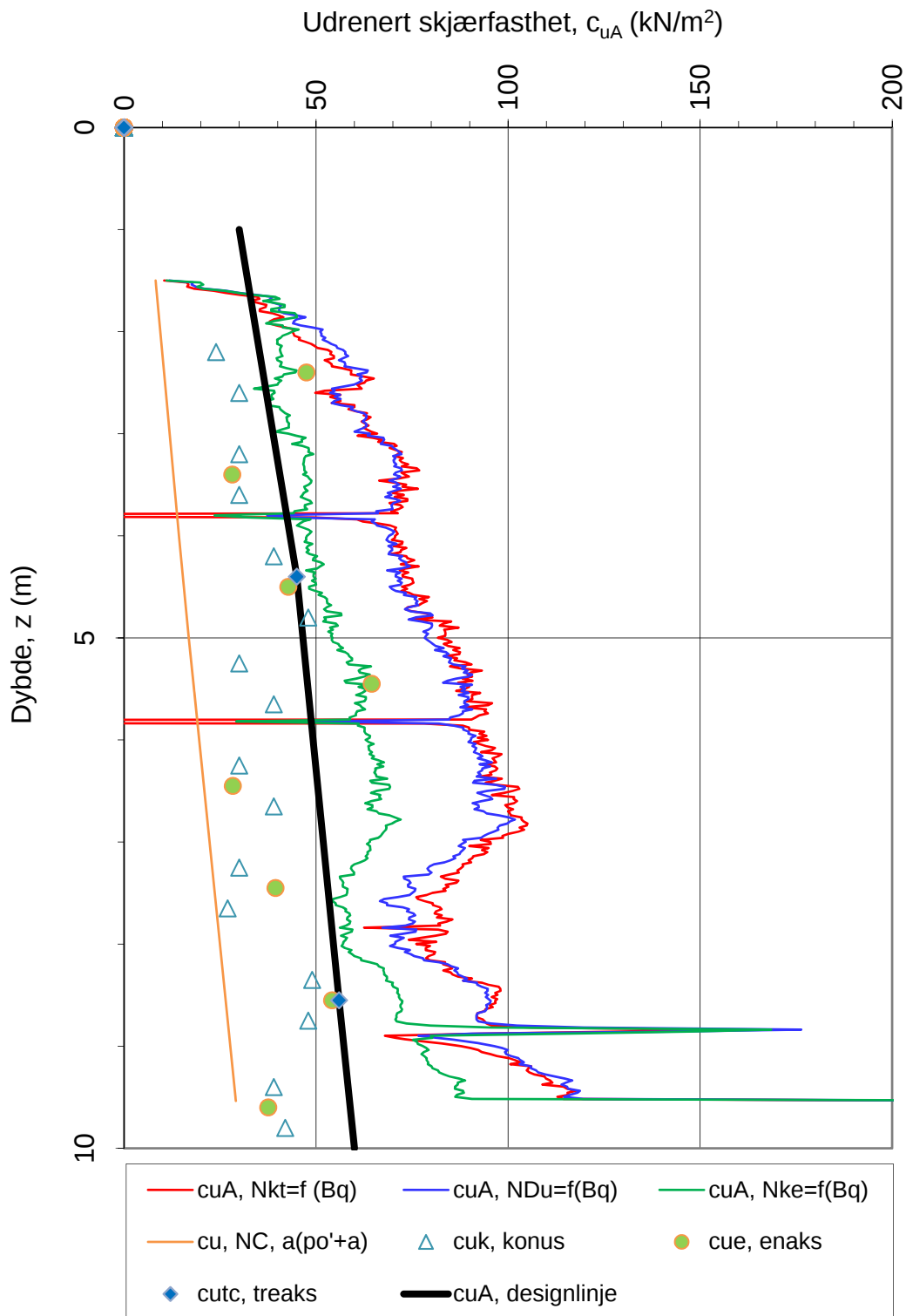
09.03.2016

Revisjon:

00



Lag	Dybde uk laggrense, z (m)	N_{kt}	$N_{\Delta u}$	N_{ke}	Merknad
1	4.40	10.6	6.1	4	
2	10.00	10	7.2	3.9	
3	0.00	0	0	0	
Oppdragsgiver: KRISTIANSAND EIENDOM		Oppdrag: LUND TORV, KRISTIANSAND		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0	
Aktiv udrenert skjærfasthet c_{uA} , valgte tolkningsfaktorer.				Multiconsult	
CPTU id.:	2	Sonde:	4405		
MULTICONSULT AS	Dato: 23.12.2016	Tegnet: MIO	Kontrollert: JAA	Godkjent: TDR	
	Oppdrag nr.: 313786	Tegning nr.: 41.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 00	



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

α_c valgt: **0.27**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND EIENDOM

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

2

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

41.7

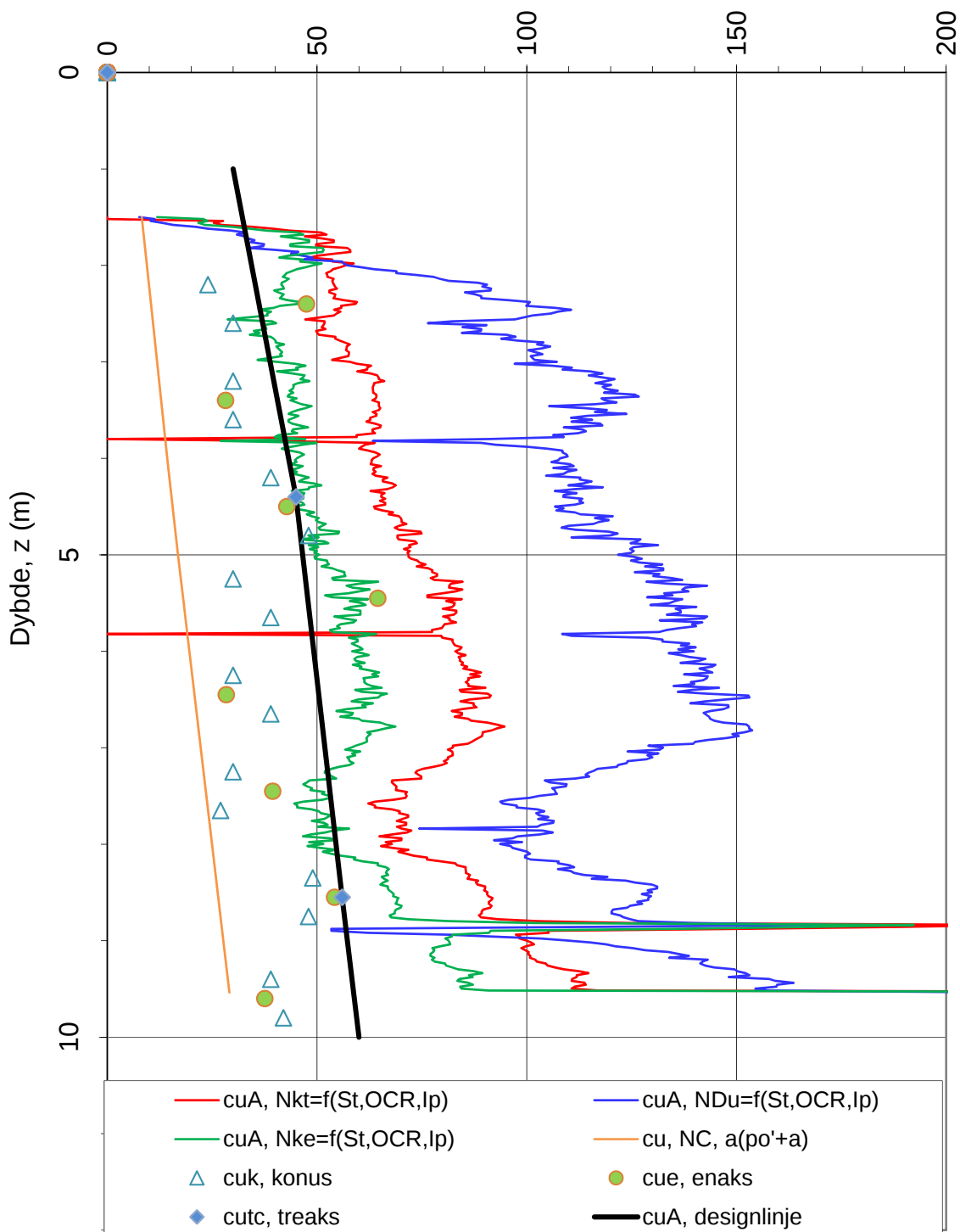
Versjon:

09.03.2016

Revisjon:

00

Udrenert skjærfasthet, c_{uA} (kN/m²)



Sensitivitetsvalg:

St > 15

α_c valgt:

0.27

$$Nkt = (8.5 + 2.5 \log OCR + 0Ip)$$

$$Ndu = (9.8 - 4.5 \log OCR + 0Ip)$$

$$Nke = (12.5 - 11Bq)$$

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND EIENDOM

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

2

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

41.8

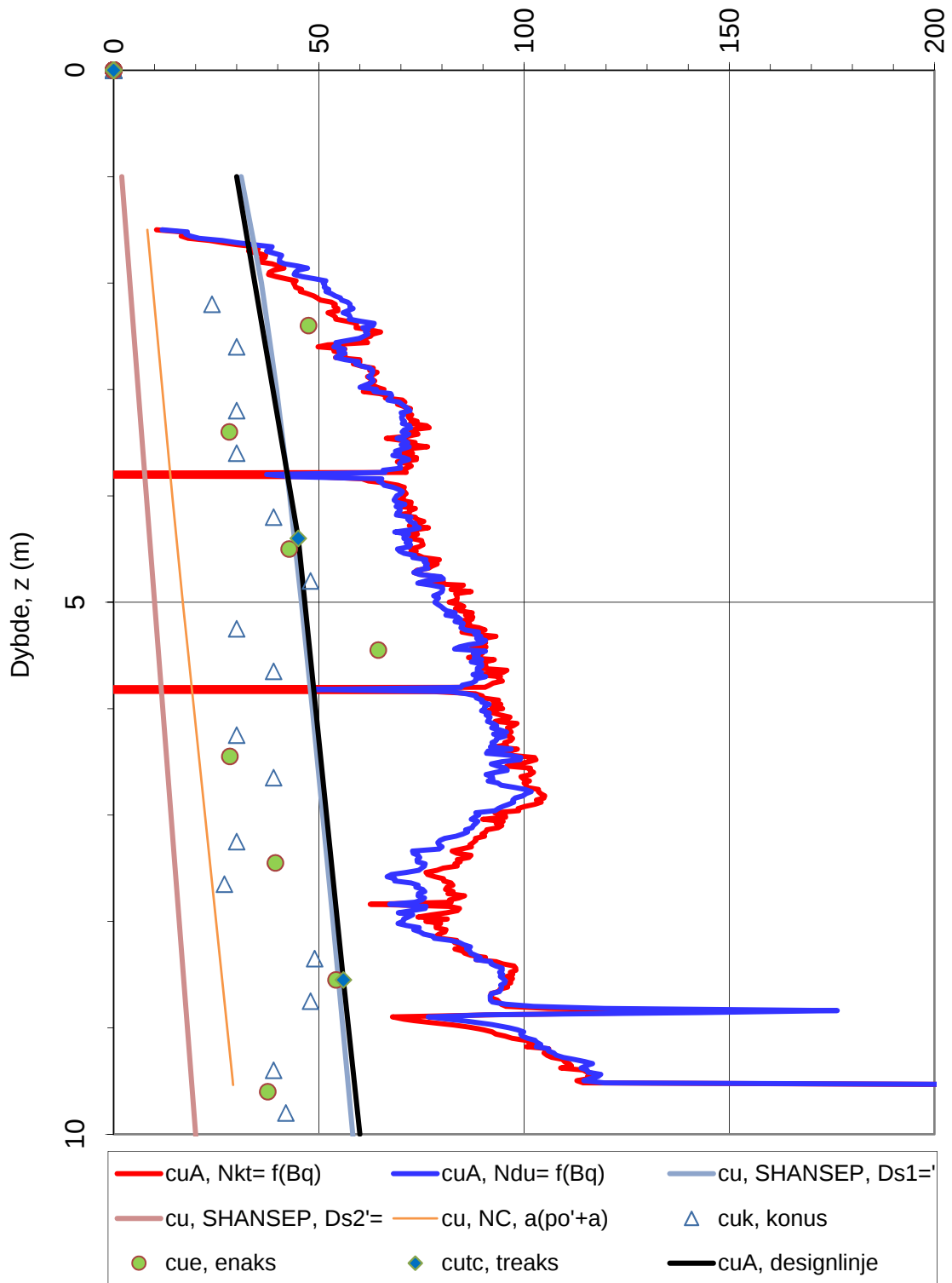
Versjon:

09.03.2016

Revisjon:

00

Udrenert skjærfasthet, c_{uA} (kN/m²)



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

α_c valgt: 0.27

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

Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND EIENDOM

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

2

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

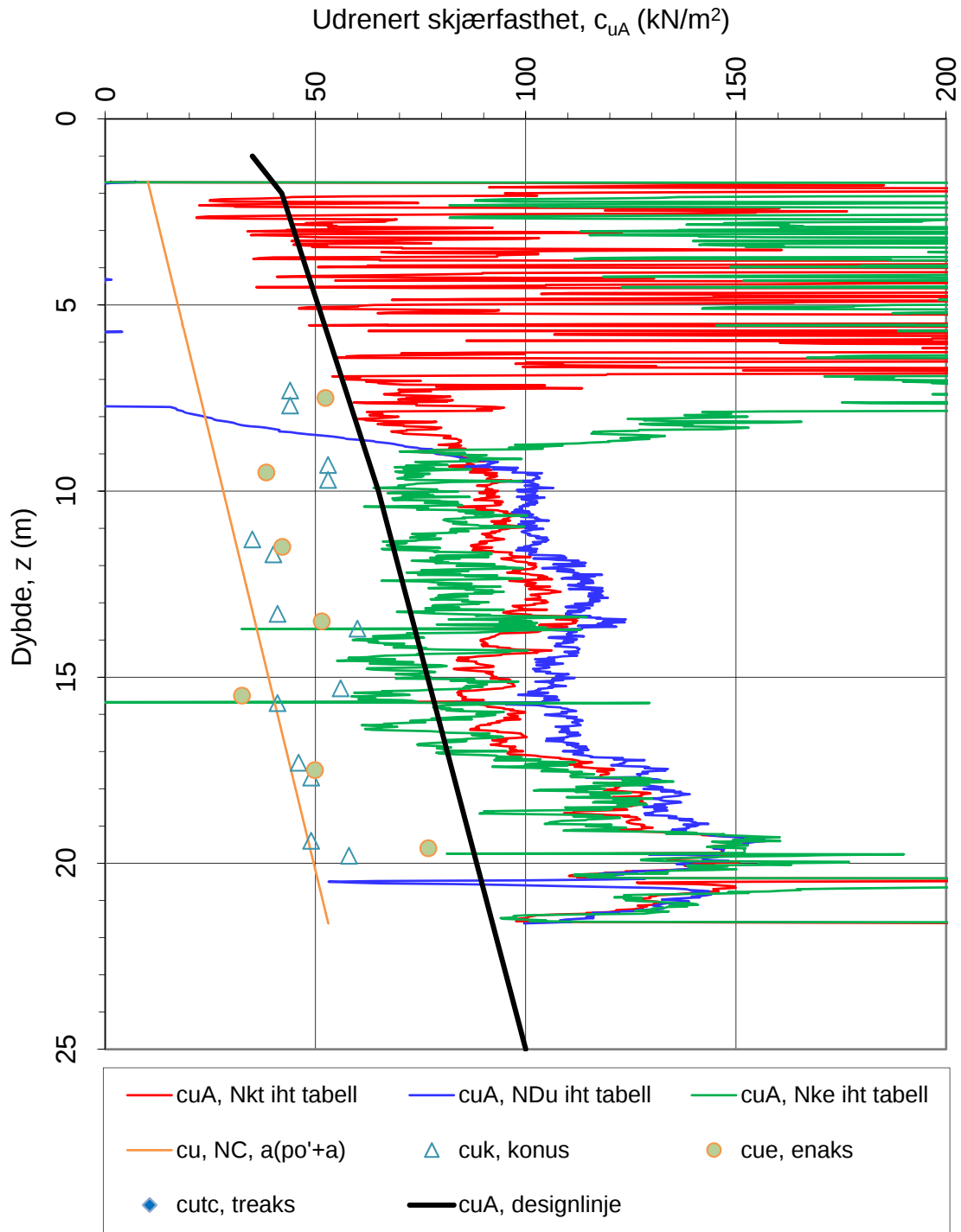
41.9

Versjon:

09.03.2016

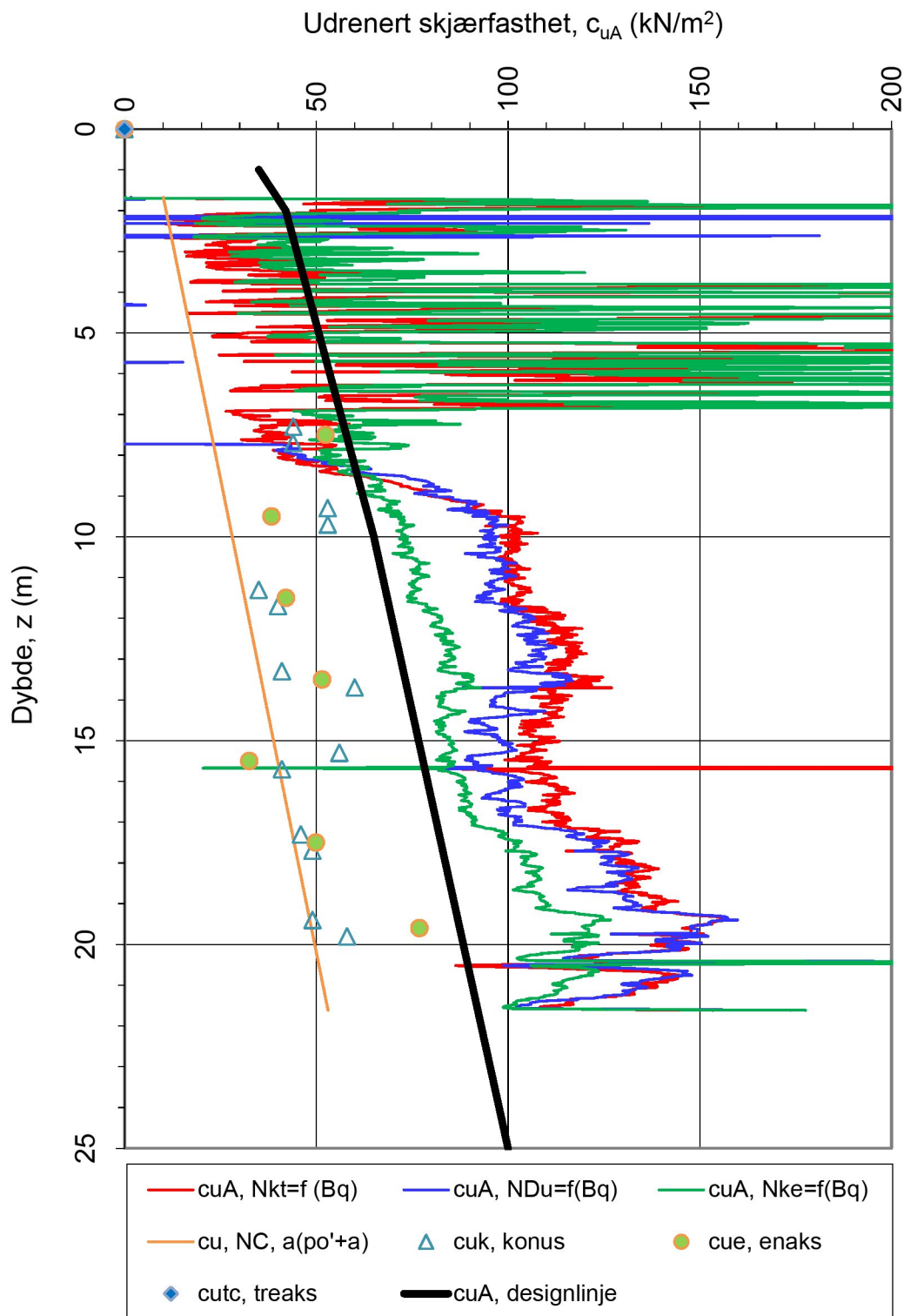
Revisjon:

00



Lag	Dybde uk laggrense, z (m)	N_{kt}	$N_{\Delta u}$	N_{ke}	Merknad
1	25.00	10	7	4	
2	0.00	0	0	0	
3	0.00	0	0	0	

Oppdragsgiver: KRISTIANSAND KOMMUNE	Oppdrag: LUND TORV, KRISTIANSAND	Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0		
Aktiv udrenert skjærfasthet c_{uA} , valgte tolkningsfaktorer.		Multiconsult		
CPTU id.:	9			Sonde:
MULTICONSULT AS	Dato: 23.12.2016	Tegnet: MIO	Kontrollert: JAA	Godkjent: TDR
	Oppdrag nr.: 313786	Tegning nr.: 42.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



$$N_{kt} = (18,7 - 12,5 \cdot B_q)$$

$$N_{Du} = (1,8 + 7,25 \cdot B_q)$$

$$N_{ke} = (13,8 - 12,5 \cdot B_q)$$

$$\alpha_c \text{ valgt: } \mathbf{0.27}$$

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND KOMMUNE

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

9

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

42.7

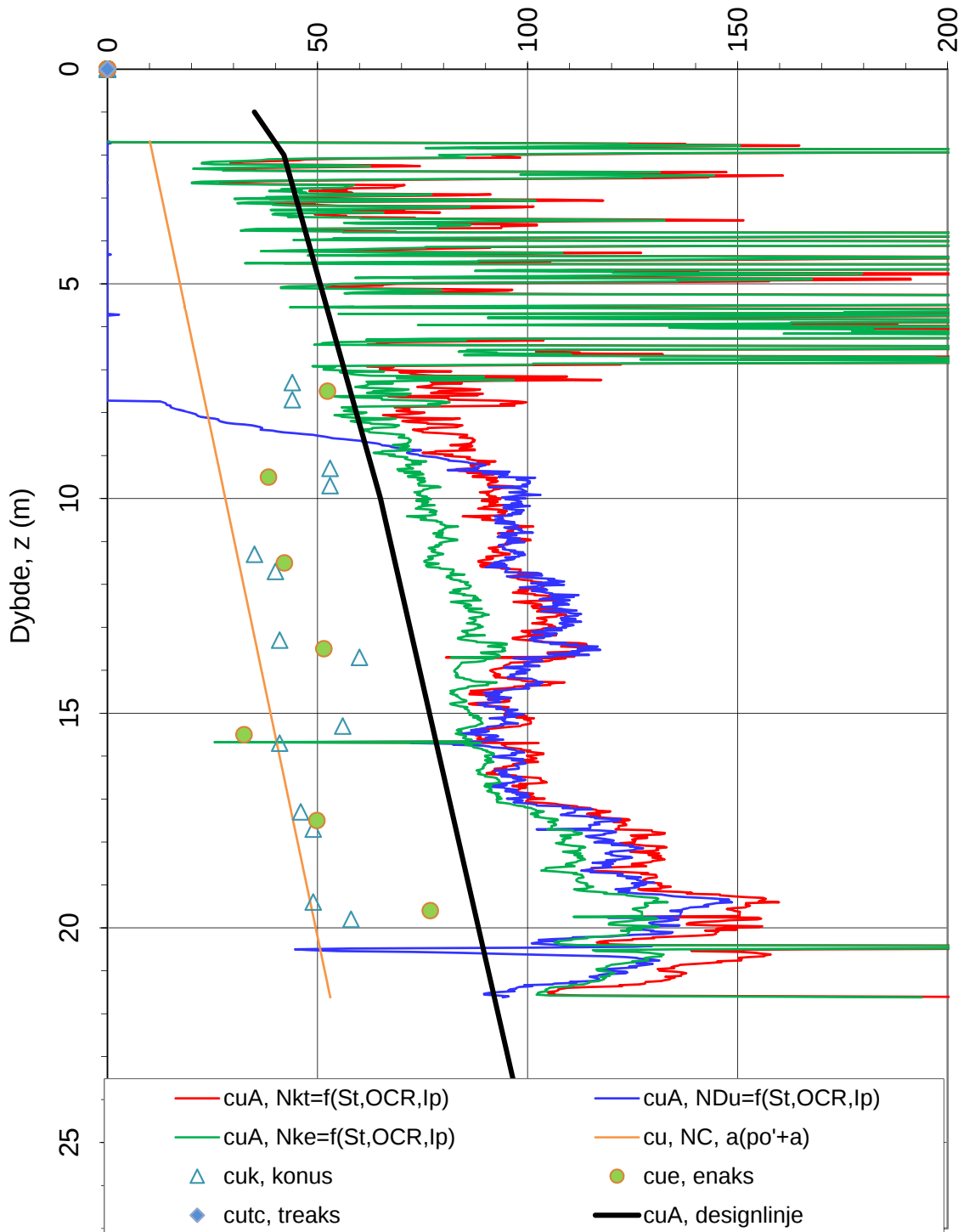
Versjon:

09.03.2016

Revisjon:

0

Udrenert skjærfasthet, c_{uA} (kN/m²)



Sensitivitetsvalg:

St > 15

$$Nkt = (8.5 + 2.5 \log OCR + 0Ip)$$

$$Ndu = (9.8 - 4.5 \log OCR + 0Ip)$$

$$Nke = (12.5 - 11Bq)$$

α_c valgt:

0.27

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND KOMMUNE

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

9

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

42.8

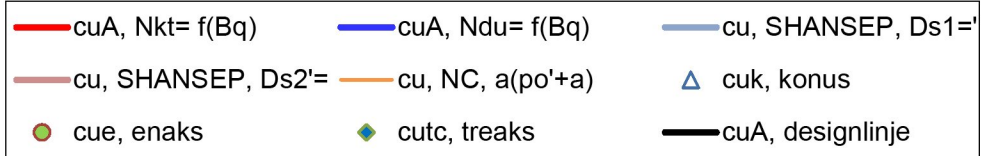
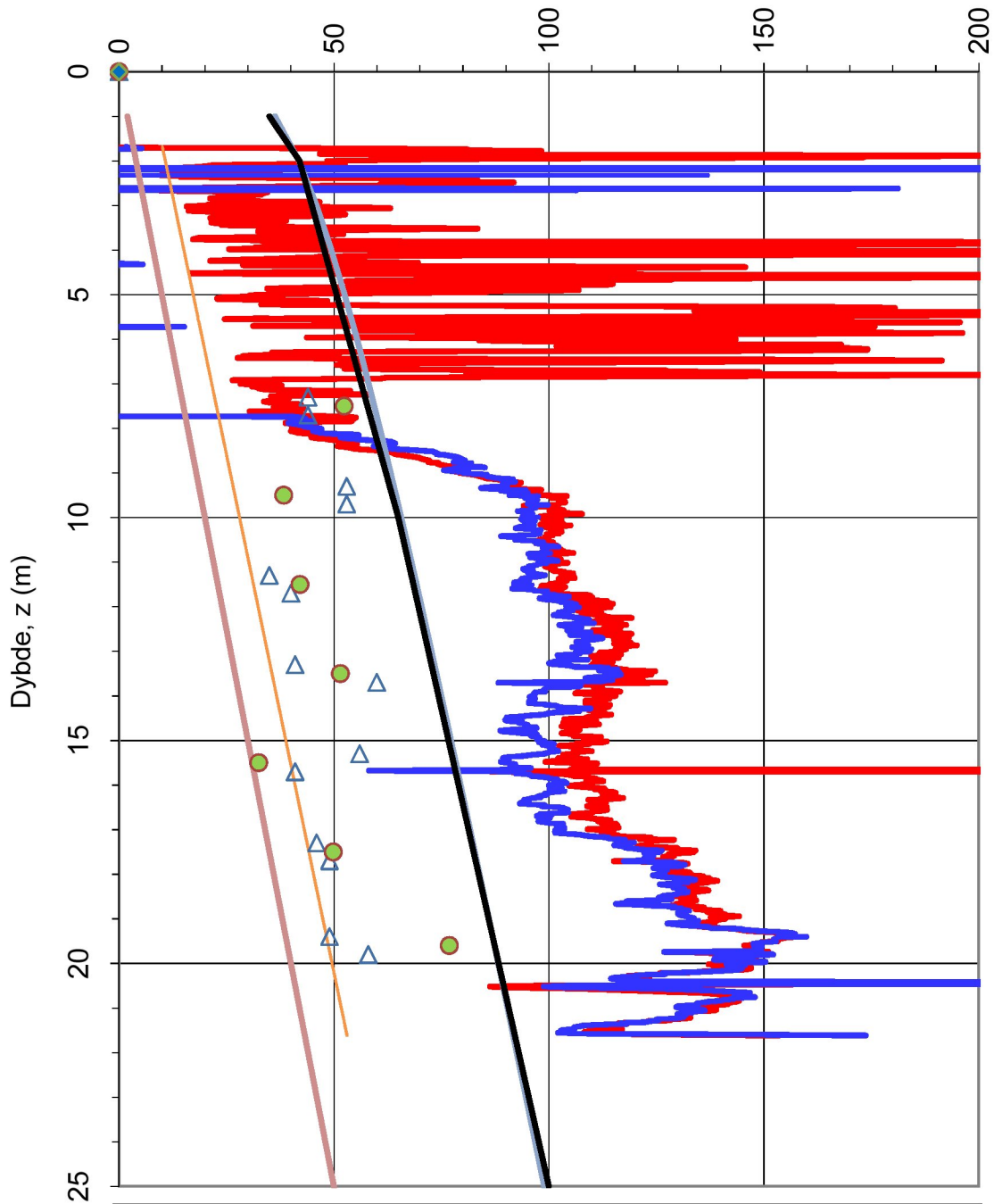
Versjon:

09.03.2016

Revisjon:

0

Udrenert skjærfasthet, c_{uA} (kN/m²)



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

α_c valgt: 0.27

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

Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver:

KRISTIANSAND KOMMUNE

Oppdrag:

LUND TORV, KRISTIANSAND

Tegningens filnavn:

CPTU_EXTRA_v5.0

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

Multiconsult

CPTU id.:

9

Sonde:

4405

MULTICONSULT AS

Dato:

23.12.2016

Tegnet:

MIO

Kontrollert:

JAA

Godkjent:

TDR

Oppdrag nr.:

313786

Tegning nr.:

42.9

Versjon:

09.03.2016

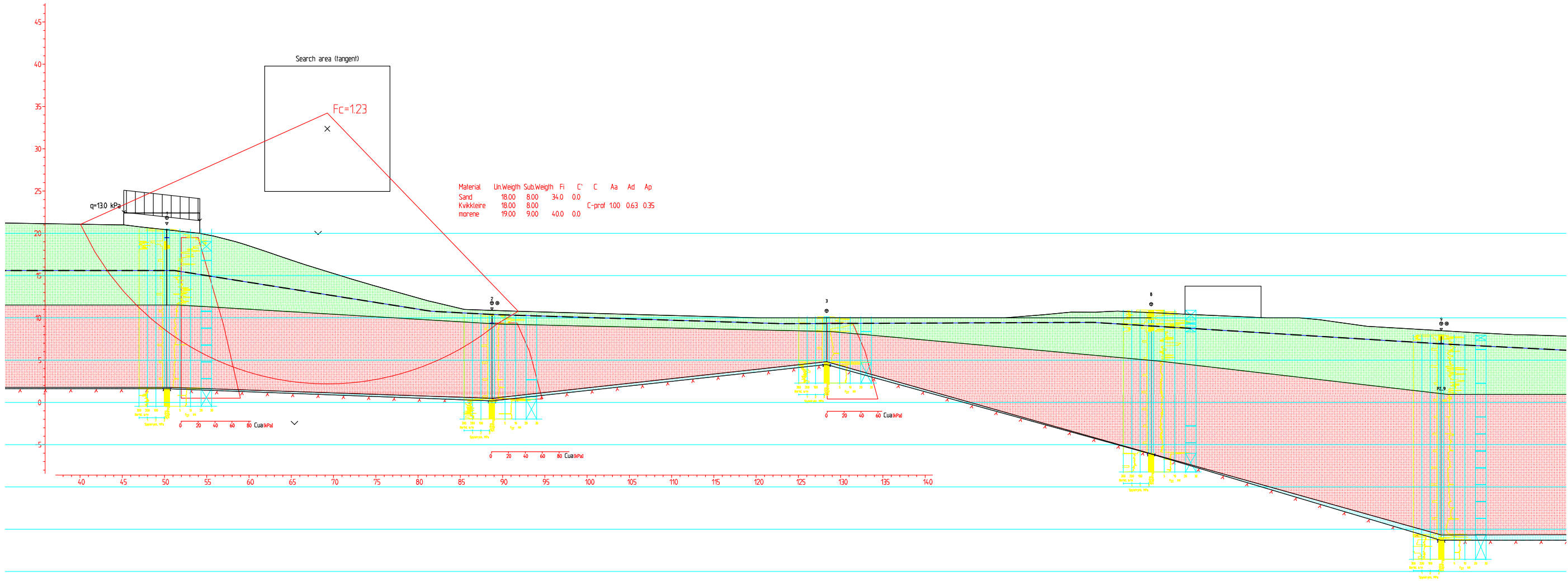
Revisjon:

0

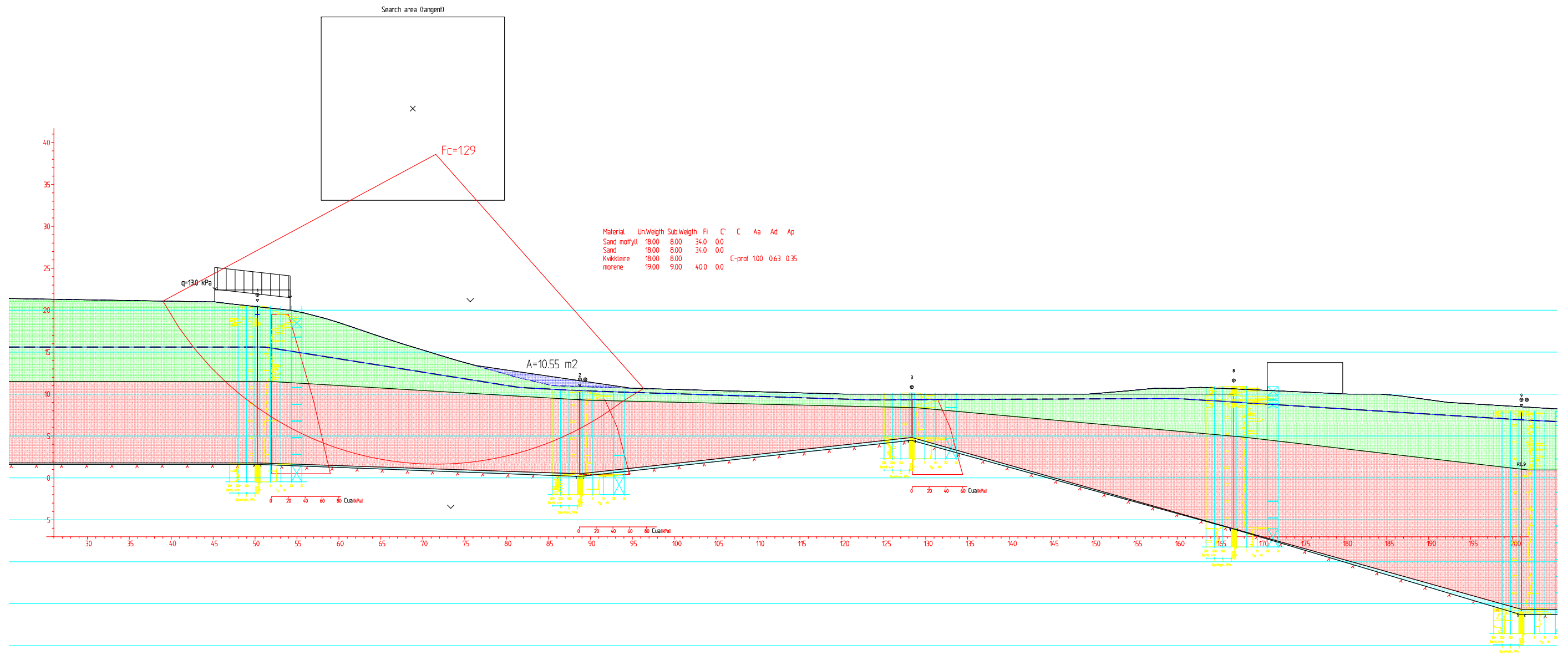
VEDLEGG A

Resultat av stabilitetsberegninger

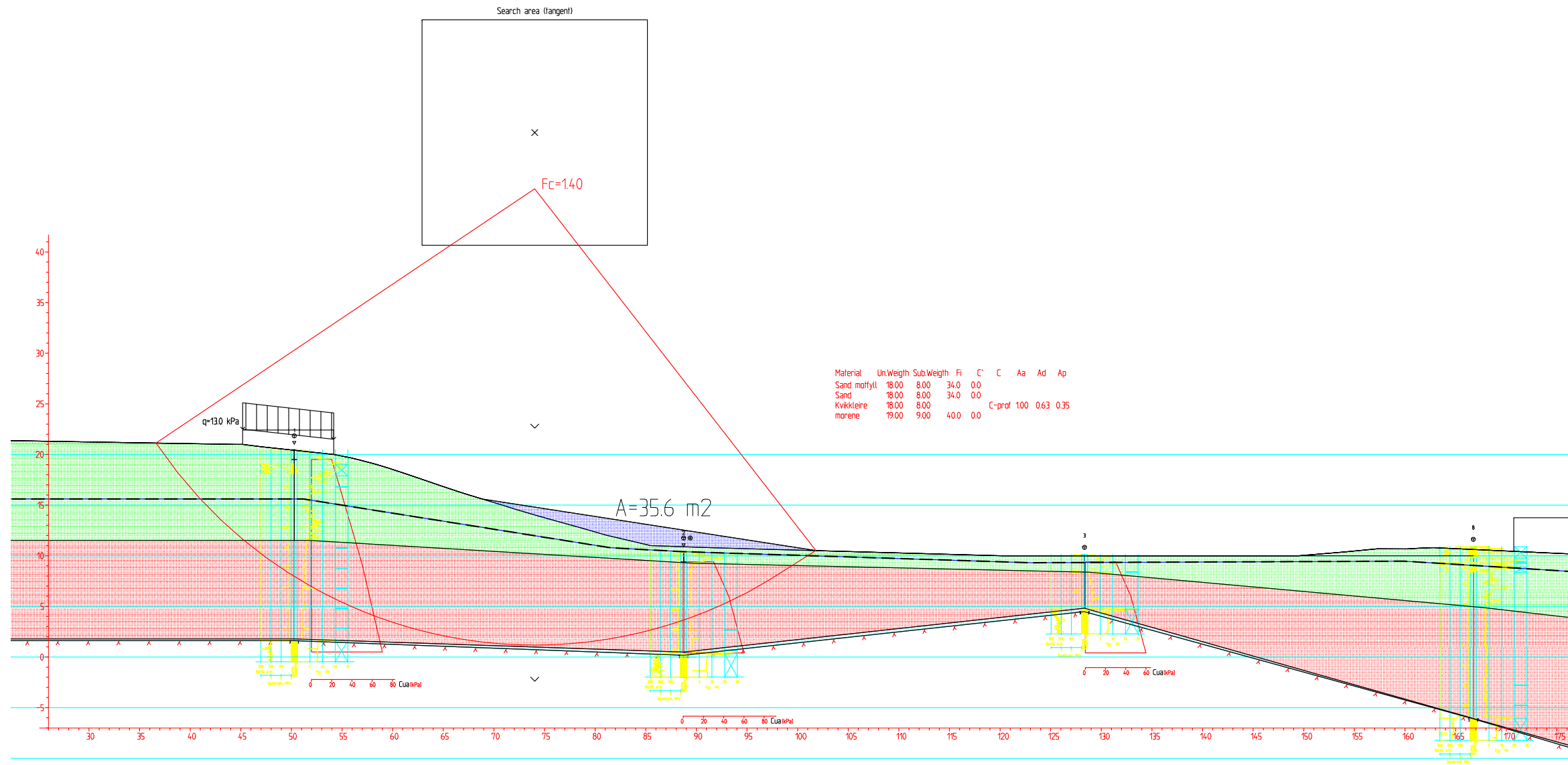
Dagens situasjon (ADP)



Mindre motfylling (ADP)



Motfylling (ADP)



Dagens situasjon (A-PHI)

