RAPPORT

NTNU Campusutvikling

OPPDRAGSGIVER

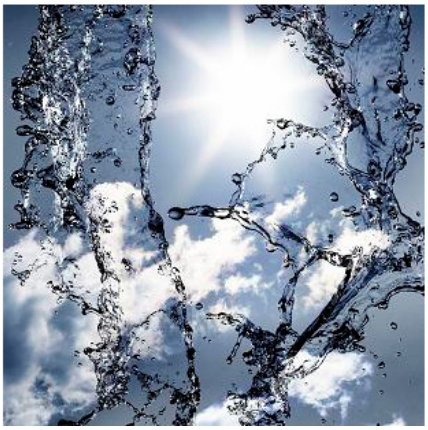
ÅF Reinertsen AS

EMNE

Geoteknisk vurderingsrapport, fengselstomta og trekanttomta

DATO / REVISJON: 13. februar 2017 / 02

DOKUMENTKODE: 418290-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.

Multiconsult

RAPPORT

OPPDRAG	**NTNU Campusutvikling**	DOKUMENTKODE	418290-RIG-RAP-002
EMNE	Geoteknisk vurderingsrapport	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	**ÅF Reinertsen AS**	OPPDRAGSLEDER	Konstantinos Kalomoiris
KONTAKTPERSON	Kai Arne Riersen	UTARBEIDET AV	Anders Samstad Gylland
KOORDINATER	SONE: 32 ØST: 5697 NORD: 70335	ANSVARLIG ENHET	3012 Midt Geoteknikk
GNR./BNR./SNR.	405 / 207 Trondheim		

SAMMENDRAG

Multiconsult er engasjert av NTNU Campusutvikling for å vurdere om fengselstomta og trekanttomta kan utbygges geoteknisk forsvarlig i henhold til NTNUs ønsker. Dette inkluderer kostnadsestimater for de geotekniske løsningene dette innebærer. I forbindelse med vurderingen har Multiconsult utført supplerende grunnundersøkelser.

Tomtene ligger i et område hvor en utbygging vurderes å være svært krevende. Det er påvist kvikkleire og stabilitetsberegninger viser svært lav stabilitet. Konsekvensen ved en skredhendelse vil ha katastrofale proporsjoner.

På grunn av funn av kvikkleire på tomtene, i skråningen ut mot Nidelva, og i nærliggende områder, bla. Bakklandet, utløses et omfattende regelverk som legger føringer for en eventuell utbygging. Foreliggende rapport gjennomgår relevant regelverk og beskriver dagens sikkerhet mot skred gjennom stabilitetsberegninger i to profiler. Videre gis det en gjennomgang og vurdering av relevante stabiliserende tiltak før nødvendighet av stabiliserende tiltak diskuteres.

For fengselstomta må det påregnes behov for stabilisering av skråningen ned mot Nidelva og tiltak som skjermer mot et eventuelt skred på Bakklandet-Singsaker. Stabilisering av skråninga kan enten skje ved grunnforsterkning eller ved terrenginngrep. For trekanttomta er forholdene noe bedre og det vurderes at en utbygging kan skje uten videre tiltak.

Utfordringen med å stabilisere grunnen er av en slik art at det er nødvendig med betydelig FoU-arbeid for å tilpasse tilgjengelige metoder til oppgaven.

Rapporten er revidert etter innspill fra workshop avhold hos WSP 13.01.2017 og tilbakemelding fra NTNU.

02	13.2.2017	Revisjon etter tilbakemelding fra NTNU	Anders Gylland	Konstantinos Kalomoiris	Sigbjørn Rønning
01	8.2.2017	Revisjon etter avholdt Workshop	Anders Gylland	Konstantinos Kalomoiris	Sigbjørn Rønning
00	6.1.2017	Geoteknisk vurderingsrapport	Anders Gylland	Konstantinos Kalomoiris	Sigbjørn Rønning
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 Innledning 6
1.1 Bakgrunn 6
2 Topografi og grunnforhold 7
2.1 Områdebeskrivelse 7
2.2 Kvartærgeologi 7
2.3 Kvikkleire 8
2.4 Løsmasser 8
2.5 Grunnvann 9
2.6 Berg 9
3 Bygg og sikkerhetsprinsipper 9
4 Regelverk 9
4.1 Skjærflate og materialfaktor 9
4.2 Eurokode 7 10
4.3 TEK 10 §7-3 11
4.4 NVE veileder 7/2014 11
4.4.1 Generelt 11
4.4.2 Løsneområde 12
4.4.3 Utløpsområde 14
4.4.4 Oppsummering 14
5 Dagens sikkerhet mot skred 15
5.1 Fengselstomta 15
5.1.1 Løsneområde 15
5.1.2 Utløpsområde 16
5.1.3 Oppsummering fengselstomta 16
5.2 Trekanttomta 16
5.2.1 Løsneområde 16
5.2.2 Utløpsområde 17
5.2.3 Oppsummering trekanttomta 18
6 Stabiliserende tiltak 18
6.1 Generelt 18
6.2 Topografiske tiltak 18
6.2.1 Motfylling 19
6.2.2 Avlastning, nord for Klostergata 19
6.2.3 Avlastning, Fengselstomta 19
6.3 Grunnforsterkning ved bruk av kalk-sementpeler 19
6.4 Grunnforsterkning ved bruk av jetpeling 20
6.5 Grunnforsterkning ved bruk av løsmassestag 20
6.6 Saltstabilisering av kvikkleire 20
7 Overordnet vurdering og anbefaling 21
7.1 Fengselstomta 21
7.1.1 Stabilisering; ikke utløse skred 21
7.1.2 Stabilisering; ikke bli involvert i skred 23
7.1.3 Utvikling av nye grunnforsterkningsteknikker 23
7.2 Trekanttomta 24
7.3 Uavhengig kvalitetssikring iht. NVE 7/2014 24
8 Oppsummering 25
9 Referanser 26

Tegninger

418290-RIG-TEG	-000	Oversiktskart
	-001	Borplan
	-002	Oversikt over stabiliserende tiltak
	-040.5	CPTU BP. 1, Udrenert skjærfasthet c_u - dybde z, korrelasjon mot B_q
	-040.6	CPTU BP. 1, Tolkningsfaktorer N_{kt}, N_{du} - z, f(B_q)
	-040.7	CPTU BP. 1, Prekonsolideringsspenning $\sigma_c'(q)$, $\sigma_c'(u)$ - dybde z
	-040.8	CPTU BP. 1, Prekonsolideringsforhold OCR(q), OCR(u) - dybde z
	-041.5	CPTU BP. 2, Udrenert skjærfasthet c_u - dybde z, korrelasjon mot B_q
	-041.6	CPTU BP. 2, Tolkningsfaktorer N_{kt}, N_{du} - z, f(B_q)
	-041.7	CPTU BP. 2, Prekonsolideringsspenning $\sigma_c'(q)$, $\sigma_c'(u)$ - dybde z
	-041.8	CPTU BP. 2, Prekonsolideringsforhold OCR(q), OCR(u) - dybde z
	-042.5	CPTU BP. 3, Udrenert skjærfasthet c_u - dybde z, korrelasjon mot B_q
	-042.6	CPTU BP. 3, Tolkningsfaktorer N_{kt}, N_{du} - z, f(B_q)
	-042.7	CPTU BP. 3, Prekonsolideringsspenning $\sigma_c'(q)$, $\sigma_c'(u)$ - dybde z
	-042.8	CPTU BP. 3, Prekonsolideringsforhold OCR(q), OCR(u) - dybde z
	-300.1	Profil 1, tolket lagdeling
	-300.2	Profil 1, stabilitet opprinnelig terreng
	-300.3	Profil 1, stabilitet dagens terreng
	-300.4	Profil 1, stabilitet stabilisert terreng
	-301.1	Profil 2, tolket lagdeling
	-301.2	Profil 2, stabilitet opprinnelig terreng
	-301.3	Profil 2, stabilitet dagens terreng
414871-RIG-TEG	-004	Oversikt over antatt skredutvikling, Gløshaugen Bakklandet

Vedlegg

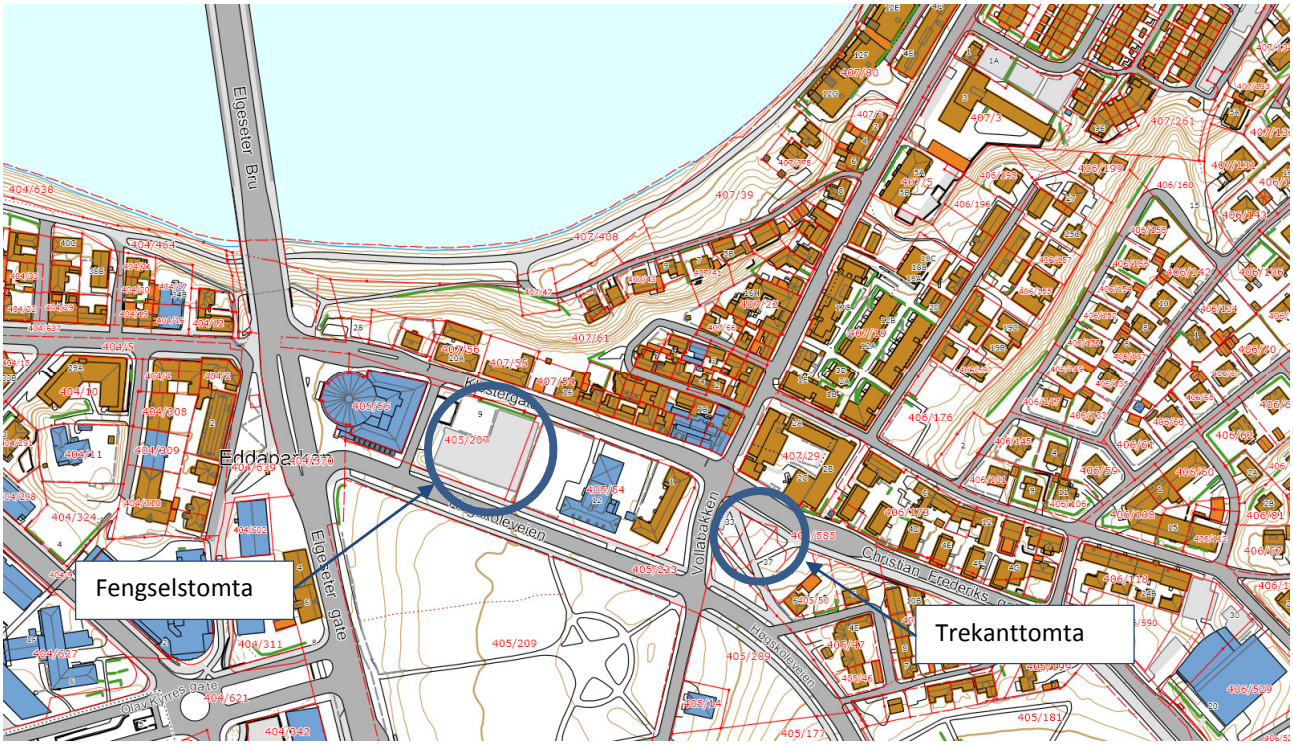
Vedlegg A Beregningsforutsetninger, stabilitet
Vedlegg B Avgrensning av løsneområde for trekanttomta
Vedlegg C Faregradsevaluering
Vedlegg D Notat fra workshop hos WSP 13.01.2017

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Multiconsult er engasjert av ÅF Reinertsen og NTNU Campusutvikling for å vurdere om fengselstomta og trekanttomta (Figur 1) kan utbygges geoteknisk forsvarlig i henhold til NTNUs ønsker, samt gi kostnadsestimater for de geotekniske løsningene dette innebærer.

Tomtene ligger i et område hvor en utbygging vurderes å være svært krevende. Det er påvist kvikkleire og stabilitetsberegninger viser svært lav stabilitet. Denne situasjonen tatt i betraktning kan selv et lite inngrep utgjøre en reell fare. Konsekvensen ved en skredhendelse vil ha katastrofale proporsjoner.



Figur 1 Kartutsnitt som viser plassering av fengselstomta og trekanttomta (kilde: Trondheim kommunes webkart)

I forbindelse med vurderingen har Multiconsult utført supplerende grunnundersøkelser. Hensikten med de supplerende grunnundersøkelsene var hovedsakelig å forbedre beregningsgrunnlaget til stabilitetsberegningene. Grunnundersøkelsene er rapportert i rapport nr. 418290-RIG-RAP-001 /1/. Tidligere utførte felt- og laboratorieundersøkelser som vurderes som relevante for prosjektet er vist på borplan, tegning nr. 418290-RIG-TEG-001.

Foreliggende rapport presenterer resultater fra de geotekniske vurderingene. Det er gitt en overordnet gjennomgang av gjeldende regelverk før stabilitetsforhold og behov for stabiliserende tiltak gjennomgås.

2 Topografi og grunnforhold

2.1 Områdebeskrivelse

Området omfatter den såkalte fengselstomta øst for Studentersamfundet og det nære området rundt tomten. I tillegg omfatter undersøkelsesområdet trekanttomta som ligger ved krysset Vollabakken/Christian Fredriks gate (Figur 1).

Terrenget stiger med noe varierende helning fra Nidelva i nord-vest opp mot randavsetningen på Gløshaugen i øst. Det er en rekke strandterrasser i dette området, etablert i perioder med varierende havnivå under isavsmeltingen.

Den østre delen av fengselstomta består av en opparbeidet plass med grusoverflate, relativt plan slette på ca. kote +20 - 20,5. Vestre del av tomten omfatter også en skråning med støttemur og terrengtrapp ned til opparbeidet parkerings- og oppstillingsplass på ca. kote +18.

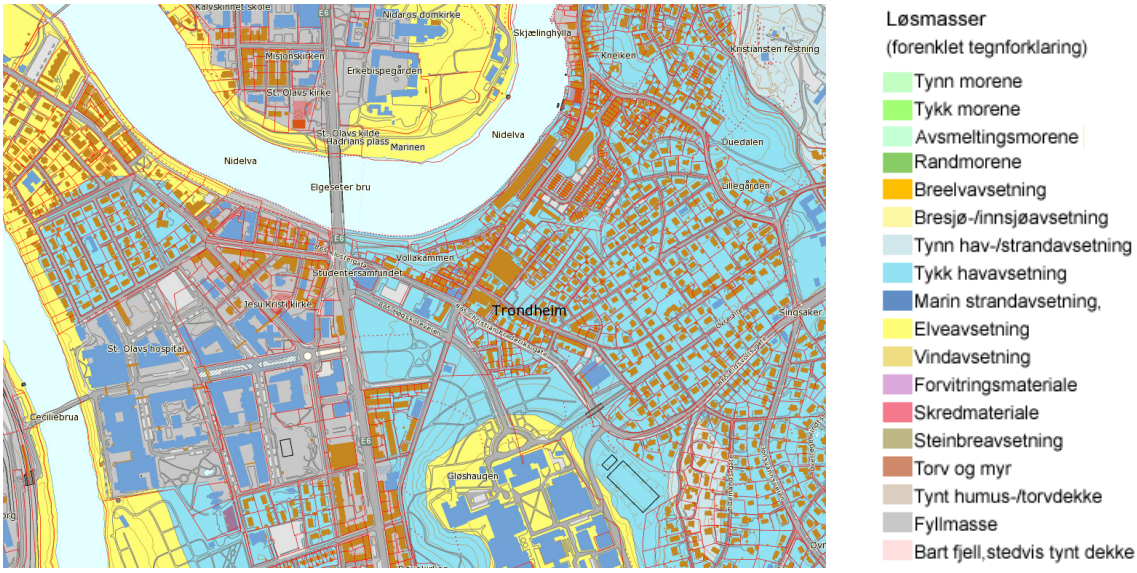
Deler av tomta har tidligere vært bebygget, men bebyggelsen er nå fjernet. Det er ikke kjent for oss om også fundamenter og grunnmur for tidligere bebyggelse er fjernet.

Nidelva er et dominerende landskapselement i randen av området mot vest, for øvrig er det ikke registrert elver eller aktive bekker innenfor området. Både i søndre og nordre del av prosjektområdet er Nidelva sikret mot erosjon med steinplastring /2/. Det er også gjennomført sikringsarbeider med motfylling ved Vollafallet /3/.

2.2 Kvartærgeologi

Kvartærgeologisk kart indikerer at løsmassene i undersøkelsesområdet hovedsakelig består av marine avsetninger, det vil si leire og/eller silt, Figur 2.

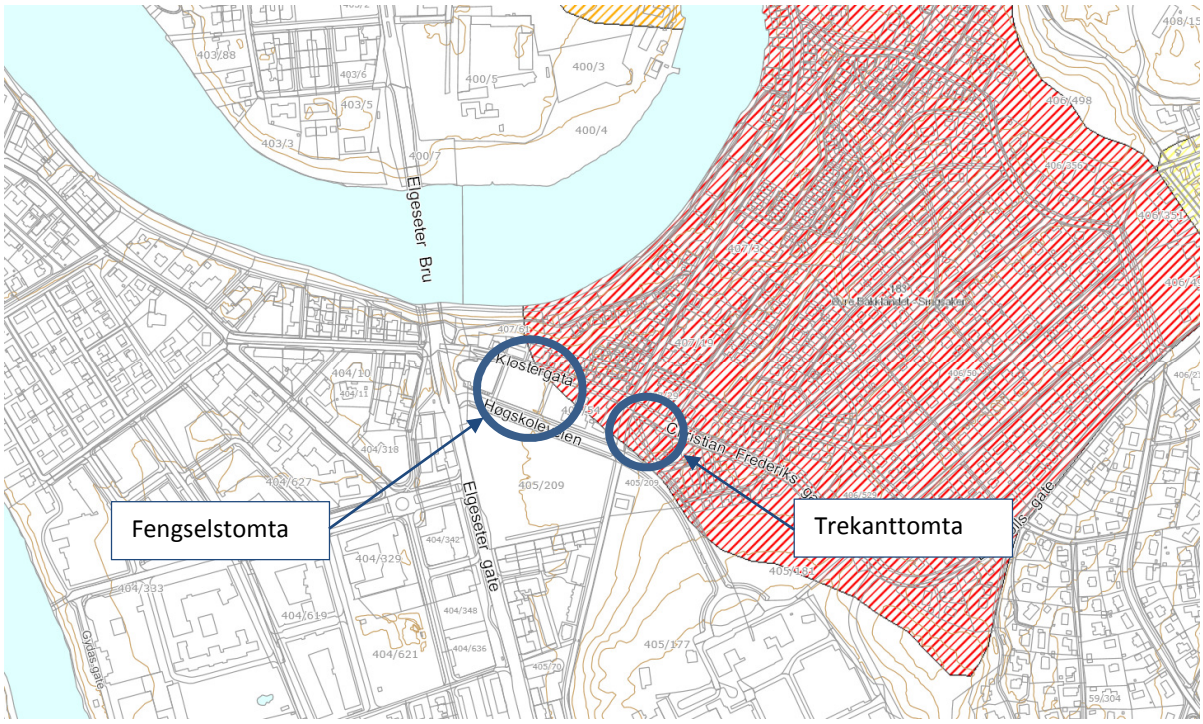
Det bemerkes at kvartærgeologisk kart er basert på relativt grunn prøvetaking, og beskriver dermed kun øvre løsmasselag. Følgelig kan løsmassene i dybden bestå av andre masser.



Figur 2 Utsnitt av kvartærgeologisk kart (kilde: www.ngu.no)

2.3 Kvikkleire

Det er en kartlagt kvikkleiresone i området, kvikkleiresone 183 Øvre Bakklandet – Singsaker, Figur 3. Denne kvikkleiresonen er klassifisert med høy faregrad.



Figur 3 Utsnitt av faresonekart kvikkleire (kilde: Trondheim kommunes webkart)

Fengselstomta grenser mot kvikkleiresonen, mens trekanttomta ligger innenfor sonen.

2.4 Løsmasser

Fengselstomta (profil 1)

I grove trekk kan grunnforholdene beskrives ved at løsmasser på det øvre platået består av sand og grus til ca. 6 m dybde (antatt fyllmasser), over et 3 m tykk lag som består av fin sand, over mer homogene og finkornige masser som består av siltig leire. Leira er fast ned til 18 m dybde. Derunder er leira middels fast og har sprøbruddegenskaper (omrørt skjærfasthet < 2 kPa og sensitivitet S_t > 15). Under ca. 29 m dybde er det påtruffet fastere masser som gir større sonderingsmotstand.

I skråningen nord for Fengselstomta består løsmasser av et topplag av fyllmasser over vekslende lag av sand og silt. I foten av skråningen består løsmasser av 4 m fyllmasser bestående av grusig sand over siltig leire. Derunder kommer et siltlag med innslag av tynne kvikkleirelag over et sandlag. Mellom kote -6 og -11 er det tidligere påvist et kvikkleirelag som avtar i tykkelse sørover, mot Fangselstomta. Fra ca. kote – 15 er det mer homogene og finkornige masser.

Det er et sammenhengende lag med sprøbruddegenskaper fra Nidelva til fengselstomta.

Tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.1 viser tolket lagdeling for profil 1. Lokasjon av profilet er vist på borplan, tegning nr. 418290-RIG-TEG-001.

Trekanttomta (profil 2)
På selve trekanttomta består løsmasser av 1 m fyllmasser (grus, leire, sand, tegl) over sand til 4 m dybde. Derunder består løsmasser av et tynt leirelag over sand til ca. 10 m dybde. Fra ca. 10 m dybde er det mer homogene og finkornige masser bestående av leire og silt. Leira er middels fast til fast og har ikke sprøbruddegenskaper. Under ca. 20 m dybde indikerer CPTU-sonderingene leire med sprøbruddegenskaper.

Det er jevne grunnforhold ut mot skråningen i nord, men leira her er enten kvikk eller har sprøbruddegenskaper.

Den nedre terrassen ved Nidelva som ligger på ca. kote +5 er en kunstig motfylling som ble etablert på 1960-tallet /2/. Under de grove fyllmassene antas massene å bestå av et tynt sandlag over leire/silt. Massene har sprøbruddegenskaper.

Tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.1 viser tolket lagdeling for profil 2. Lokasjon av profilet er vist på borplan, tegning nr. 418290-RIG-TEG-001.

2.5 Grunnvann

Poretrykksmålingene viser at grunnvannstanden ligger ca. 13 m under terreng på fengselstomta. Det er noe underhydrostatisk trykkfordeling med dybden.

2.6 Berg

Det er ikke påtruffet berg på noen av de nye eller tidligere sonderingene. Overgang til berg antas dermed å ligge dypt, og har derfor ikke noen betydning for prosjektet.

3 Bygg og sikkerhetsprinsipper

Utforming av bygg på fengselstomta og trekanttomta er ikke avgjort. Det planlegges med bygging av Kunst, Arkitektur og Musikk-bygg. Det antas dermed i de innledende vurderingene Geoteknisk kategori 2 eller 3 etter Eurokode 7 /4/ og tiltaksklasse 3 iht. Tabell 2 «Kriterier for tiltaksklasseplassering for prosjektering» i Veiledning om byggesak /5/, utarbeidet av Direktoratet for byggkvalitet. Videre plasseres prosjektet i tiltakskategori K4 etter NVEs veileder nr. 7/2014 /6/. Dette vil utløse krav til uavhengig kvalitetssikring av vurderinger knyttet til områdestabilitet etter /6/.

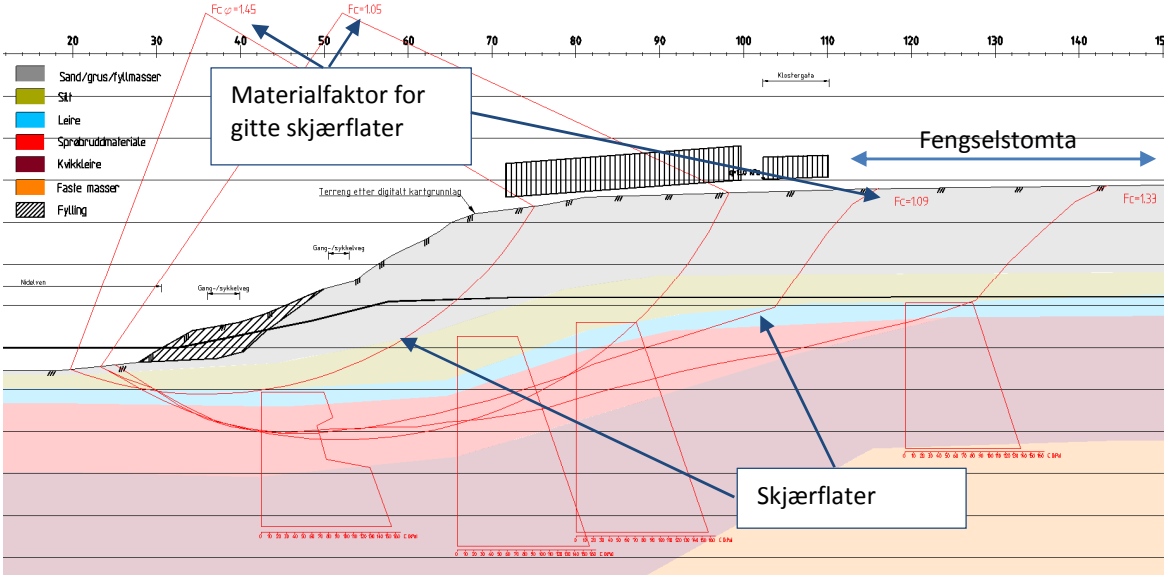
4 Regelverk

På grunn av kvikkleireforekomsten må ny bebyggelse på tomtene utredes i henhold til TEK10 /7/ og NVEs veileder 7/2014 /6/. Vurderingen må også tilfredsstille kravene i Eurokode 7 /4/.

4.1 Skjærflate og materialfaktor

I hovedsak vil gjeldende regelverk stille krav til beregnede materialfaktorer for ulike skjærflater. En skjærflate er den skredmekanismen som man beregner materialfaktoren for, altså det jordvolumet som kan tenkes å kunne skli ut. Materialfaktoren sier noe om hvor lang man er fra en bruddsituasjon. En materialfaktor under 1,0 tilsier brudd mens økende størrelse over 1,0 (f.eks. 1,4 og 1,6) tilsier økt margin mot brudd. Disse begrepene er illustrert i Figur 4. I en utbyggingssituasjon vil økt krav til materialfaktor vanligvis bety høyere kostnader i form av stabiliserende tiltak.

I geoteknikk skilles det mellom drenert langtidsoppførsel og udrenert korttidsoppførsel. Dette har sin bakgrunn i at jorda reagerer forskjellig og har ulik styrke i disse to tilfellene.



Figur 4 Beregningssnitt fra fengselstomta mot Nidelva (tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.3). Definisjon av skjærflate og materialfaktor.

4.2 Eurokode 7

For Fengselstomta vil Eurokode 7 stille krav til tilfredsstillende lokalstabilitet. I praksis vil det si at kravet gjelder alle skjærflater som involverer tomta. Krav til materialfaktor vil normalt da være 1,25 i drenert tilstand og 1,4 i udrenert tilstand (Figur 5). Videre legger Eurokode 7 føringer for situasjoner som involverer kvikkleire i form av vurderinger av områdestabilitet . Områdestabilitet er et vidt begrep som i praksis omfatter /6/:

Løsneområde: En situasjon hvor et skred utenfor tomta utvikler seg stegvis bakover eller framover til å involvere tomta. For fengselstomta betyr dette skjærflater som ligger ut mot Nidelva uten å gå direkte inn i tiltaksområdet.

Utløpsområde: At tomta ikke kan ligge i et område som blir oversvømt av jordmasser fra et skred utløst i nærområdet. For fengselstomta innebærer dette at det må gjøres betraktninger knyttet til et evt. kvikkleireskred utløst på Bakklandet/Singsaker.

Krav til områdestabilitet dekkes i utgangspunktet gjennom TEK 10 §7-3 /7/ som igjen henviser til NVEs veileder nr. 7/2014 /6/.

Tabell NA.A.4 – Partialfaktorer for jordparametere (γ_M)[d]

Jordparameter	Symbol	Sett [b, c]	
		M1	*M2*
Friksjonsvinkel [a]	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Effektiv kohesjon	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Udrenert skjærfasthet	γ_{cu}	1,0	1,4
Enaksial fasthet	γ_{qu}	1,0	1,4
Tyngdetetthet	γ_{γ}	1,0	1,0

[a] Denne faktoren gjelder for tan φ'

[b] Hvor det er mer ugunstig skal karakteristisk styrke av jord multipliseres med materialkoeffisienten.

[c] Materialfaktoren økes ut over ovenstående verdier når faren for progressiv bruddutvikling i sprøbruddmaterialer anses å være tilstede og når det kreves for å bringe den i overensstemmelse med anerkjent praksis for den anvendte analysemetoden og den foreliggende problemstillingen.

[d] Ved analyse av områdestabilitet slik forholdene framstår uten prosjekterte tiltak kan det hende at en vil finne en lavere initiell materialfaktor enn ovenstående krav. Slike tilfeller vurderes i forhold til skredfare og områdestabilitet. Det vil normalt forutsettes at det prosjekterte tiltak gjennomføres på en måte som gir uendret eller økt materialfaktor og slik at faktorer som kan utløse brudd eller skred unngås.

Figur 5 Utdrag fra Eurokode 7 /4/

4.3 TEK 10 §7-3

TEK 10 §7-3 /7/ har hjemmel i PBL og sier i praksis at bygg ikke kan plasseres i skredfarlig terreng:

«*Byggverk hvor konsekvensen av et skred, herunder sekundærvirkninger av skred, er særlig stor, skal ikke plasseres i skredfarlig område*.»

«*Et område der det er fare for kvikkleireskred, en faresone, kan ha betraktelig større utbredelse enn selve tiltaket. For tiltak som kan påvirke områdestabiliteten, medføre fare for menneskeliv eller store materielle skader ved skred, må det kartlegges hvor stort område som kan omfattes av et skred, både løsne- og utløpsområde.*»

«*beskrivelse av metoder og prosedyrer er gitt i NVEs veileder Sikkerhet mot kvikkleireskred (NVE-veileder 7/2014)*»

4.4 NVE veileder 7/2014

4.4.1 Generelt

NVEs veileder 7/2014 /6/ har tittelen «Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper». Veilederen konkretiserer innholdet i TEK 10 §7-3 /7/ og definerer sitt formål som å «*gi en mal for geotekniske utredninger og dokumentasjon av tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred i kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper (også benevnt kvikkeleireskred), i forbindelse med arealplaner og byggesaker*.» Behovet for å vurdere områder utenfor tiltaksområdet fremheves i veilederen «*Et viktig poeng i veilederen er behovet for utredning av skredfare og stabiliserende tiltak for hele området som kan være skredutsatt (områdestabiliteten), også arealer som ev. ligger utenfor det aktuelle plan-/byggeområdet*.»

For å tilfredsstille kravene i veilederen må man dokumentere tilfredsstillende sikkerhet mot at tiltaket ikke er i et løsneområde og/eller et utløpsområde. Dvs. at tiltaket:

- Ikke starter et skred
- Ikke blir involvert i et skred
- Ikke blir truffet av et skred

4.4.2 Løsneområde

For vurdering av løsneområde stilles det krav til beregnet materialfaktor i stabilitetsberegninger etter hva som skal bygges (tiltakskategori) og kvikkleireforekomstens faregrad (Figur 6).

En utbygging på fengselstomta vil havne i tiltakskategori K4. Øvre- Bakklandet – Singsaker kvikkleiresone har høy faregrad. Til sammen betyr dette krav til beregnet materialfaktor større eller lik 1,4. Beregnes initial materialfaktor lavere enn 1,4, kan det tillates at endelig situasjon har lavere materialfaktor enn 1,4, men det stilles da krav til at det gjøres tiltak slik at det oppnås vesentlig forbedring av stabiliteten (Figur 6).

Det er videre utført en ny evaluering av faregrads- og skadekonsekvensklassen for profil 1-1, vedlegg C. Skadekonsekvens og faregradsevalueringen er utført i henhold til retningslinjer i NGI-rapport nr. 20001008-2, rev. 3 datert 08.10.2008 «Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire». Evalueringen viser at løsneområdet ved profil 1-1 kan nedklassifiseres fra høy til middels faregradsklasse. Konsekvensklassen blir den samme som før, «meget alvorlig». Dette betyr at hvis det beregnes initial materialfaktor lavere enn 1,4, vil det stilles da krav til at det gjøres tiltak slik at det oppnås «forbedring» av stabiliteten (Figur 6) i stedet for «vesentlig forbedring». Dette vil medføre stabiliserende terrengtiltak av mindre omfang. Det forutsettes at omklassifisering av løsneområdet ved fengselstomta kvalitetssikres av uavhengig foretak.

Prinsippet med prosentvis «forbedring» eller «vesentlig forbedring» (Figur 7) kan kun benyttes hvor stabiliserende tiltak består av topografiske endringer og bruk av lette masser. Prinsippet kan f.eks. ikke benyttes ved bruk av grunnforsterkningsteknikker.

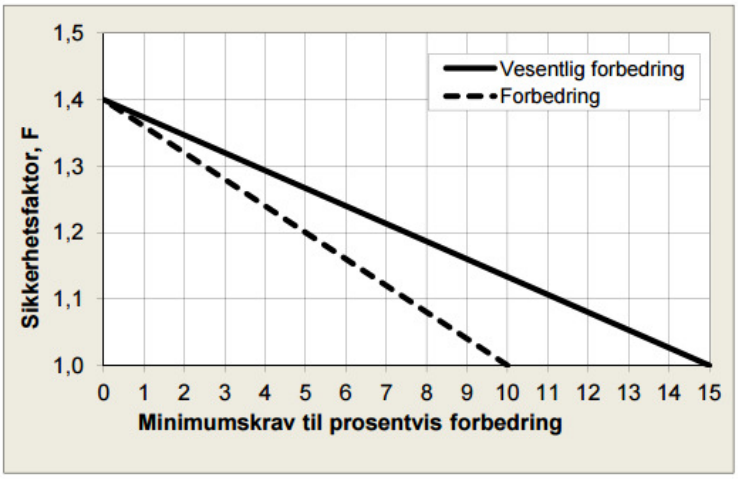
Tabell 5.2 Tiltakskategorier der det er nødvendig å identifisere, avgrense og faregradsevaluere hele faresonen.

Tiltakskategori. **Type tiltak som inngår i tiltakskategorien**	**Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet for ulik faregrad**		
	Faregrad før utbygging: Lav	**Faregrad før utbygging: Middels**	**Faregrad før utbygging: Høy**
K2: Tiltak som er nevnt under kategori K1 når tiltaket vil påvirke stabiliteten negativt dersom det ikke gjennomføres stabiliserende tiltak utenom selve tiltaket. Dersom tiltaket medfører tilflytting av personer skal tiltaket plasseres i tiltakskategori K3 eller K4.	a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Ikke forverring ** Kvalitetssikres av kollega.*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Ikke forverring hvis F >1,2, *eller* c) Forbedring hvis F ≤1,2, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K3: Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi (utover tiltak i K0-K2). Ved planlagt større tilflytting/ personopphold gjelder K4. Eksempler er bolighus og fritidsbolig med inntil to boenheter, større drifts-bygninger i landbruket, mindre utendørs publikumsanlegg, mindre næringsbygg, større VA-anlegg.	a) Stabilitets-analyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Ikke forverring** Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Ikke forverring hvis F ≥1,2, *eller* c) Forbedring hvis F <1,2, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Forbedring hvis F < 1,4, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K4: Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold enn tiltak i K3 samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner. Eksempler er mer enn to eneboliger /fritidsboliger, rekkehus/boligblokk, bolig- og hyttefelt, skole og barnehage, sykehjem, større næringsbygg, kontorbygg, idretts- og industrianlegg, større utendørs publikumsanlegg, lokale beredskapsinstitusjoner.	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Forbedring hvis F < 1,4, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet F ≥ 1,4 *eller* b) Vesentlig forbedring hvis F < 1,4, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*

* Se kapittel 5.3.

** Det er ikke nødvendig med fullstendig utredning av sonen. Selve tiltaket kan utføres med et tilhørende stabiliserende tiltak for å oppnå "ikke forverring" av områdestabiliteten.

Figur 6 Utdrag fra NVE 7/2014 /6/. Krav til materialfaktor/sikkerhetsfaktor



Figur 5.1 Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser.

Figur 7 Utdrag fra NVE 7/2014 /6/. Prosentvis forbedring

4.4.3 Utløpsområde

Vurderinger av utløpsområde baseres i større grad på skjønn og i mindre grad på beregninger enn vurderinger av løsneområde. Viktige forhold er lokasjon og mektighet av kvikkleira i jordprofilet samt topografiske forhold. Vurderinger gjøres i hovedsak etter NIFS rapport 14/2016 «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» /8/.

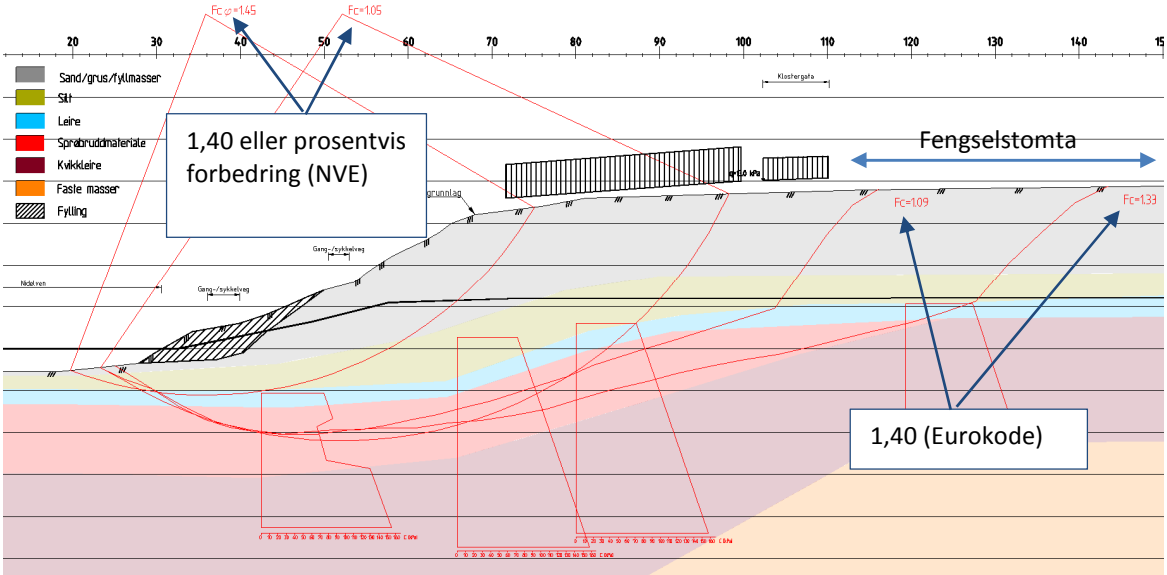
For å gjøre slike vurderinger trengs grunnboringer lang ut over tiltaksområdet. Gjennom den geotekniske utredningen av Gløshaugen – Bakklandet kvikkleireområde som ble utført av Multiconsult for Trondheim kommune, NTNU og SiT, samt supplerende grunnundersøkelser utført i 2016, er datagrunnlaget godt nok for å gjøre en slik vurdering for fengselstomta og trekanttomta.

4.4.4 Oppsummering

Føringene for gjeldende regelverk knyttet til skredfare kan oppsummeres slik:

- Ikke ha lokal utglidning
  - Eurokode 7
    - Drenert materialfaktor > 1,25
    - Udrenert materialfaktor > 1,40
- Ikke starte et kvikkleireskred
  - NVE 7/2014
    - Drenert materialfaktor > 1,40
    - Udrenert materialfaktor > 1,40
    - Prosentvis vesentlig forbedring hvis topografiske tiltak benyttes
- Ikke bli involvert i et skred
  - Samme som «Ikke starte et kvikkleireskred»
- Ikke bli truffet av et skred
  - NVE 7/2014 /6/ + NIFS 7/2016 /8/

For et beregningsprofil fra fengselstomta og ned mot Nidelva blir situasjonen som vist i Figur 8.



Figur 8 Beregningssnitt fra fengselstomta mot Nidelva (tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.3). Krav til materialfaktorer

5 Dagens sikkerhet mot skred

5.1 Fengselstomta

5.1.1 Løsneområde

Det er gjort vurderinger av stabiliteten i et profil fra fengselstomta i retning Nidelva (Profil 1). Tolket lagdeling er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.1. Stabilitetsberegning (drenert og udrenert) for terreng før utfylling i Nidelva er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.2. Stabilitetsberegning (drenert og udrenert) for dagens terreng er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.3. Beregningsforutsetninger er gitt i Vedlegg A.

Før utfylling i Nidelva er beregningen justert til å ha materialfaktor lik 1,00. Utfyllingen gir en økning til 1,05, noe som tilsvarer 5% forbedring. Dette er lavere enn kravet på 15% som stilles etter NVE 7/2014 (se Figur 6 og Figur 7). Skjærflater som går opp til fengselstomta tilfredsstiller ikke krav til materialfaktor over eller lik 1,4.

Tabell 1 Beregnede materialfaktorer for profil 1

Situasjon	Materialfaktor ved skråning	Materialfaktor fra tomta
Udrenert, opprinnelig terreng	1,00	-
Udrenert, dagens terreng	1,05	1,09
Drenert, opprinnelig terreng	1,17	-
Drenert, dagens terreng	1,45	-

Iht. NIFS rapport 14/2016 /8/ er kvikkleiremektigheten for kritisk skjærflate for dagens situasjon såpass lav at det kan forventes «rotasjonsskred uten videre retrogressiv skredutvikling». Men i og med at et slikt initialskred kan forventes å være nær bebyggelse på tomta (ca. 10 m), samt at Nidelva har et stort potensiale til å transportere bort skredmasser, vurderes det som sannsynlig at en evt.

skredhendelse ved Nidelva kan utvikle seg retrogressivt bakover til å involvere fengselstomta. Utbygging på fengselstomta må derfor forholde seg til stabiliteten i skråninga ned mot Nidelva.

5.1.2 Utløpsområde

Det vurderes på nåværende stadium ikke som relevant at kvikkleireforekomster, og eventuelle skred, i Gløshaugenområdet vil kunne påvirke fengselstomta direkte. For skred fra «Dødens dal» ligger fengselstomta topografisk og geografisk utilgjengelig til for eventuelle skredmasser. Men det må påregnes at en utbygging på fengselstomta må kunne sannsynliggjøre at utbyggingen ikke blir påvirket av en skredhendelse på Bakklandet-Singsaker. Omfang av en evt. skredhendelse er vurdert i Multiconsult rapport 414871-RIG-RAP-001 /9/ og vist på tegning 414871-RIG-TEG-004 (vedlagt denne rapporten). Tegningen viser at et evt. skred vil gå rett på nedsiden av skråningen mot Nidelva. Det er utfordrende å vurdere omfang av slike skredhendelser og det må antas at stabiliteten av skråninga rett nord for Fengselstomta vil bli påvirket negativt. Videre utredninger må utføres for å belyse denne situasjonen nærmere.

5.1.3 Oppsummering fengselstomta

- Ikke ha lokal utglidning
  - Eurokode 7
    - *Ikke tilfredsstilt*
    - *Behov for stabiliserende tiltak*
- Ikke starte et kvikkleireskred
  - NVE 7/2014
    - *Ikke tilfredsstilt*
    - *Behov for stabiliserende tiltak*
- Ikke bli involvert i et skred
  - NVE 7/2014
    - *Ikke tilfredsstilt*
    - *Behov for stabiliserende tiltak*
- Ikke bli truffet av et skred
  - NVE 7/2014 /6/ + NIFS 7/2016 /8/
    - *Tilfredsstilt*

5.2 Trekanttomta

5.2.1 Løsneområde

Det er gjort vurderinger av stabiliteten i et profil fra trekanttomta i retning Nidelva (Profil 2). Tolket lagdeling er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.1. Stabilitetsberegning (drenert og udrenert) for terreng før utfylling i Nidelva er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.2. Stabilitetsberegning (drenert og udrenert) for dagens terreng er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.3. Beregningsforutsetninger er gitt i Vedlegg A.

Før utfylling i Nidelva er beregningen justert til å ha materialfaktor lik 1,00. Utfyllingen gir en økning til 1,07, noe som tilsvarer 7% forbedring. Dette er lavere enn kravet på 15% som stilles etter NVE 7/2014 (se Figur 6 og Figur 7). Skjærflater som går opp til trekanttomta tilfredsstiller krav til materialfaktor over eller lik 1,4.

Tabell 2 Beregnede materialfaktorer for profil 2

Situasjon	Materialfaktor ved skråning	Materialfaktor fra tomta
Udrenert, opprinnelig terreng	1,00	-
Udrenert, dagens terreng	1,07	1,68
Drenert, opprinnelig terreng	1,39	-
Drenert, dagens terreng	1,54	-

For å vurdere om en skredhendelse ved Nidelva kan utvikle seg retrogressivt bakover til å involvere trekanttomta benyttes metodikk iht. tabell 6.1 i NIFS-rapport 14/2016 /8/. Vurdering er gitt i Vedlegg B. Det konkluderes med at et retrogressivt skred kan forplante seg bakover med en helning gitt av L/H=15. Denne linjen er tegnet inn i tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.3. Omtrent ved Vollabakken går linja inn i masser som antas å ikke ha sprøbruddegenskaper. En eventuell retrogressiv skredutvikling vil dermed ikke utvikle seg lengre bakover enn Vollabakken og trekanttomta kan anses som trygg.

Omfang av en evt. skredhendelse som involverer hele skråninga fra Nidelva og opp til NTNUI-Idrettsbygget er vurdert i Multiconsult rapport 414871-RIG-RAP-001 /9/ og vist på tegning 414871-RIG-TEG-004 (vedlagt denne rapporten). Tegningen indikerer at en skredhendelse vil ha skredkant ca. inn mot Vollabakken/Søndre Jons gate. Lokasjonen er tegnet inn på tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.3. På grunn av at forekomsten med sprøbruddmateriale avtar fra dette snittet inn mot Trekanttomta, vurderes tomta å ikke bli involvert hvis det går et skred i området Bakklandet/Øvre Singsaker.

For dagens situasjon er det utført stabiliserende tiltak i form av motfylling og erosjonssikring i Nidelva. Omfang av motfyllinga er ikke tilstrekkelig til å tilfredsstille krav gitt i NVE 7/2014, men i og med at det kan sannsynliggjøres at en evt. skredhendelse ikke vil involvere trekanttomta, vurderes krav relatert til løsneområde å være tilfredsstilt.

Krav til lokalstabilitet, og fundamenteringsløsning for et evt. bygg på trekanttomta, må vurderes opp mot avstand til skredkant for et evt. skred i kvikkleireforekomsten Bakklandet/Øvre Singsaker. Det bør også vurderes supplerende grunnundersøkelser i form av prøvetaking for å verifisere antagelsene knyttet til omfang av ikke-sprø materialer i profil 2 på strekningen fra Søndre Jons gate frem til trekanttomta.

5.2.2 Utløpsområde

Utstrekning av mulige skredhendelser i området er vurdert i Multiconsult rapport 414871-RIG-RAP-001 /9/ og vist på tegning 414871-RIG-TEG-004 (vedlagt denne rapporten). For trekanttomta kan skredmasser komme fra skred i «Dødens dal». Ved skred i «Dødens dal» vurderes det at evt. skredmasser vil samles opp ved gangbrua over Christian Frederiks gate. Derfra vil massene ledes nedover Christian Frederiks gate. Trekanttomta ligger topografisk plassert slik at det vurderes at evt. skredmasser som når så langt ikke vil ha en «*slik mektighet, konsistens og/eler kraft at de kan utgjøre fare for vesentlig skade på byggverk og/eller fare for menneskeliv* (NVE 7/2014 /6/)».

Basert på dette vurderes det at trekanttomta ikke står i fare for å bli truffet av skredmasser fra eventuelle skred i «Dødens dal».

Stabilitet i aksen mellom trekanttomta og Gløshaugen-platået er ikke funnet kritisk i rapport 414871-RIG-RAP-001 /9/ og det er ikke regnet stabilitet for denne skråning i denne rapporten. I den videre utredningen bør det regnes stabilitet i dette området. Evt. lav stabilitet kan legge føringer for fundamentering av bygg på trekanttomta og/eller behov for stabiliserende tiltak.

5.2.3 Oppsummering trekanttomta

Med forbehold om behov for videre grunnundersøkelser og vurderinger som beskrevet i foregående avsnitt vurderes det for trekanttomta følgende:

- Ikke ha lokal utglidning
  - Eurokode 7
    - *Tilfredsstilt*
- Ikke starte et kvikkleireskred
  - NVE 7/2014
    - *Tilfredsstilt*
- Ikke bli involvert i et skred
  - NVE 7/2014
    - *Tilfredsstilt*
- Ikke bli truffet av et skred
  - NVE 7/2014 /6/ + NIFS 7/2016 /8/
    - *Tilfredsstilt*

6 Stabiliserende tiltak

6.1 Generelt

I det følgende gis det en oversikt over tilgjengelige tiltak for forbedring av stabiliteten for fengselstomta. Det gis en kort evaluering av metodens relevans og begrensninger for bruk i det aktuelle prosjektet. Betraktningene er gyldige også for trekanttomta i det tilfelle det i en senere utredningsfase skulle være nødvendig med tiltak for denne lokasjonen også.

6.2 Topografiske tiltak

Med topografiske tiltak menes tiltak som stabiliserer eller avlaster skråninga ned mot Nidelva. Dette vil være utlegging av motfylling nede ved Nidelva samt avlasting på topp av skråninga.

6.2.1 Motfylling

Utfylling i Nidelva vil endre dagens landskap og vil sannsynligvis være en svært tung prosess å dra for å innhente nødvendige tillatelser. For at motfylling alene skal være tilstrekkelig som stabiliserende tiltak trengs en utfylling som kan karakteriseres som et vesentlig inngrep i terrenget.

Det anbefales derfor å ikke vurdere motfylling som stabiliserende tiltak.

Det er på 60-tallet lagt ut en motfylling og gjort erosjonssikring i Nidelva. Det er avklart med NVE at disse tiltakene kan tas til inntekt som en stabilisering for en evt. utbygging på fengselstomta og trekanttomta. Det er vist at motfyllingen ikke er tilstrekkelig til å tilfredsstille krav til «vesentlig prosentvis forbedring» som omtalt i avsnitt 4.4, men den reduserer omfang av stabiliserende tiltak.

6.2.2 Avlastning, nord for Klostergata

Lokalstabilitet av skråninga ned mot Nidelva kan forbedres ved å avlaste på topp. Dette innebærer flytting av eksisterende bebyggelse og utgraving slik at man effektivt sett har en situasjon med redusert last når husene settes tilbake. Flere eller dypere kjelleretasjer evt. i kombinasjon med lettmasser vil være nødvendig.

6.2.3 Avlastning, Fengselstomta

Dyp kjellerutgraving av Fengselstomta, evt. bruk av lettmasser, kan være et reelt alternativ, gjerne i kombinasjon med andre stabiliserende tiltak. Tiltaket vil kreve bruk av oppstøtting (spunt) under utgraving, noe som fordyrer prosjekter. Ulemper så som støy og vibrasjoner må det også tas hensyn til for denne metoden.

6.3 Grunnforsterkning ved bruk av kalk-sementpeler

Prinsippet er at en blanding av tørr kalk og sement vispes inn i bakken med en spesialmaskin. Det kan etableres sammenhengende ribber og blokker, eller enkeltpeler som gir en permanent forsterkning av grunnen. Metoden er brukt for stabilisering av bløte og sensitive leirer. Et estimat for kostnad er ca. 300,- per stabilisert m^3 med jord.

Det er to aspekter som gjør det utfordrende å benytte metoden på fengselstomta. For det første er metoden følsom for hvilke materialer som er i jordlagene som ligger over den leira som skal stabiliseres. På fengselstomta er det et mektig sand/grus-lag over kvikkleira. Dette gjør bruk av metoden utfordrende. For det andre vil metoden føre til økt porevannstrykk under utførelse. Effekten av dette er en midlertidig redusert stabilitet i utførelsesperioden. Dette kan ikke aksepteres for situasjonen ved fengselstomta. Det fins tiltak for å redusere effekten av poretrykksoppbyggingen, som f.eks. installasjon av vertikaldren. Det er noe erfaring med denne teknikken i Norge, men teknikken medfører en viss ekstrakostnad og kan føre til grunnvannsenkning, noe som i seg selv kan påføre skader på eksisterende hus og infrastruktur. I og med at man opererer i en kvikkleireskråning med lav stabilitet, i tettbebygd område anbefales det å være svært varsom under utførelsen av grunnforsterkningen.

På grunn av utfordringer med et mektig topplag over leira, samt utfordringer knyttet til poretrykksoppbygging, anbefales ikke konvensjonell kalk-sement-stabilisering for fengselstomta som et førstevalg. Teknikken bør likevel være med i eventuelle videre vurderinger, da i kombinasjon med teknikker for å komme gjennom topplaget samt tiltak for reduksjon av poreovertrykk.

Grunnforsterkning er videre omtalt i notat fra workshop 13.01.2017 (vedlegg D).

6.4 Grunnforsterkning ved bruk av jetpeling

Jetpeling er et alternativ til kalk-sementpeler. Metoden fører inn en våt sementblanding i bakken på en slik måte at det lages sementpeler uten at det fører til økt porevannstrykk under utførelse. Dette gjøres ved at en jetstråle eroderer ut jordmasser og erstatter disse med sementblanding. Det kan etableres sammenhengende ribber og blokker, eller enkeltpeler som gir en permanent forsterkning av grunnen. Metoden er relativt kostbar i nåværende format og man kan regne anslagsvis 3000,- per stabilisert m^3 med jord.

Jetpeling er et høyaktuelt alternativ for stabilisering av fengselstomta, men før den kan benyttes anbefales det å gjøre et arbeid for å se på muligheter for å redusere kostnadene. Multiconsult har hatt møter med et norsk produksjons- og entreprenørfirma, Jetgrunn, og det er mulig å tilpasse prosedyren for å oppnå et mer optimalt produkt.

Dagens prosedyre gir svært sterke og stive peler. For fengselstomta vil det være viktigere med et stort volum av moderat styrke fremfor et lite volum med høy styrke. Ved å tilpasse injiseringsteknikk og tilslagsmaterialer kan det være mulig å oppnå akkurat dette og kanskje komme ned mot en kostnad på 1000,- per stabilisert m^3. Det ligger et utprøvings og dokumentasjonsarbeid å i komme frem til en løsning som kan benyttes i praksis.

Jetpeling anbefales inkludert i videre vurderinger for stabilisering av fengselstomta.

Grunnforsterkning er videre omtalt i notat fra workshop 13.01.2017 (vedlegg D).

6.5 Grunnforsterkning ved bruk av løsmassestag

Løsmassestag er stålstenger som installeres i skråningen og fastspennes i jorda ved injisering av sement. Teknikken er mye brukt ved oppspenning av spuntløsninger for byggegrop. For bruk i skråninga ved fengselstomta vurderes effekten å være begrenset, i hovedsak pga. begrenset skjærstyrke i stagene, og at det derfor må benyttes et betydelig omfang for å få ønsket stabiliserende effekt.

For fengselstomta vurderes det at teknikken ikke er tilpasset den gjeldende situasjonen, hvor man ønsker å ha stor motstand mot skjærdeformasjoner. *Løsmassestag vurderes derfor ikke å være en relevant grunnforsterkningsteknikk.*

6.6 Saltstabilisering av kvikkleire

Kvikkleire er marin, salt leire, hvor saltet i porevannet er vasket bort gjennom tusener av år med ferskvannsgjennomstrømning. Ved å tilføre salt vil leira slutte å være kvikk.

Teknikken har vært benyttet for stabilisering i et fåtall prosjekter i Norge, i hovedsak på 70-tallet. Med økt fokus på kvikkleireproblematikk har teknikken fått fornyet interesse og en Ph.d.-stipendiat ved faggrupper for geoteknikk ved NTNU arbeider med problemstillingen. Arbeidet viser at prinsippet fungerer. Det som gjenstår er å utvikle og dokumentere en god metode for å få injisert salt i bakken. Prinsipper fra jet-peling-teknikken kan være relevante. Multiconsult har vært i kontakt med Statens vegvesen, som finansierer det nevnte Ph.d.-arbeidet, og de er interessert i å videreutvikle konseptet.

For fengselstomta vil saltstabilisering være høyaktuelt, spesielt med tanke på å skjerme for problemstillinger knyttet til et skred på Bakklandet og utløpsproblematikk (område B i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002). Ved å fjerne kvikkleire, fjerner man også mange av de kravene som er gjennomgått i avsnitt for regelverk. Det anbefales at muligheten for et utviklingsarbeid, gjerne i samarbeid med Statens vegvesen, vurderes.

7 Overordnet vurdering og anbefaling

7.1 Fengselstomta

Fengselstomta ligger i et område hvor en utbygging vurderes å være svært krevende og konsekvensen av en skredhendelse vil være katastrofal. Dagens stabilitet er marginal og selv små inngrep kan utløse et skred hvis det ikke gjøres korrekt.

På grunn av funn av kvikkleire på tomta, i skråningen ut mot Nidelva, og i nærliggende områder, bla. Bakklandet, utløses et omfattende regelverk som legger føringer for utbyggingen.

Ved utbygging av fengselstomta må det påregnes behov for stabilisering av skråningen ned mot Nidelva og tiltak som skjermer mot et eventuelt skred på Bakklandet.

7.1.1 Stabilisering; ikke utløse skred

Stabilisering av fengselstomta må løse to problemstillinger:

1. Tilfredsstillende lokalstabilitet for skjærflater som går fra tomta og ut i Nidelva.
    - I utgangspunktet må beregnet materialfaktor være over eller lik 1,4
    - Benyttes konsept med fullt kompensert, eller overkompensert, fundamentering kan det åpnes for å bygge etter prinsipp om «ikke forverring» fremfor å tilfredsstille et absolutt krav til materialfaktor på 1,4. Fotnote d i Figur 5 åpner for dette. Bruk av denne åpningen i regelverket må diskuteres med uavhengig kontrollør og ses i sammenheng med totaliteten i valgt løsning.
2. Øke stabilitet i skråninga mot Nidelva
    - Ved bruk av grunnforsterkning må det tilfredsstilles et krav til materialfaktor på 1,4.
    - Ved bruk av terrenginngrep må det tilfredsstilles krav til prosentvis forbedring.
    - Alternativt kan det utføres tiltak som tar sikte på å skjerme fengselstomta fra å bli involvert i en evt. skredhendelse.

Lokalstabiliteten til bygg på fengselstomta kan teoretisk sett forbedres ved avlastning alene, men dette vil kreve et svært lett bygg samt flere kjelleretasjer og vurderes ikke å være en optimal løsning. Det er også slik at stabilitet av skråninga ned mot Nidelva likevel forbedres. *Totalt sett vurderes det derfor å være behov for å utføre tiltak som også stabiliserer skråninga ned mot Nidelva.*

Grunnforsterkning

Av grunnforsterkningsteknikker er en modifisert jet-peling, eller kalk-sementpeling, vurdert som mest relevante løsninger.

Generelt sett utføres stabilisering av grunn nært tiltaket. I tilfellet fengselstomta vil dette innebære å stabilisere grunnen under Klostergata og bebyggelsen mot Nidelva. På grunn av plassbegrensninger og mye infrastruktur i bakken vil dette være krevende i praksis. Det anbefales derfor å stabilisere i skråninga ned mot Nidelva. Aktuelt område er som skissert som område A i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002.

Fordelen med stabilisering i skråninga mot Nidelva er at både problemstilling 1 og 2 over blir løst med samme tiltak. Ulempen er at stabiliseringen skjer i et område som er relativt langt fra tiltaksområdet. For å mobilisere den styrken som ligger i den stabiliserte grunnen trengs deformasjoner. I en kvikkleireskråning med lav stabilitet vil det naturlig nok være ønskelig å unngå bevegelse i noen form. For å få en bedre, og tryggere, fordeling av lastvirkning i grunnen anbefales å

bygge kompensert eller helts, overkompensert på fengselstomta. Dvs. at bygget bør minst veie like mye, og helst mindre enn, den jorda som graves ut. Dette vil føre til en jevnere belastning på jorda sammenlignet med å utnytte kapasiteten i den forsterkede grunnen fullt ut.

Det er utført stabilitetsberegninger for å vurdere nødvendig omfang av grunnforsterkningen. Resultater er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.4. I bunn av skråninga er det lagt inn et forsterket parti i sprøbruddmaterialet over en bredde på ca. 10 m. Nødvendig dybde for grunnforsterkningen vil i praksis være ca. 15 m. Med denne grunnforsterkningen beregnes tilfredsstillende materialfaktor for både problemstilling 1 og 2.

Det er to aspekter knyttet til beregningene som må bemerkes:

- Det er benyttet en skjærfasthet på 500 til 600 kPa. Dette er vesentlig lavere enn den fasthet som normalt oppnås i Jet-peler (rundt 5 MPa). Grunnen til å benytte lav fasthet er et behov for å unngå for høy stivhet i det stabiliserte partiet. For optimal utnyttelse av den skjærfastheten som er i jorda, og i den stabiliserte grunnen, er man avhengig av at disse to delene har et godt samvirke. Ved for stor forskjell i styrke og stivhet risikerer man at den stabiliserte grunnen tar all belastning alene før det mobiliseres noe motstand i jorda. Dette kan føre til en bruddsituasjon. Dette aspektet er videre kommentert i avsnitt 7.1.3.
- I stabilitetsberegningene er det benyttet en metodikk som har utfordringer med å håndtere store sprang i materialstyrke. Resultatene har dermed noe usikkerhet, men de vurderes å være relevante for å belyse effekt av stabiliseringen. For videre utredningsarbeid må det utføres avanserte elementmetodeberegninger av situasjonen. Dette for å belyse effekter knyttet til samvirke mellom stabilisert grunn og jorda for øvrig samt for å se hvordan spenninger og tøyninger fordeler seg i jorda.

Grunnforsterkning og behov for FoU er videre omtalt i notat fra workshop 13.01.2017 (vedlegg D).

Avlastning av området nord for Klostergata

Fra et overordnet geoteknisk perspektiv er det prinsipielt mer gunstig å avlaste en skråning fremfor å iverksette grunnforsterkning. Ved avlastende terrenginngrep for å forbedre stabiliteten av skråninga ned mot Nidelva kan prinsipp om prosentvis forbedring benyttes i stedet for et krav til absolutt materialfaktor /6/. Med tiltakskategori K4, og en kvikkleiresone med høy faregrad, stilles det krav til «vesentlig forbedring» (Figur 6 og Figur 7). Aktuelt område for terrenginngrep er skissert i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002.

Innledende beregninger viser at det vil være behov for en effektiv lastreduksjon tilsvarende ca. 3 m dyp utgraving for å tilfredsstille dette kravet. Hvis denne delen av kvikkleiresonen kan imidlertid omklassifiseres til middels faregrad, avsnitt 4.4.2, stilles det krav om «forbedring». Beregninger indikerer at dette kravet blir tilfredsstilt med en utgraving som effektivt tilsvarer på ca. 2 m. Totalt sett vurderes det at tiltaket er gjennomførbart.

Antas en utgravingsdybde på 2 til 3 m, igjenfylling med skumglass, og et omfang på bygninger på ca. 9 tomter blir det en kostnad i størrelsesorden 13 MNOK i lette fyllmasser. I tillegg kommer kostnader knyttet til flytting av hus, graving og sannsynligvis en oppstøttingsløsning i form av spunt i gravefasen.

Flytting av bebyggelsen er helt klart et vanskelig tema, men kostnadene og ulempene med flytting og/eller erstatning av eksisterende bebyggelse kan kompenseres ved økt tomteverdi og nye muligheter for utvikling og nye bygg i dette sentrale området. På grunn av skråningas lave stabilitet er det per i dag ikke mulig med nybygg eller økning i antall boenheter i eksisterende bebyggelse.

Avlastning av området nord for Klostergata er videre omtalt i notat fra workshop 13.01.2017 (vedlegg D).

7.1.2 Stabilisering; ikke bli involvert i skred

For å sikre at fengselstomta ikke blir berørt av en skredhendelse på Bakklandet/Singsaker må det utføres stabiliserende eller skjermede tiltak som skissert i område B i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002. Omfang av stabiliserende tiltak må vurderes nøyere på et senere tidspunkt. Det må gjøres nye stabilitetsberegninger av beregningssnitt gjennom område B i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002. En vesentlig del av dette arbeidet vil være en detaljert vurdering av omfang og konsekvens av en skredhendelse på Bakklandet/Singsaker som tar sikte på å kvantifisere opptredende krefter samt oppskylling og erosjon av masser under selve skredet.

7.1.3 Utvikling av nye grunnforsterkningsteknikker

De teknikker som er tilgjengelige i dag er ikke optimalt tilpasset de problemstillingene som må løses for å bebygge fengselstomta. Jet-peler unngår utfordringer knyttet til poretrykksoppbygging og redusert stabilitet i installasjonsperioden, men teknikken er kostbar og gir en grunnforsterkning som er sterkere og stivere enn det som er ønskelig.

- Med tilgjengelig teknologi vurderes stabiliseringsarbeidet allerede nå å bli urimelig kostbart. Med en pris på 3000,- per m^3 for Jet-peling blir det en estimert kostnad på ca. 50-60 millioner i stabiliseringsarbeid i det omfang som er skissert i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002. Det er da antatt stabilisering i ribber med 4 meter cc-avstand.
- For å få et godt samvirke mellom original grunn og stabilisert grunn er det ønskelig å ha en fasthet i den stabiliserte grunnen som er lavere enn hva som oppnås per i dag. Vanligvis oppnås en fasthet rundt 5 MPa mens det vil være mer formålstjenlig med en fasthet rundt 500 kPa i applikasjonsområder som ligner på situasjonen for fengselstomta. Det er realistisk å kunne tilpasse metoden til å gi stabilisert grunn med slike egenskaper, men det trengs et utviklingsarbeid for å klare det.
- Konvensjonelle kalk-sement-peler har en skjærfasthet rundt 150-200 kPa. Dette er bra for å ha et godt samvirke mellom original og stabilisert grunn, men samtidig er det lavere enn de 500 kPa som ligger til grunn for det skisserte volum av grunnstabilisering som er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-002. Ved bruk av kalk-sement-peler vil det derfor bli behov for å stabilisere et jordvolum som har anslagsvis dobbel bredde og dobbelt volum av det som er skissert i tegningen. Dette vil være en utfordring i praksis knyttet til plassbegrensninger og håndtering av poretrykksoppbygging.

Totalt sett vurderes det at utbygging av fengseltsomta har behov for teknikker som ikke eksisterer per dags dato. Det anbefales derfor at det vurderes et FoU-arbeid. Målet med utviklingsarbeidet bør følge to linjer. I hovedsak vurderes det på nåværende tidspunkt å legge fokus på å videreutvikle grunnforsterkningsteknologier med utgangspunkt i Jet-peler og saltstabilisering, knyttet til stabilisering av kvikkleireskråninger generelt og fengselstomta spesielt. Det bør være et mål å utvikle jet-peler som har en skjærfasthet ned mot 500 kPa og som koster ned mot og under 1000 per m^3. Samtidig bør det i inkluderes vurderinger som tar utgangspunkt i en tilpasning av konvensjonell kalk-sement-peleteknologi.

Ett løp kan være gjennom forskningsrådets BIA-prosjekt. Med et samarbeid mellom NTNU, SVV utvalgte entreprenører og rådgivere vil det være gode muligheter for finansiering. Et slikt løp bør i utgangspunktet inkludere en Ph.d.-stipendiat og får da en varighet på ca. 4 år.

Et alternativt løp kan være å rendyrke utviklingsarbeidet i større grad enn hva som kan gjøres når en Ph.d. er involvert. Man kan da se for seg et løp som varer rundt 2 år. Det er fortsatt mulig å finne finansiering gjennom forskningsrådets BIA-prosjekt, eller man kan stille med egen finansiering. Det siste vil føre til mindre administrativ belastning i form av rapportering og administrasjon.

Som et bakteppe her vil det være viktig å ha med at Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i rapporten «Nasjonalt risikobilde 2013 – Katastrofer som kan ramme det norske samfunnet» fremhever kvikkleireskred i storby, med Bakklandet som eksempel. Videre er kvikkleireskråninger i tettbebygd strøk med marginal sikkerhet en betydelig utfordring Norge sett under ett. Samfunnsnytten i et slikt prosjekt er udiskutabel samtidig som det ligger et stort profileringspotensiale i å utvikle en teknikk som løser disse utfordringene.

7.2 Trekanttomta

Trekanttomta vurderes på nåværende stadium å kunne bebygges uten videre tiltak for å stabilisere grunnen. I det videre utredningsarbeidet bør det utføres supplerende grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger som skissert i avsnitt 5.2.

7.3 Uavhengig kvalitetssikring iht. NVE 7/2014

Ved en eventuell utbygging av fengselstomta og trekanttomta vil det stilles krav til uavhengig kvalitetssikring i henhold til NVEs veileder 7/2014 (se Figur 6). Det bemerkes at uavhengig kontrollør kan bestride de vurderinger og konklusjoner som er gjort her vedrørende områdestabilitet. For best mulig fremdrift anbefales det derfor at uavhengig kontrollør utnevnes og involveres i arbeidet så tidlig som mulig.

8 Oppsummering

Fengselstomta og trekanttomta ligger i et område hvor en utbygging vurderes å være svært krevende. Det er påvist kvikkleire og stabilitetsberegninger viser svært lav stabilitet. Konsekvensen ved en skredhendelse vil ha katastrofale proporsjoner.

En gjennomgang av gjeldende regelverk, geotekniske stabilitetsberegninger samt vurderinger av ulike stabiliserende tiltak har vist at:

- For fengselstomta må det påregnes behov for stabilisering av skråningen ned mot Nidelva og tiltak som skjermer mot et eventuelt skred på Bakklandet-Singsaker. Stabilisering av skråninga kan enten skje ved grunnforsterkning eller ved terrenginngrep. Utfordringen med å stabilisere grunnen er av en slik art at det er aktuelt med FoU-arbeid for å tilpasse tilgjengelige metoder til oppgaven.
    - Grunnforsterkning vil stabilisere skråningen ned mot Nidelva lokalt og samtidig forbedre stabilitetssituasjonen for Fengselstomta. Det må likevel påregnes en kompensert fundamentering på Fengselstomta.
    - Tiltak med terrenginngrep innebærer å flytte bebyggelse nord for Klostergata midlertidig, grave ut 2-3 m og fylle tilbake med lettfylling før hus settes tilbake. Løsningen vil stabilisere skråningen ned mot Nidelva lokalt. Det vil kun være en marginal forbedring av stabilitet for Fengselstomta. Dette innebærer at utbygging må skje kompensert eller over-kompensert.
- For trekanttomta er forholdene noe bedre og det vurderes at en utbygging kan skje uten videre tiltak.

Ved en eventuell utbygging av fengselstomta og trekanttomta vil det stilles krav til uavhengig kvalitetssikring i henhold til NVEs veileder 7/2014.

9 Referanser

/1/ Multiconsult (2016) NTNU Campusutvikling. Datarapport grunnundersøkelser. 418290-RIG-RAP-001 datert 15-12-2016.

/2/ Kummeneje AS (1965). Grunnundersøkelse for kontrafylling mot Nidelven. Strekningen fra Elgeseter bro til A/S Trondhjems Jernindustri. Kummeneje rapport O.185-2.

/3/ Trondheim kommune (1975). Klostergata 20. Grunnundersøkelse og stabilitet. Rapport R.366 Trondheim kommune.

/4/ Standard Norge (2016) NS-EN 1997-1:2004 + A1:2013 + NA:2016 (Eurokode 7, del 1)

/5/ Direktoratet for byggkvalitet (2016) Byggesaksforskriften (SAK 10) Veiledning om byggseak. Datert 04.08.2016. Publikasjonsnummer: HO-1/2011

/6/ NVE (2014) Sikkerhet mot kvikkleireskred. Veileder nr. 7/2014.

/7/ Direktoratet for byggkvalitet (2016) Byggteknisk forskrift (TEK 10) Publikasjonsnummer: HO-2/2011

/8/ NIFS (2016) Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. Rapport nr. 14/2016.

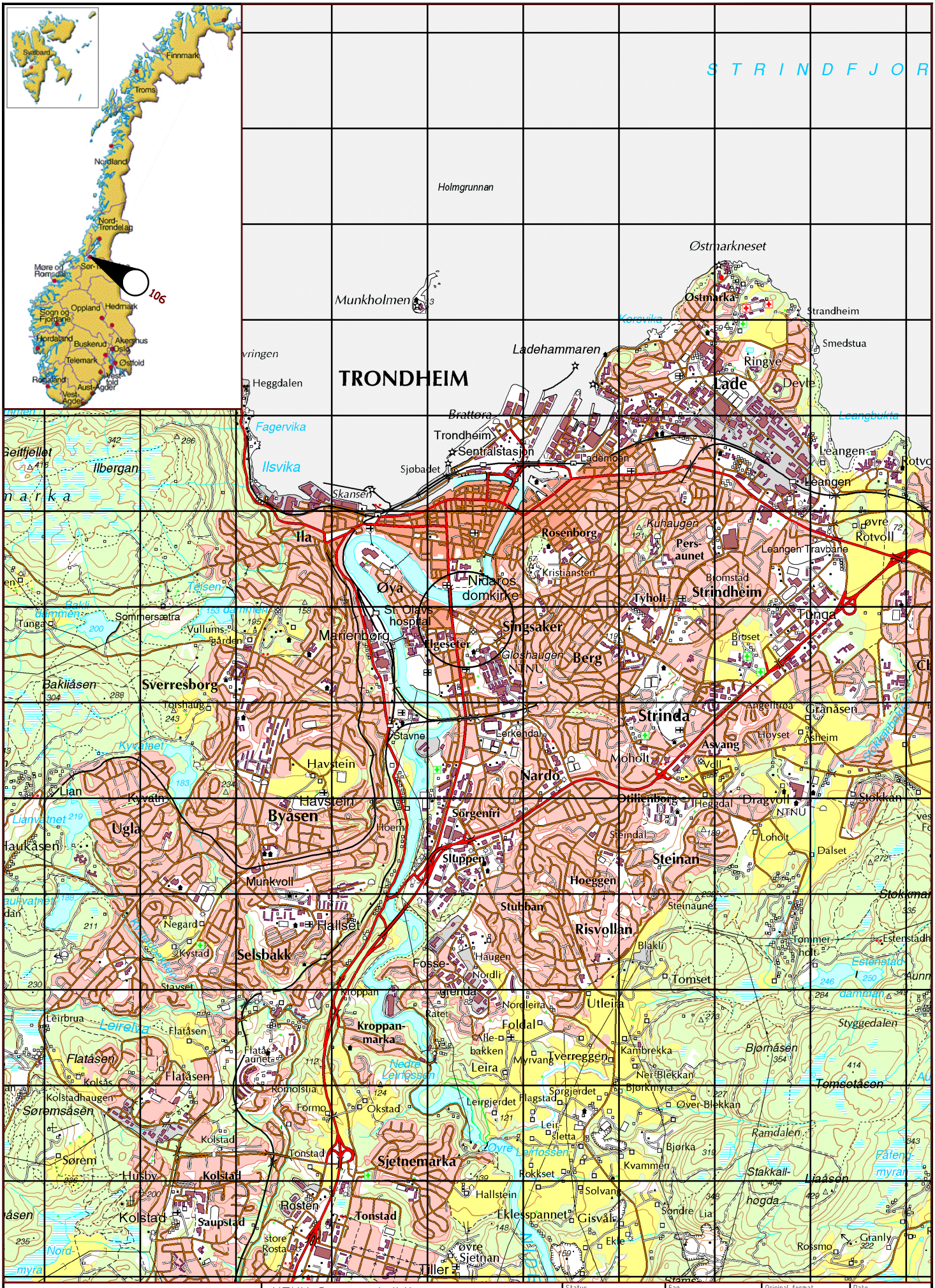
/9/ Multiconsult (2011) Gløshaugen-Bakklandet kvikkleireutredning. Geoteknisk vurdering – forprosjekt. Rapport nr. 414871-001

/10/ Kummeneje AS (1965). Grunnundersøkelse for kontrafylling mot Nidelven. Strekningen fra Elgeseter bro til A/S Trondhjems Jernindustri. Kummeneje rapport O.185-2.

/11/ Karlsrud, Kjell (2003) Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger. Kurs 20.-22. mai 2003, Rica Hell Hotell

/12/ Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D.A., Strandvik, S. (2005) CPTU Correlations for Clays. NGI-rapport 20041198-1, datert 10. januar 2005

/13/ Thakur et al., (2014) En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer. NIFS-rapport nr. 14/2014

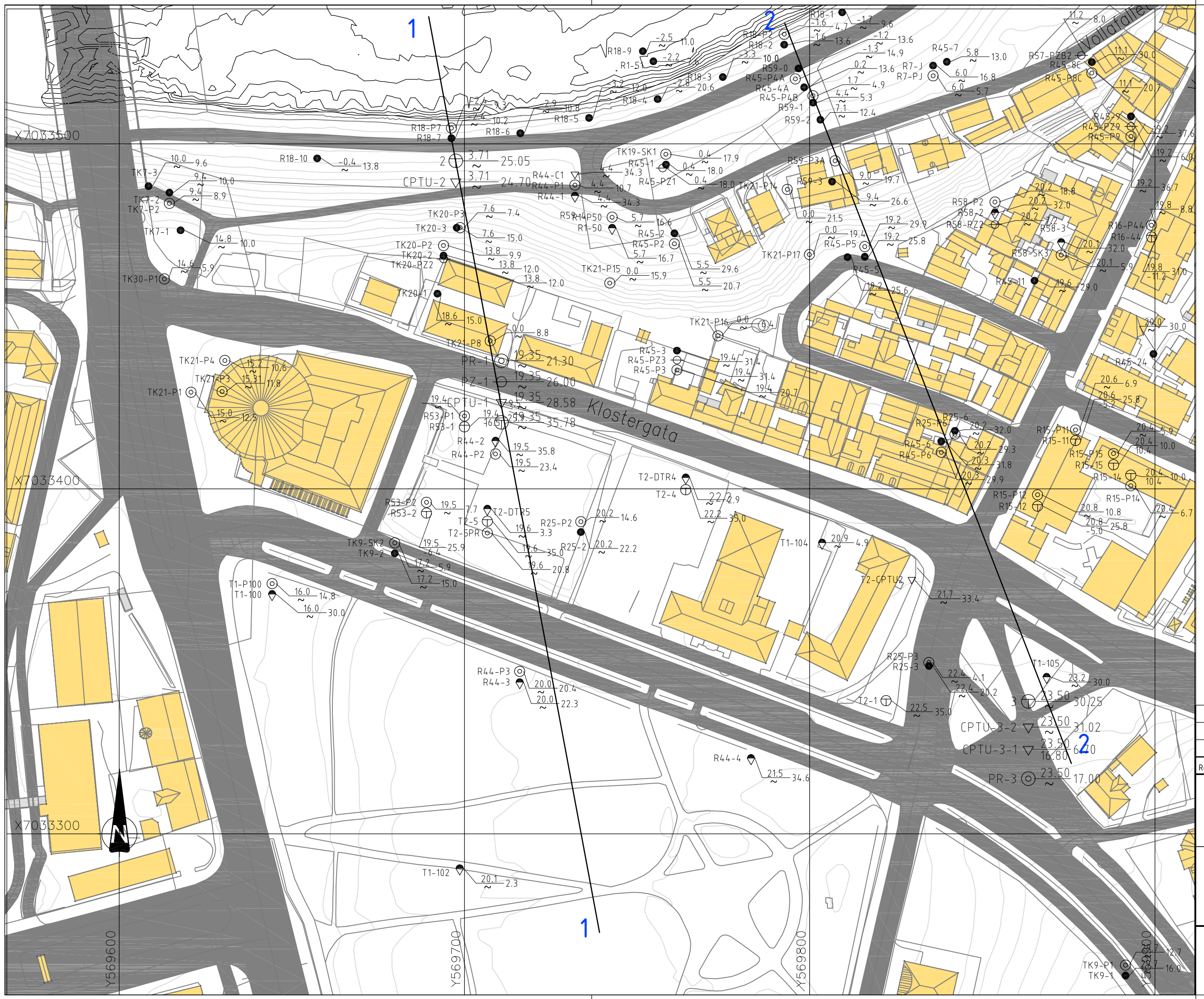


Multiconsult
www.multiconsult.no

NTNU Campusutvikling
Oversiktskart

Status	Fag	Original format	Dato
	Geoteknikk	A4	15.12.2016
Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	Målestokk
KONK	ANG	SR	1:50000
Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.
418290	RIG-TEG-000		00

Z:\0418\418290\418290-03 ARBEIDSOMRÅDE\418290-01 RIG\418290-04 TEGNINGER\418290-RIG-TEG_000_rev00_OVERSIKTSKART.dwg, - Layout: (A4 Stående skjema), - Plottet av: ang, Dato: 2016.12.13 kl 11:59



TEGNFORKLARING:

- ● DREIESONDERING
- ○ ENKEL SONDERING
- ▼ RAMSONDERING
- ▽ TRYKKSONDERING
- ⊕ TOTALSONDERING
- ◎ PRØVESERIE
- □ PRØVEGROP
- ◒ DREIETRYKKSONDERING
- ⊠ SKRUPLATEFORSØK
- + VINGEBORING
- ⊖ PORETRYKKMÅLING
- ⊙ KJERNEBORING
- ✡ FJELLKONTROLLBORING
- ^^ BERG I DAGEN

KARTGRUNNLAG:	Digitalt kart fra oppdragsgiver
KOORDINATSYSTEM:	UTM Sone 32V
HØYDEREFERANSE:	NN 2000
UTGANGSPUNKT FOR NIVELLEMENT:	GPS GLONAS CPOS
BORBOK NR:	Digital
LAB.BOK NR:	3014

EKSEMPEL: BP 1 ⊕ 43.0 / 28.2 — 14.8+2.4

- 43.0: TERRENGKOTE/SJØBUNNKOTE
- 28.2: ANTATT BERGKOTE
- 14.8+2.4: BORET DYBDE + BORET I BERG

TIDLIGERE BORINGER:

Tidligere boringer er angitt med indekser foran borhullsnr:
Alle tidligere boringer, er omregnet til NN2000

R1-X	o.02924 (R419-2)	Rapport fra Rambøll	1978	Bakklandsutredningen
R7-X	o.06168	Rapport fra Rambøll	1986	Øvre Bakklandet 2-8
R15-X	600002-3A	Rapport fra Rambøll	2000	Nedre Singsakerslette
R16-X	600002-4	Rapport fra Rambøll	2000	Nedre Singsakerslette
R18-X	o.0185-2	Rapport fra Rambøll	1964	Nidelven
R25-X	o.0248	Rapport fra Rambøll	1963	NTH interesseområde
R44-X	6100099	Rapport fra Rambøll	2010	Regulering av Samfundet -Nidelven
R45-X	o.0185	Rapport fra Rambøll	1964	Schives gate-Nidelven
R53-X	660200	Rapport fra Rambøll	2006	Utvidelse av Studentersamfundet
R58-X	11461	Rapport fra Rambøll	1997	Vollabakken 16B
R59-X	o.0160	Rapport fra Rambøll	1962	Vollafallet
TK7-X	R.0356	Rapport fra Trondheim kommune	1974	Fotgjengerundergang v/Elgeseter bru
TK9-X	R.0997-3	Rapport fra Trondheim kommune	1999	Gløshaugen-Elgeseter
TK19-X	R.0075	Rapport fra Trondheim kommune	1963	Klostergata-Schives gate
TK20-X	R.0366	Rapport fra Trondheim kommune	1975	Klostergata 20
TK21-X	R.0008	Rapport fra Trondheim kommune	1893	Klostergata-Vollakammen (Høyder er tatt fra terrengmodellen)
TK30-X	R.0362-3	Rapport fra Trondheim kommune	1975	Nidarø ledningen
T1-X	415913	Rapport fra Multiconsult	2014	Gløshaugen-Bakklandet kvikkleireområde
T2-X	416869	Rapport fra Multiconsult	2014	Studentersamfundet i Trondheim
1-3	Nye boringer	Utført av Multiconsult	2016	

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

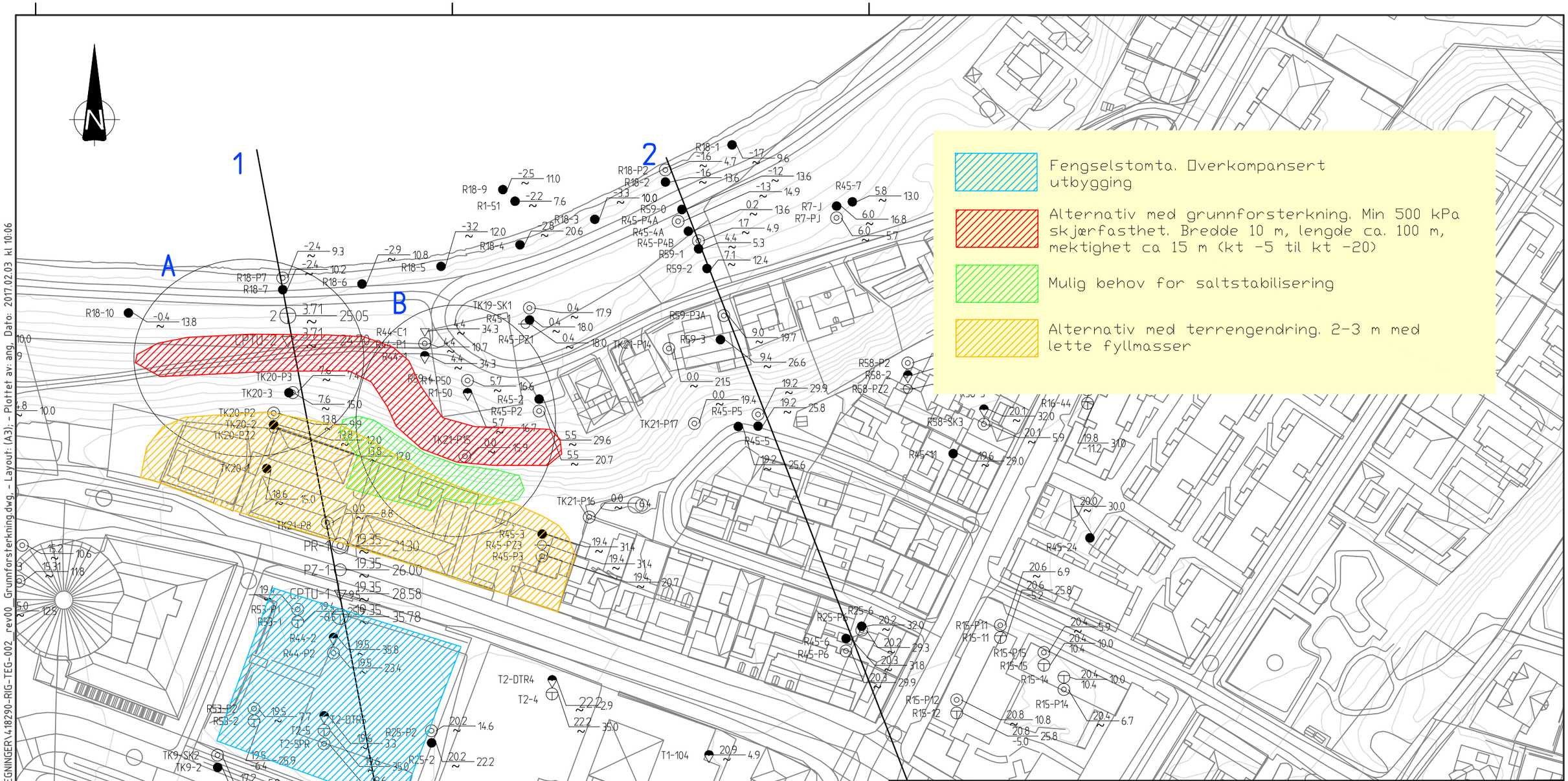
ÅF Reinertsen AS
NTNU Campusutvikling
Borplan

Fag	Geoteknikk
Format	A3L
Dato	25.11.2016
Format/Målestokk:	1:1000

Multiconsult
www.multiconsult.no

Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Utsendt	KONK	ANG	SR

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
418290	RIG-TEG-001	00



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
01	Omfang av terrengendring inkludert	03.02.2017	ANG	KONK	SR
00		15.12.2016	ANG	KONK	SR

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabiliserende tiltak

Stabiliserende tiltak

Fag: Geoteknikk

Format: A3

Dato: 03.02.2016

Format/Målestokk: 1:1000 -

Multiconsult

Status: Utsendt

Konstr./Tegnet: ANG

Kontrollert: KONK

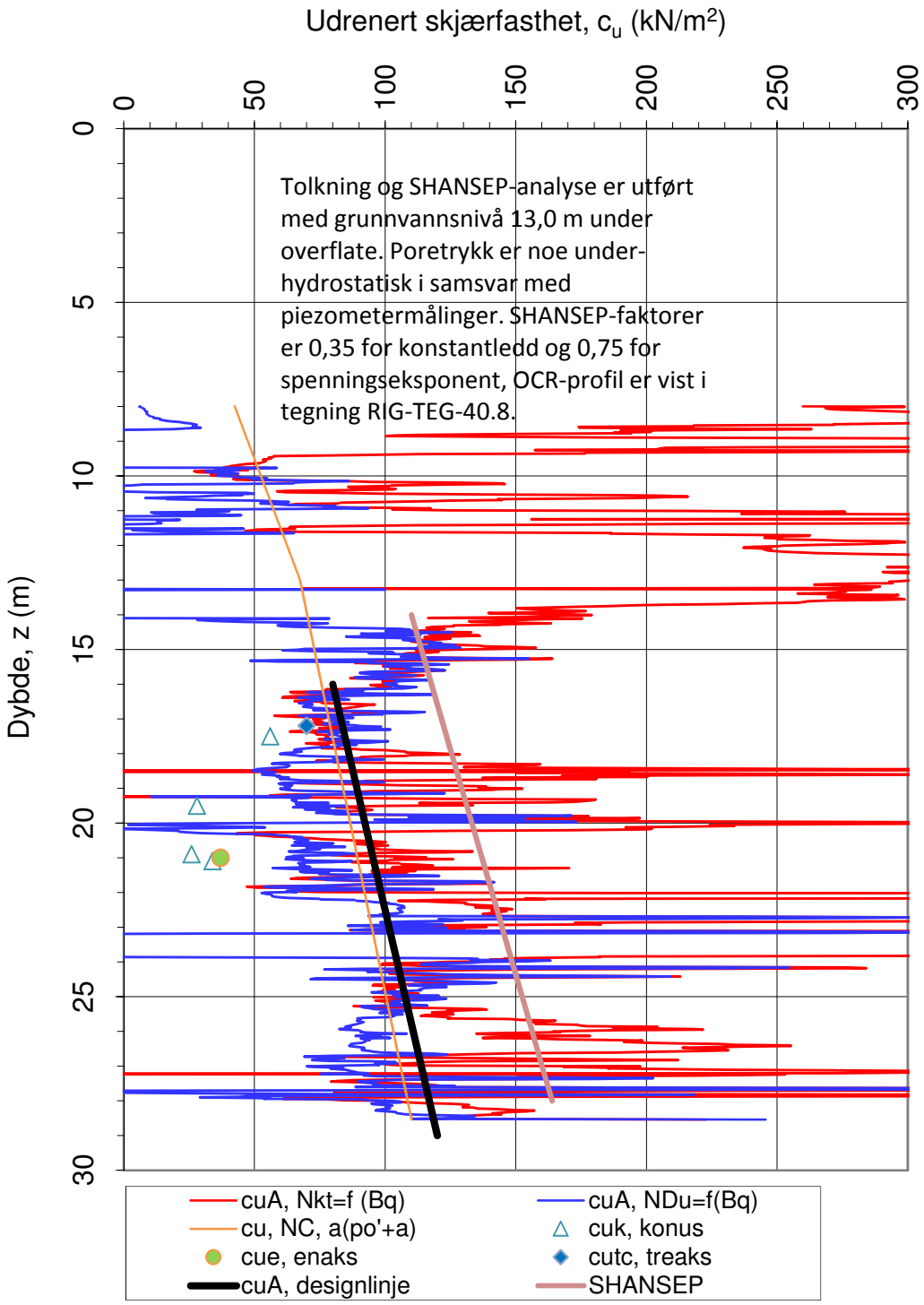
Godkjent: SR

Oppdragsnr.: 418290

Tegningsnr.: RIG-TEG-002

Rev.: 01

Z:\0418\418290\418290-03 ARBEIDSOMRÅDE\418290-01 RIG\418290-04 TEGNINGER\418290-RIG-TEG-002_rev00_Grunnforsterkning.dwg, - Layout: (A3); - Plottet av: ang, Dato: 2017.02.03 kl 10:06

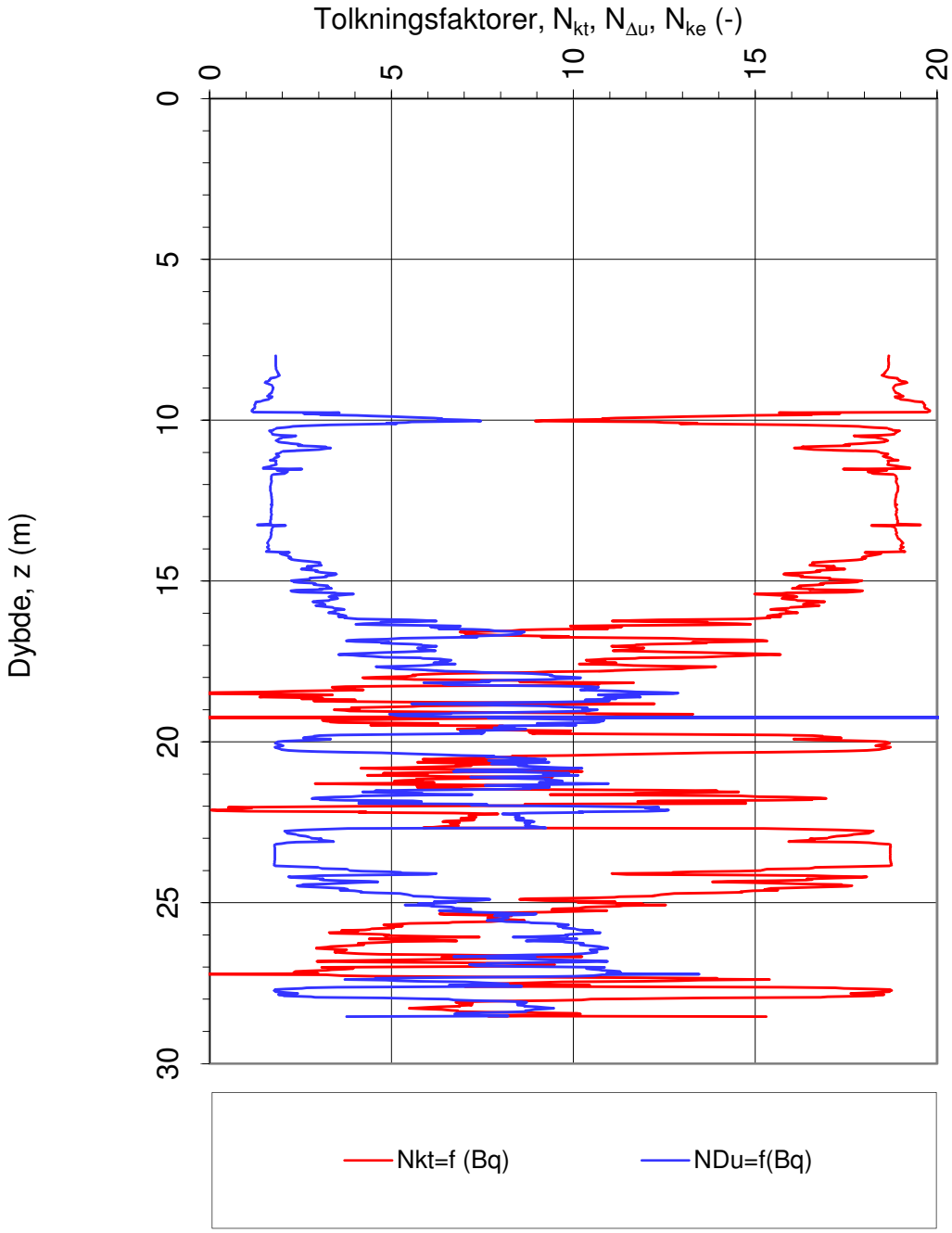


Nkt = (18,7-12,5·Bq)
NDu = (1,8+7,25·Bq)

α_c valgt: **0,25**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

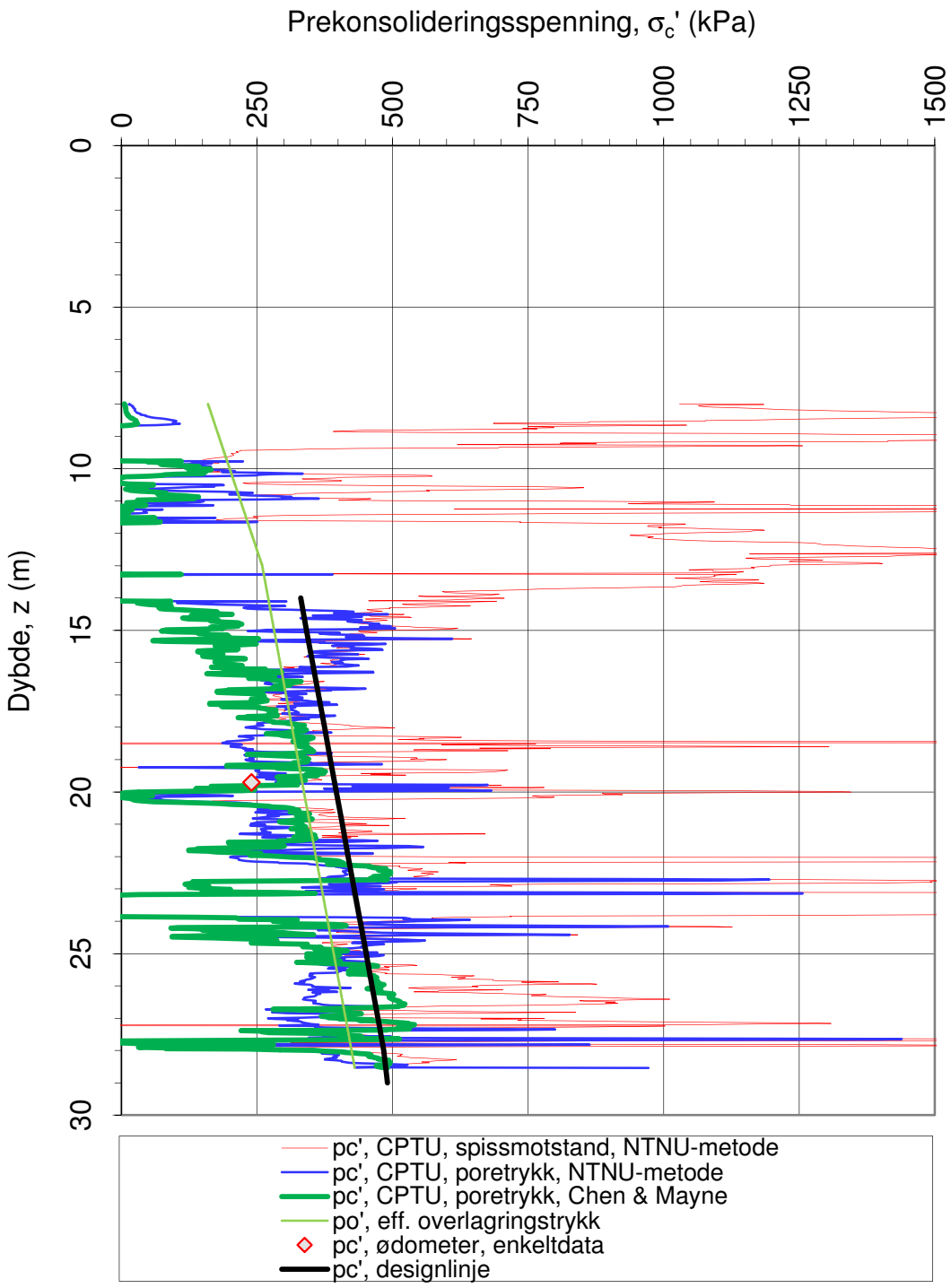
Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Udrenert skjærfasthet cu. cuA korrelert mot Bq for CPTU				Multiconsult
CPTU id.:	1	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-40.5	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

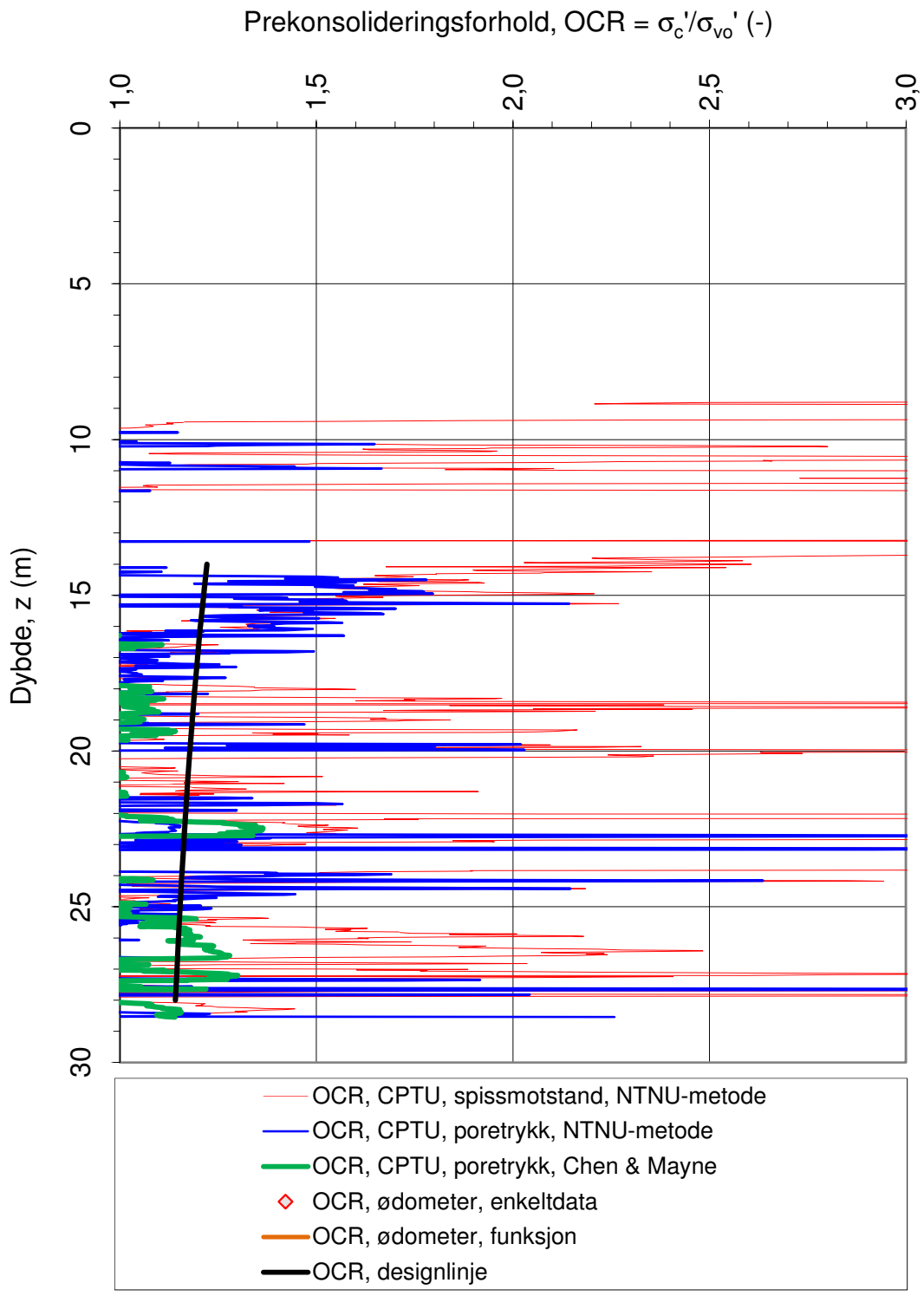
Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Faktorer N_{kt}, $N_{\Delta u}$ korrelert mot B_q.				Multiconsult
CPTU id.:	1	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-40.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



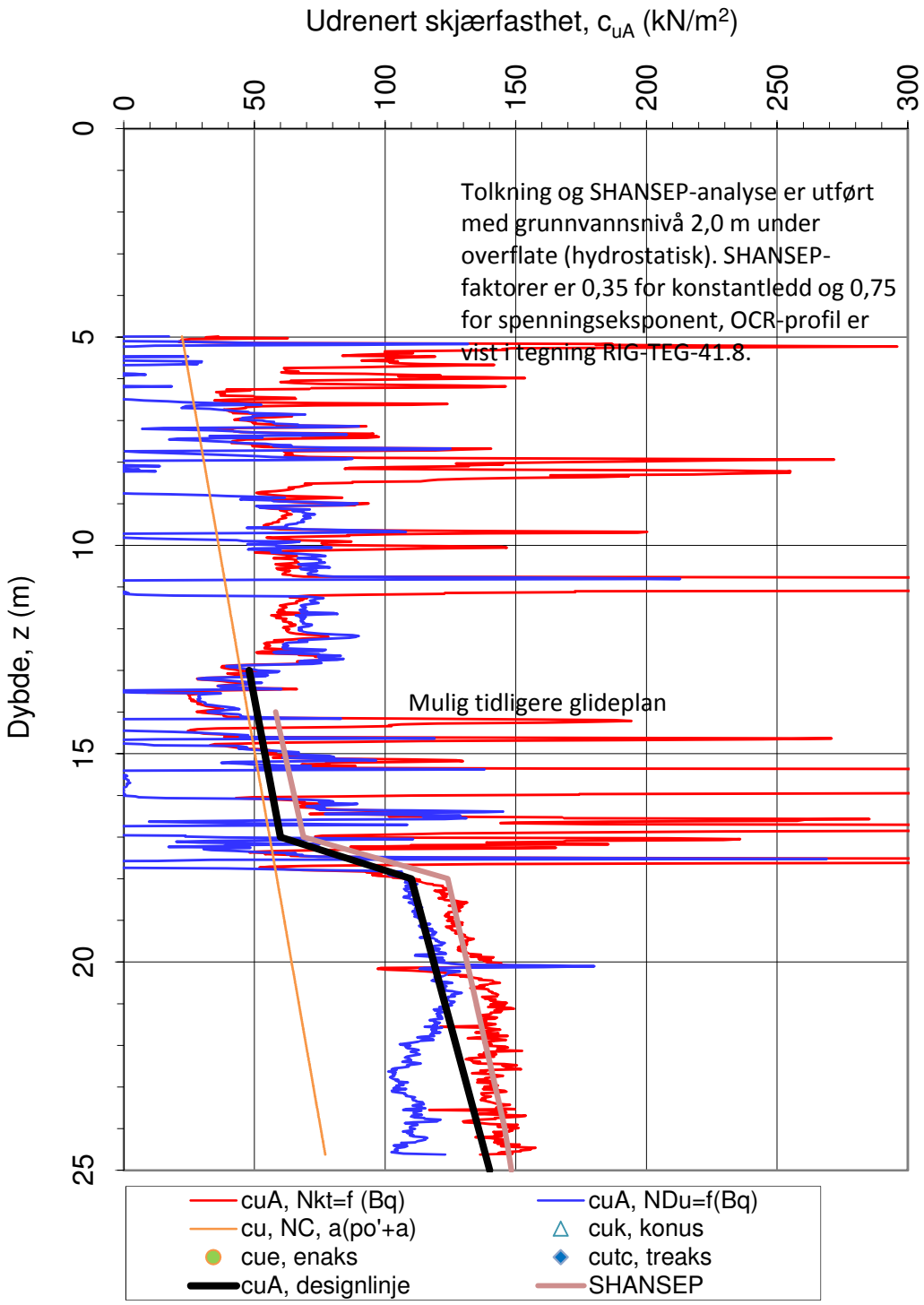
Referansemetoder 1 og 2: NTNU Senneset, Sandven & Janbu (1989)
Referansemetode 3: Chen & Mayne (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Prekonsolideringsspenning σ_c'.				Multiconsult
CPTU id.:	1	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-40.7	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Overkonsolideringsforhold, OCR = σ_c'/σ_{vo}'.				Multiconsult
CPTU id.:	1	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-40.8	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0

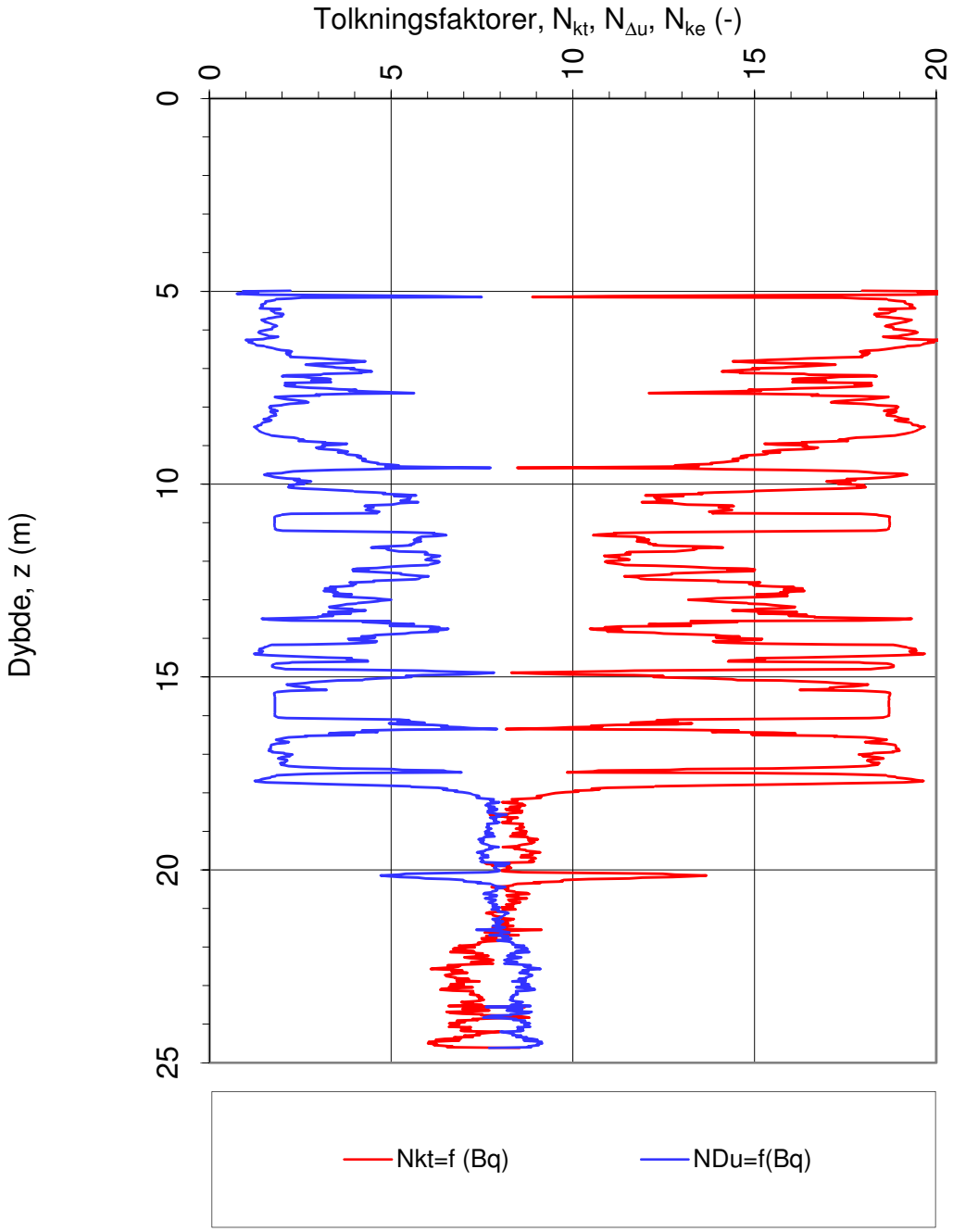


Nkt = (18,7-12,5·Bq)
NDu = (1,8+7,25·Bq)

α_c valgt: **0,28**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

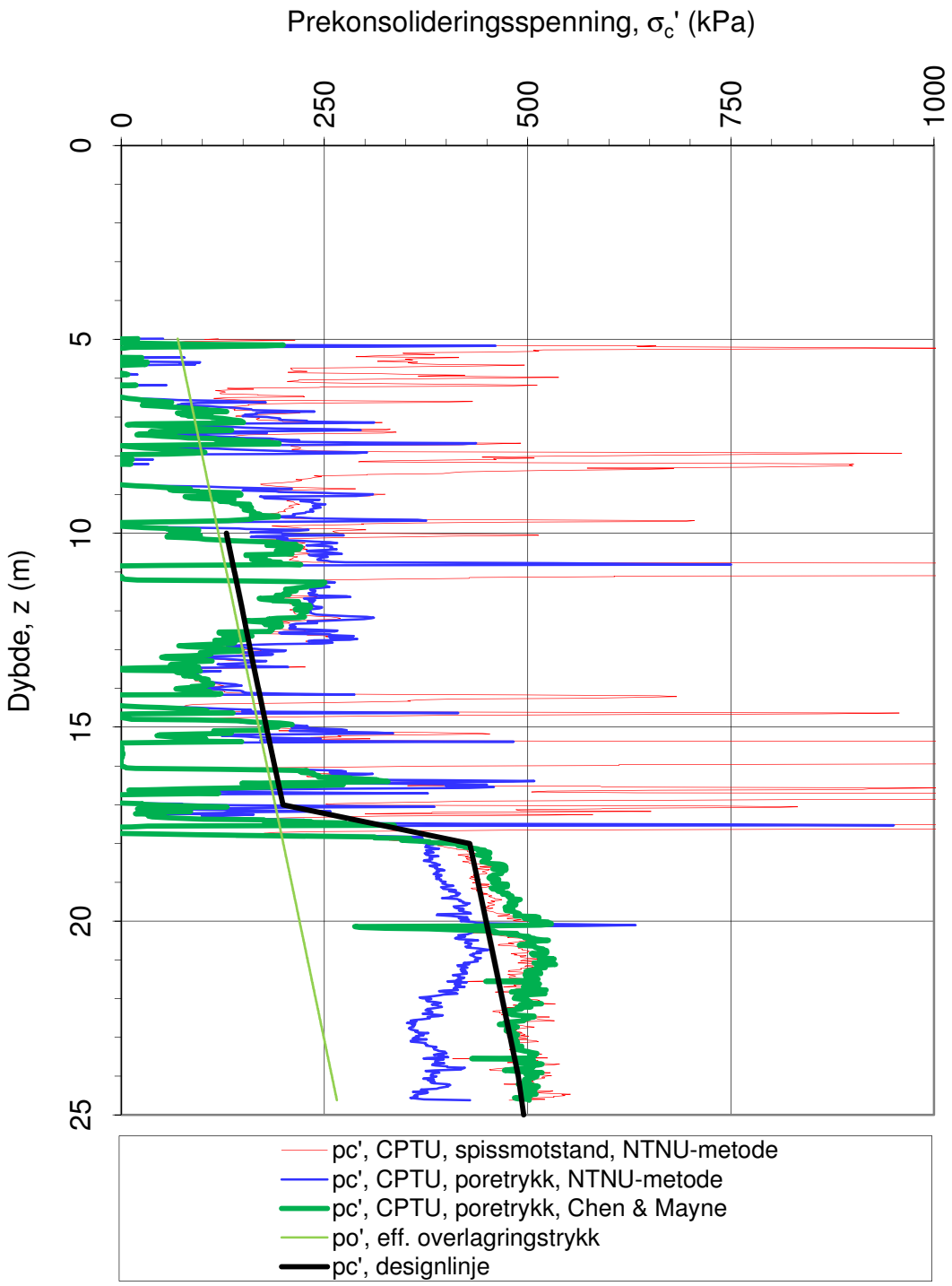
Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Aktiv udrenert skjærfasthet c_{uA}, korrelert mot B_q.				Multiconsult
CPTU id.:	2	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-41.5	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

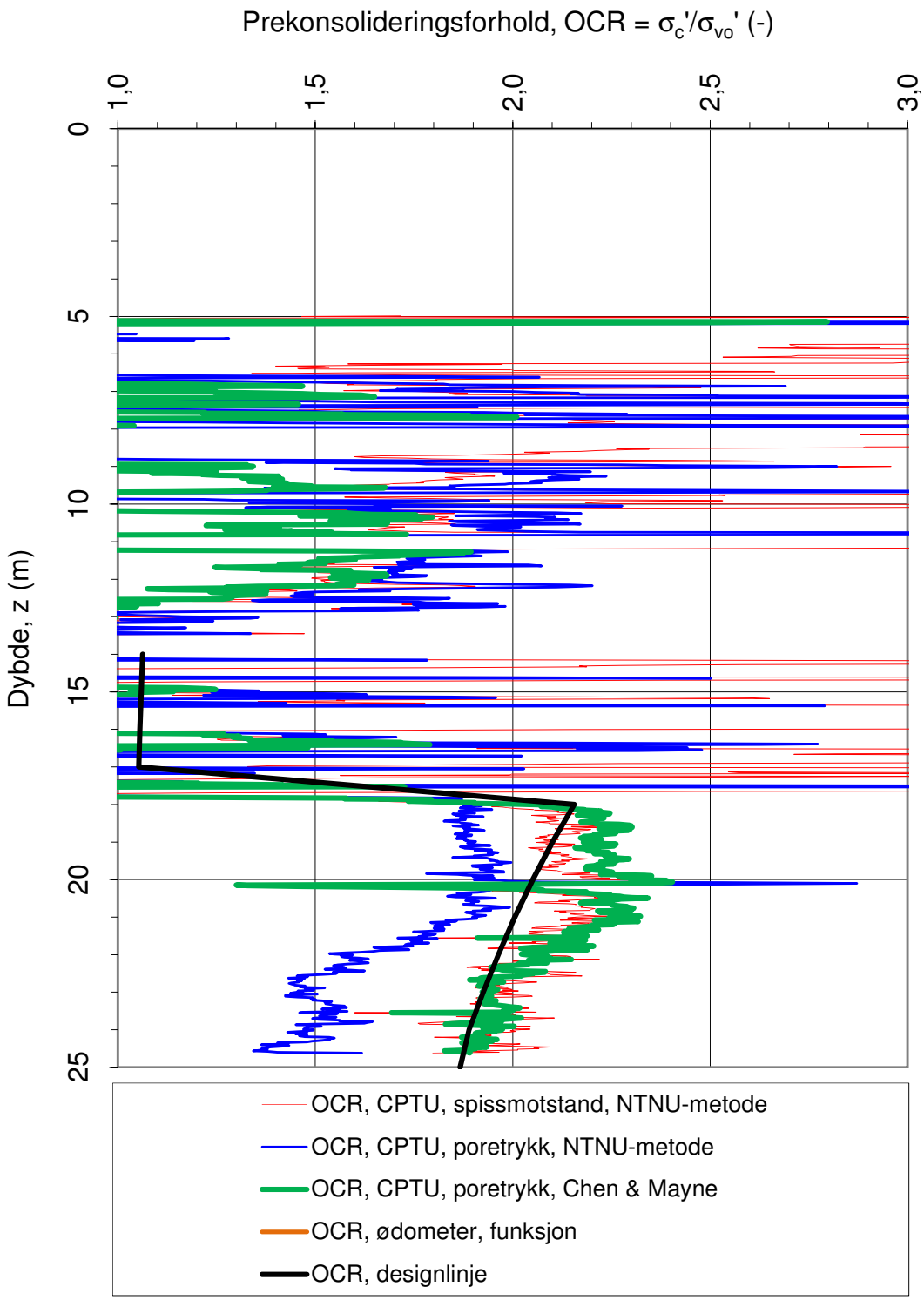
Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Faktorer N_{kt}, $N_{\Delta u}$ korrelert mot B_q.				Multiconsult
CPTU id.:	2	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-41.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



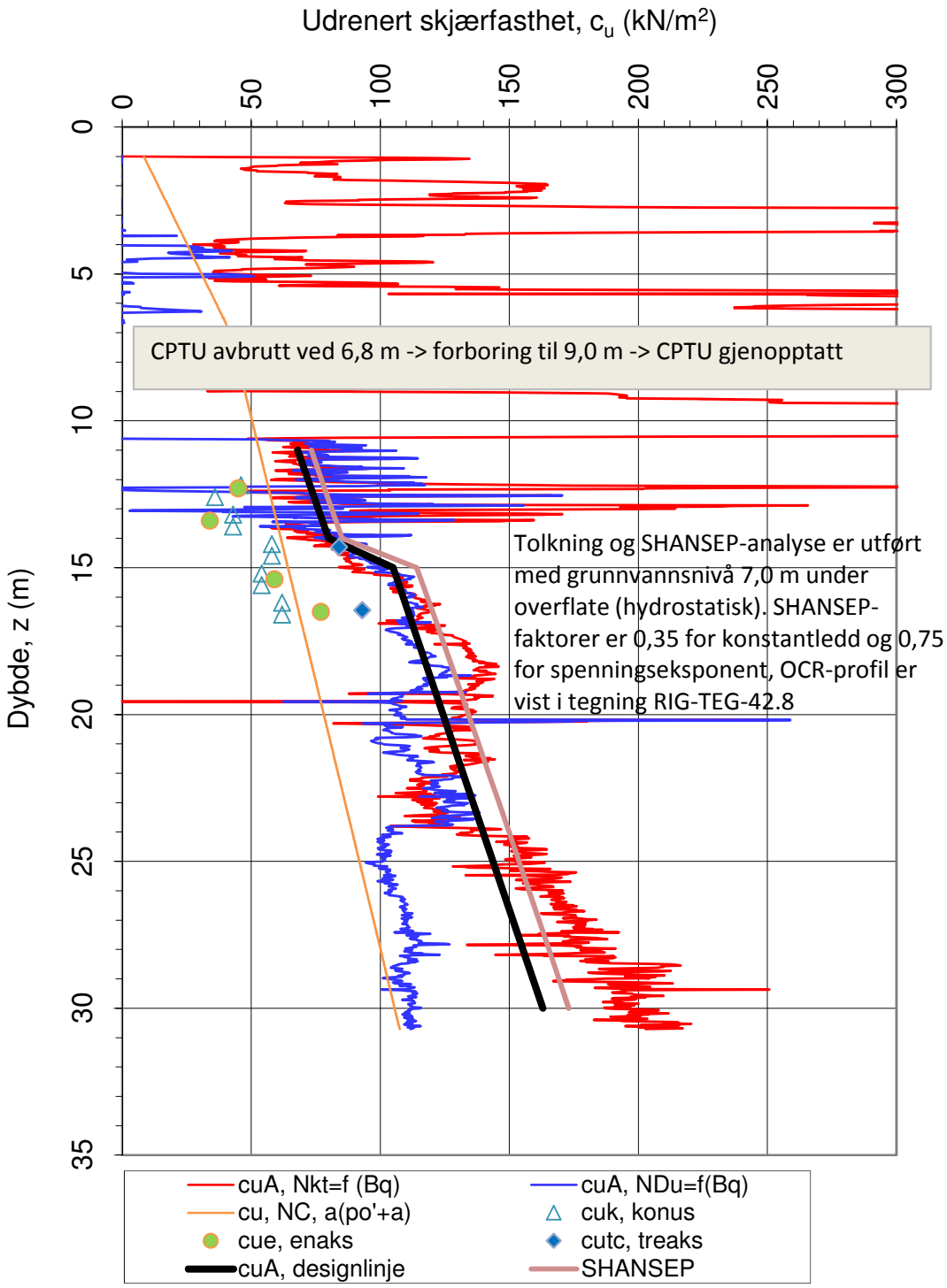
Referansemetoder 1 og 2: NTNU Senneset, Sandven & Janbu (1989)
Referansemetode 3: Chen & Mayne (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Prekonsolideringsspenning σ_c'.				Multiconsult
CPTU id.:	2	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-41.7	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Overkonsolideringsforhold, OCR = σ_c'/σ_{vo}'.				Multiconsult
CPTU id.:	2	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-41.8	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0

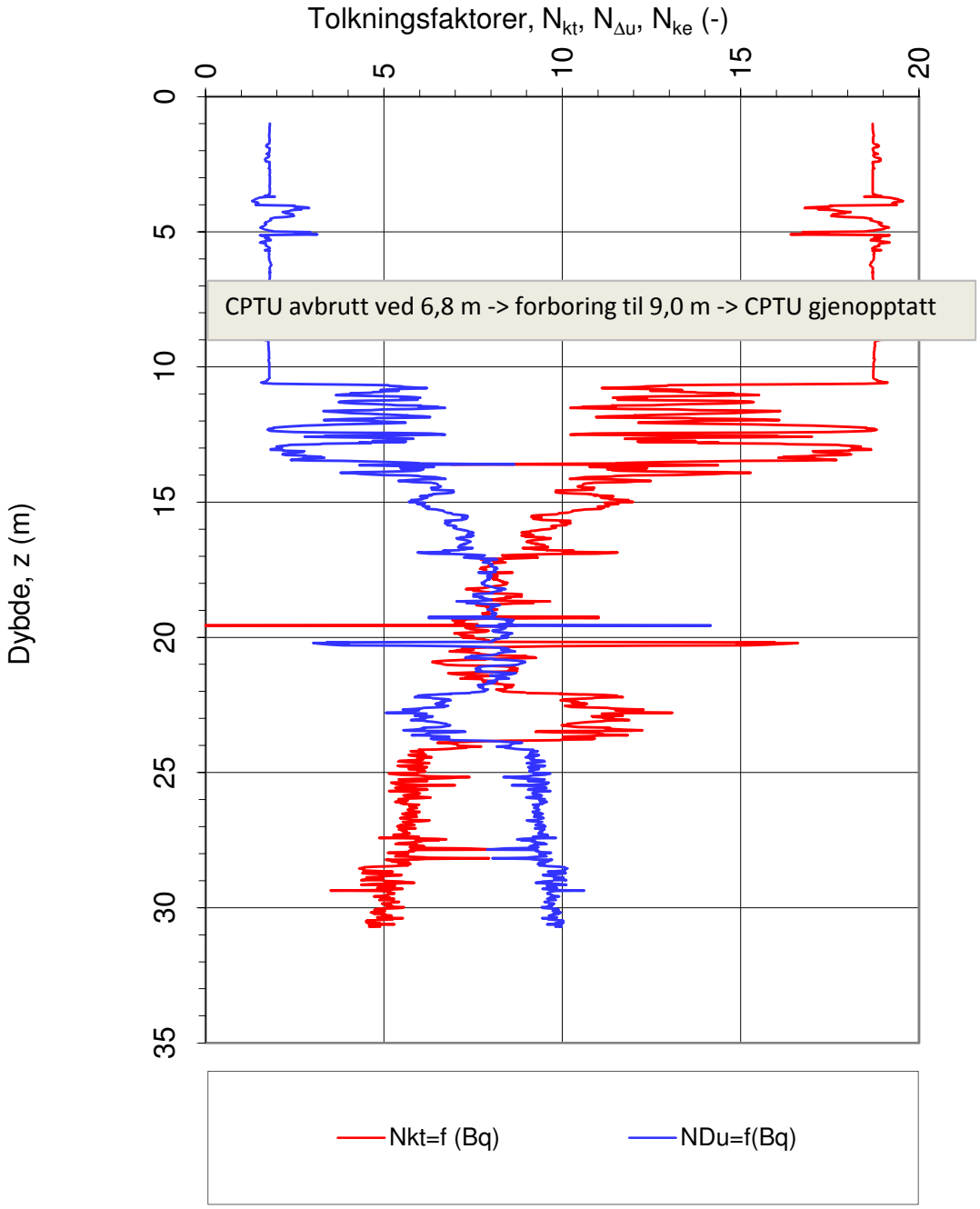


Nkt = (18,7-12,5·Bq)
NDu = (1,8+7,25·Bq)

α_c valgt: **0,28**

Referansemetode: Karlsrud et al (1996)

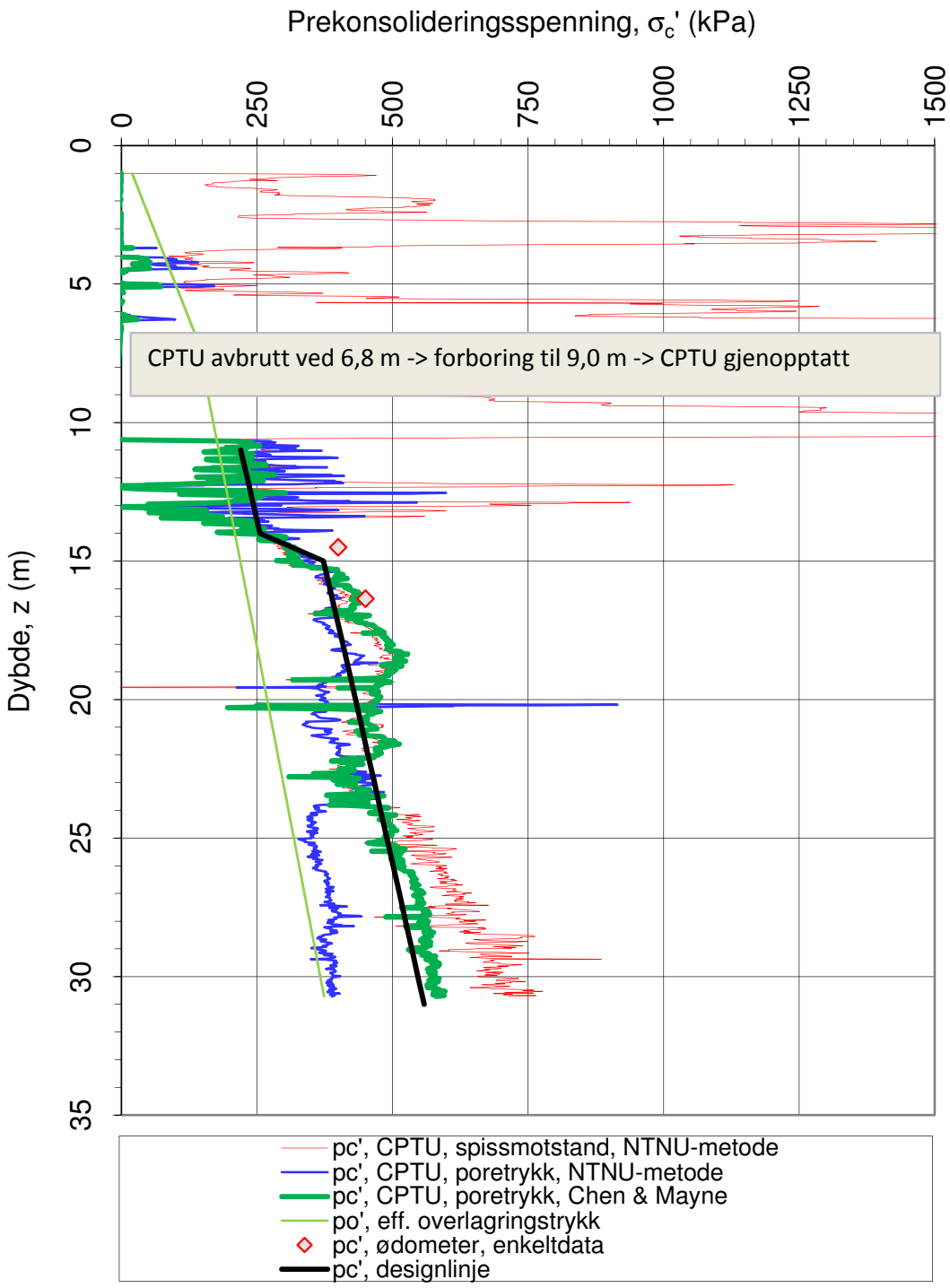
Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**	Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Udrenert skjærfasthet cu. cuA korrelert mot Bq for CPTU			Multiconsult
CPTU id.:	3	**Sonde:**	4672
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-42.5	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

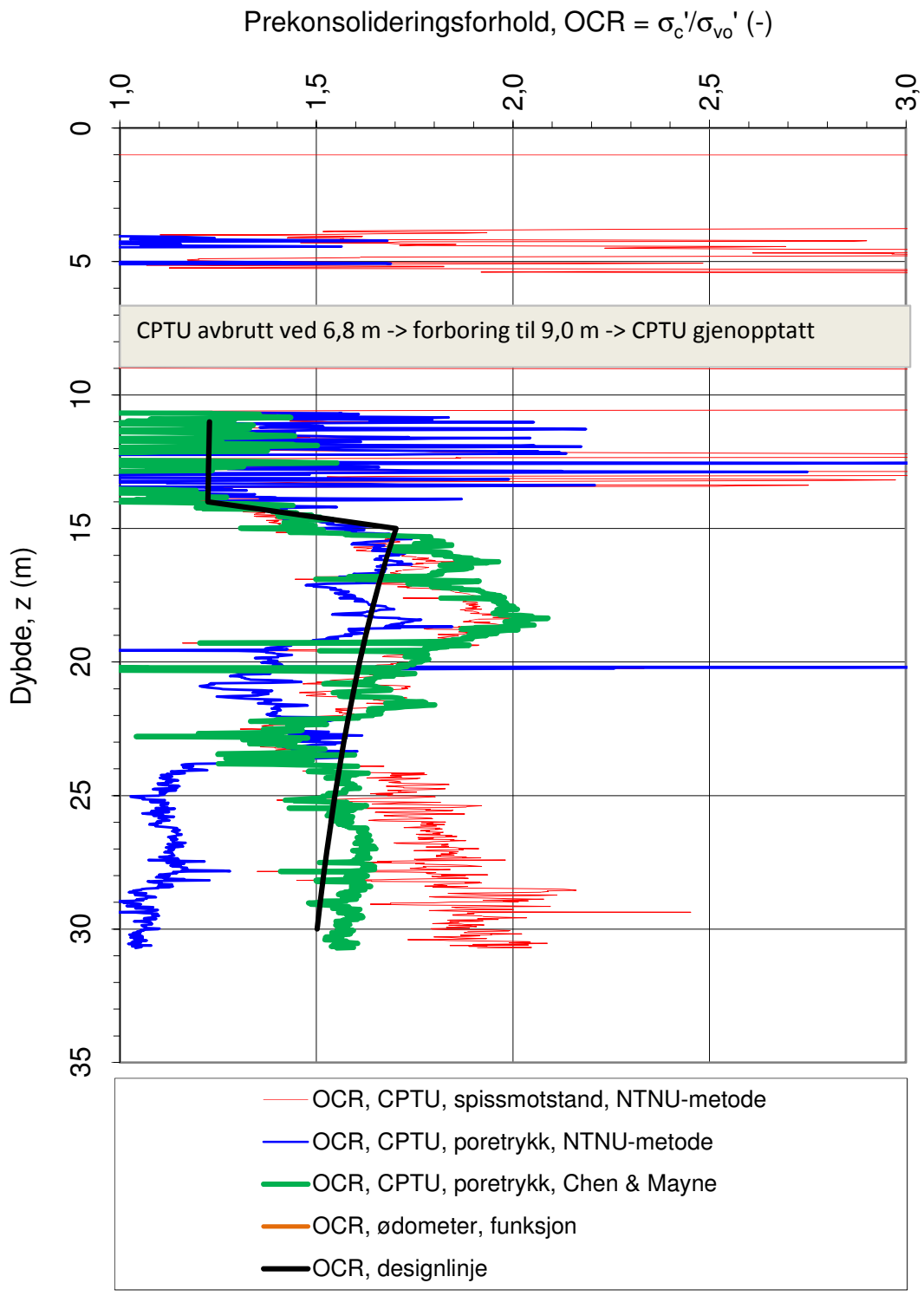
Referansemetode: Karlsrud et al. (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Faktorer N_{kt}, $N_{\Delta u}$ korrelert mot B_q.				Multiconsult
CPTU id.:	3	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-42.6	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



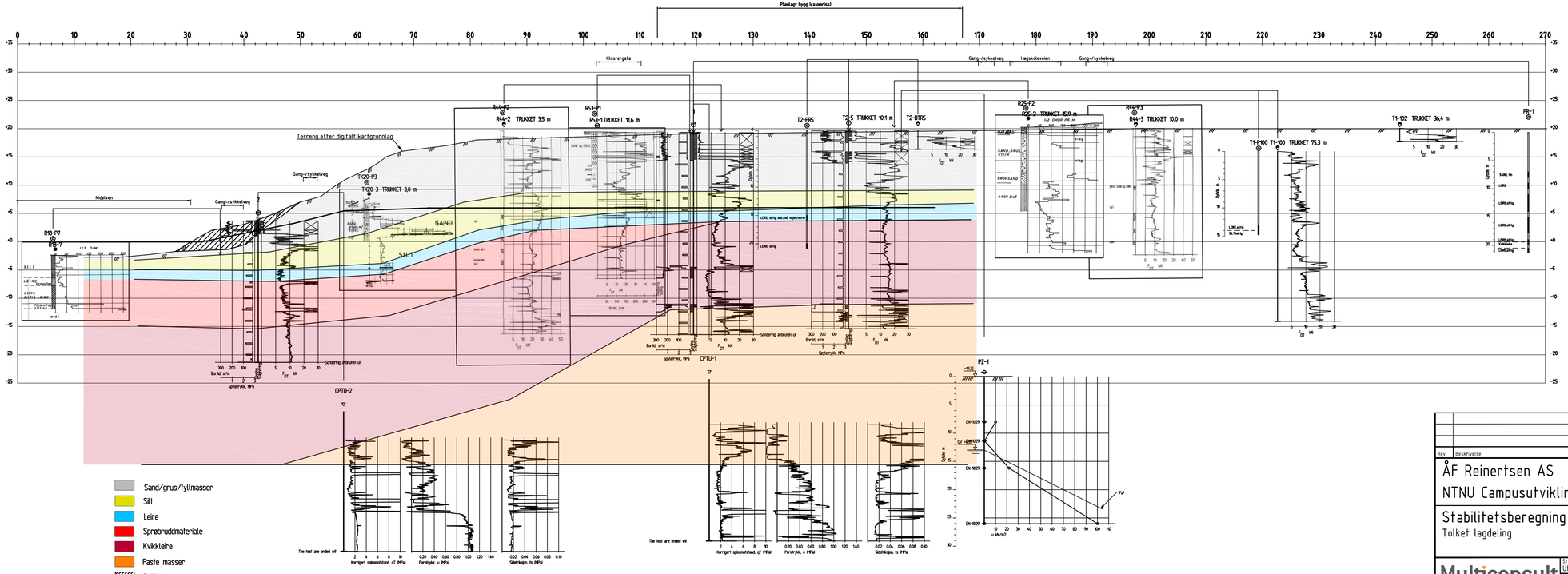
Referansemetoder 1 og 2: NTNU Senneset, Sandven & Janbu (1989)
Referansemetode 3: Chen & Mayne (1996)

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Prekonsolideringsspenning σ_c'.				Multiconsult
CPTU id.:	3	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-42.7	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



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

Oppdragsgiver: **NTNU Campusutvikling**		Oppdrag: **Fengselstomta**		Tegningens filnavn: CPTU_EXTRA_v5.0
Overkonsolideringsforhold, OCR = σ_c'/σ_{vo}'.				Multiconsult
CPTU id.:	3	**Sonde:**	4672	
MULTICONSULT AS	Dato: 23.11.2016	Tegnet: ANG	Kontrollert: KONK	Godkjent: SR
	Oppdrag nr.: 418290	Tegning nr.: RIG-TEG-42.8	Versjon: 09.03.2016	Revisjon: 0



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabilitetsberegning Profil 1-1

Tolket lagdeling

Fag	Format
Geoteknikk	A3L
Dato	
15.12.2016	
Format/Målestokk:	
1:400	
-	

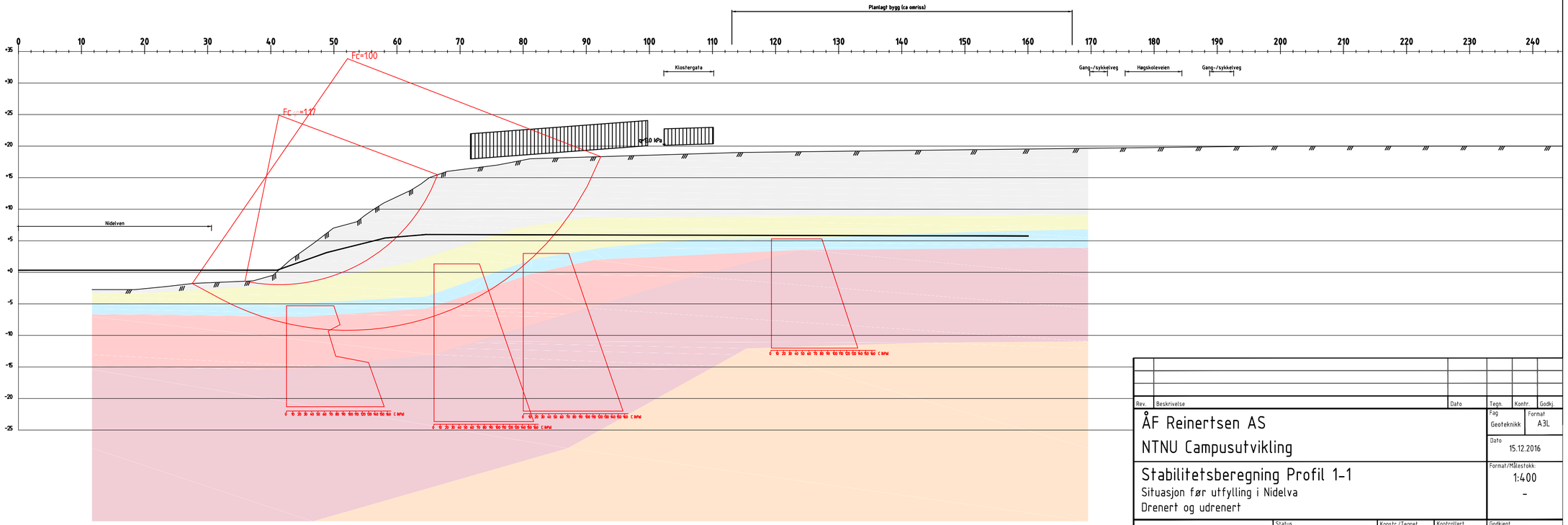
Multiconsult

www.multiconsult.no

Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Utsendt	ANG	KONK	SR

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
418290	RIG-TEG-300.1	00

Material	Unt.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser/sand	18.00	8.00	33.0	4.0				
Leire	19.50	9.50	28.0	7.0	C-prof	1.00	0.68	0.38
Silt	19.00	9.00	33.0	4.0				
Sprøbrudd/kvikkleire	20.00	10.00	28.0	7.0	C-prof	0.85	0.68	0.38
Faste masser	20.00	10.00	33.0	15.0				



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Fag: Geoteknikk | Format: A3L

Dato: 15.12.2016

Stabilitetsberegning Profil 1-1

Situasjon før utfylling i Nidelva

Drenert og udrenert

Format/Målestokk: 1:400 -

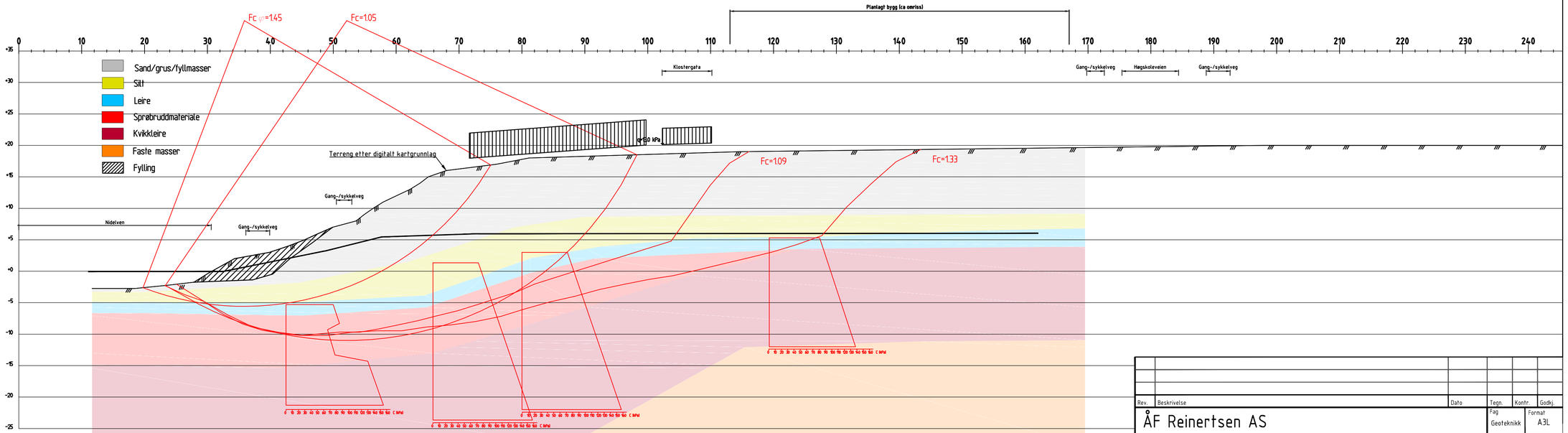
Multiconsult

www.multiconsult.no

Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Utsendt	ANG	KONK	SR

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
418290	RIG-TEG-300.2	00

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	9.00	35.0	2.0				
Fyllmasser/sand	18.00	8.00	33.0	4.0				
Leire	19.50	9.50	28.0	7.0	C-prof	1.00	0.68	0.38
Silt	19.00	9.00	33.0	4.0				
Sprøbruddt/kvikkleire	20.00	10.00	28.0	7.0	C-prof	0.85	0.68	0.38
Faste masser	20.00	10.00	33.0	15.0				



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabilitetsberegning Profil 1-1

Dagens terreng

Drenert og udrenert

Fag: Geoteknikk | Format: A3L

Dato: 15.12.2016

Format/Målestokk: 1:400 -

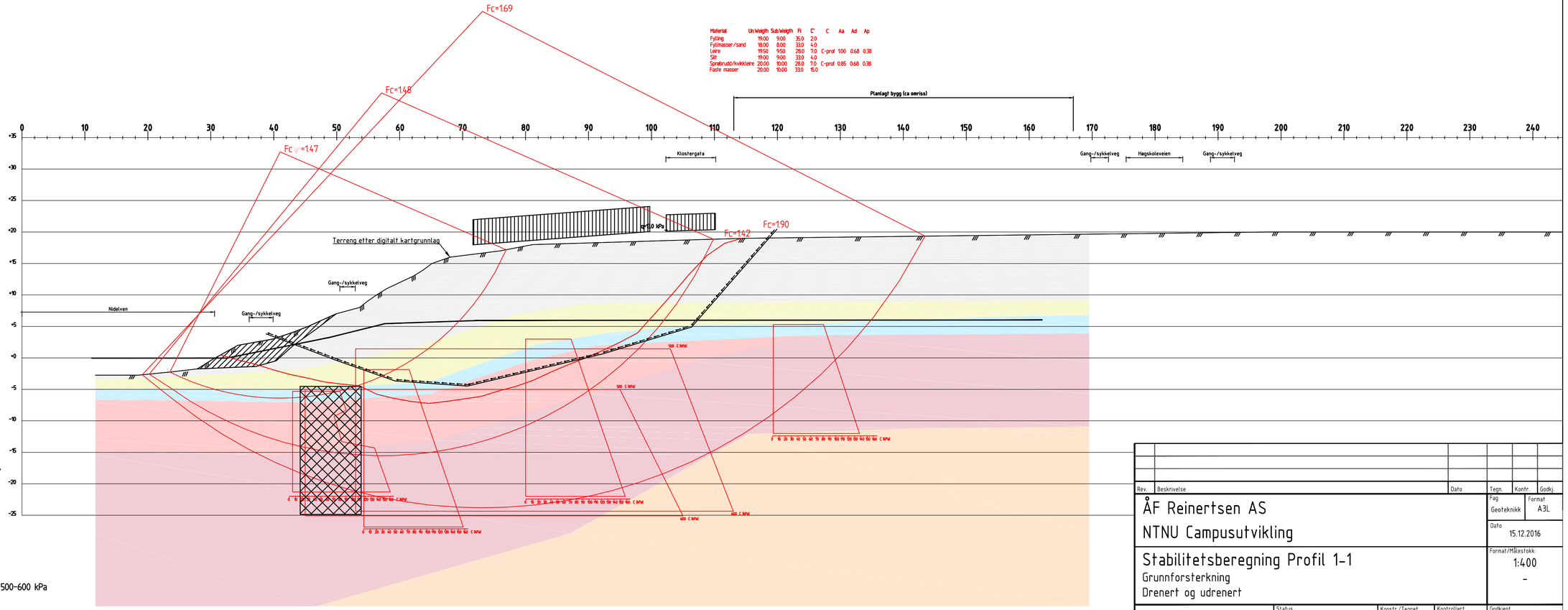
Multiconsult

www.multiconsult.no

Status: Utsendt | Konstr./Tegnet: ANG | Kontrollert: KONK | Godkjent: SR

Oppdragsnr.: 418290 | Tegningsnr.: RIG-TEG-300.3 | Rev.: 00

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	E	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	9.00	35.0	2.0				
Fyllmasser/sand	18.00	8.00	33.0	4.0				
Leire	19.50	9.50	28.0	7.0	C-prof	1.00	0.68	0.38
Silt	19.00	9.00	33.0	4.0				
Sprøbrudd/kvikkleire	20.00	10.00	28.0	7.0	C-prof	0.85	0.68	0.38
Faste masser	20.00	10.00	33.0	15.0				



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabilitetsberegning Profil 1-1

Grunnforsterkning

Drenert og udrenert

Fag: Geoteknikk | Format: A3L

Dato: 15.12.2016

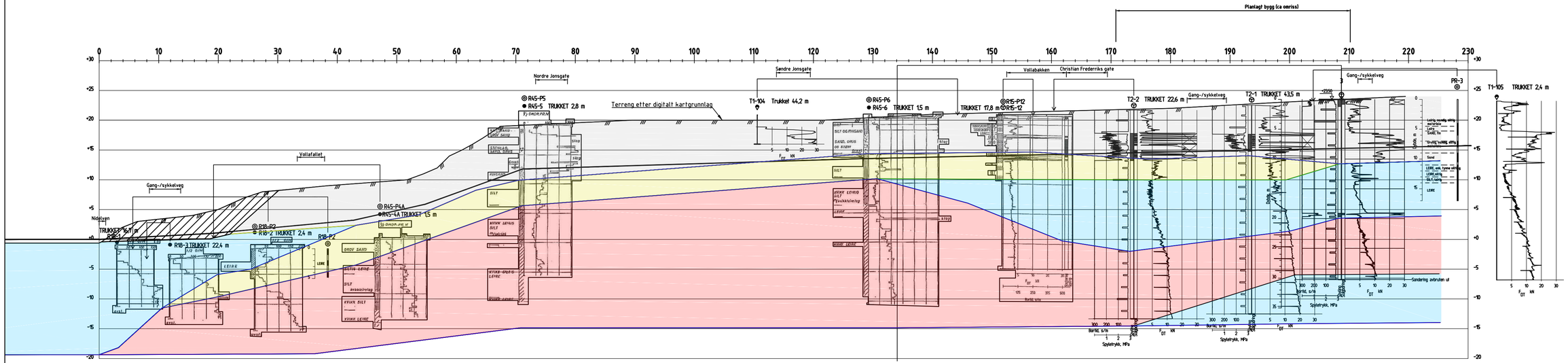
Format/Målestokk: 1:400 -

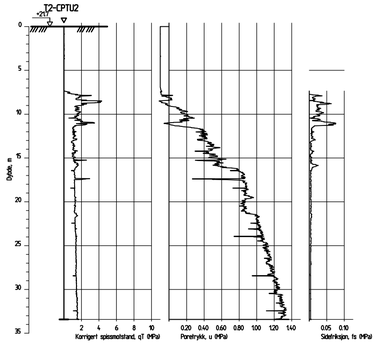
Multiconsult

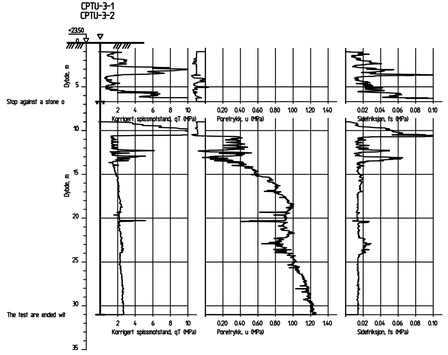
www.multiconsult.no

Status: Utsendt | Konstr./Tegnet: ANG | Kontrollert: KONK | Godkjent: SR

Oppdragsnr.: 418290 | Tegningsnr.: RIG-TEG-300.4 | Rev.: 00







Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabilitetsberegning Profil 2-2

Tolket lagdeling

Fag	Format
Geoteknikk	A3L

Dato: 15.12.2016

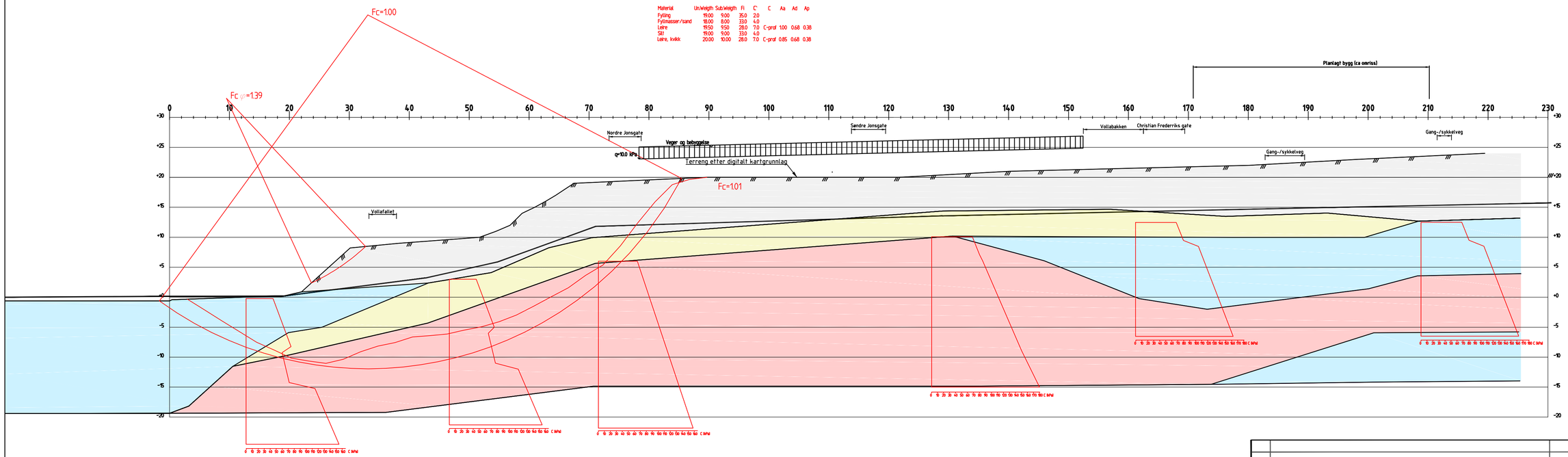
Format/Målestokk: 1:400 -

Multiconsult
www.multiconsult.no

Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Utsendt	ANG	KONK	SR

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
418290	RIG-TEG-301.1	00

Material	UnWeigth	SubWeigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	9.00	35.0	2.0				
Fyllmasser/sand	18.00	8.00	33.0	4.0				
Leire	19.50	9.50	28.0	7.0	C-prof	1.00	0.68	0.38
Silt	19.00	9.00	33.0	4.0				
Leire, kvikk	20.00	10.00	28.0	7.0	C-prof	0.85	0.68	0.38



Sand/grus/fyllmasser
Sand/silt
Leire
Sprøbruddmateriale/kvikkleire

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS
NTNU Campusutvikling

Fag: Geoteknikk
Format: A3L
Dato: 15.12.2016

Stabilitetsberegning Profil 2-2

Stabilitet før utlegging av fylling i Nidelva
Drenert og udrenert

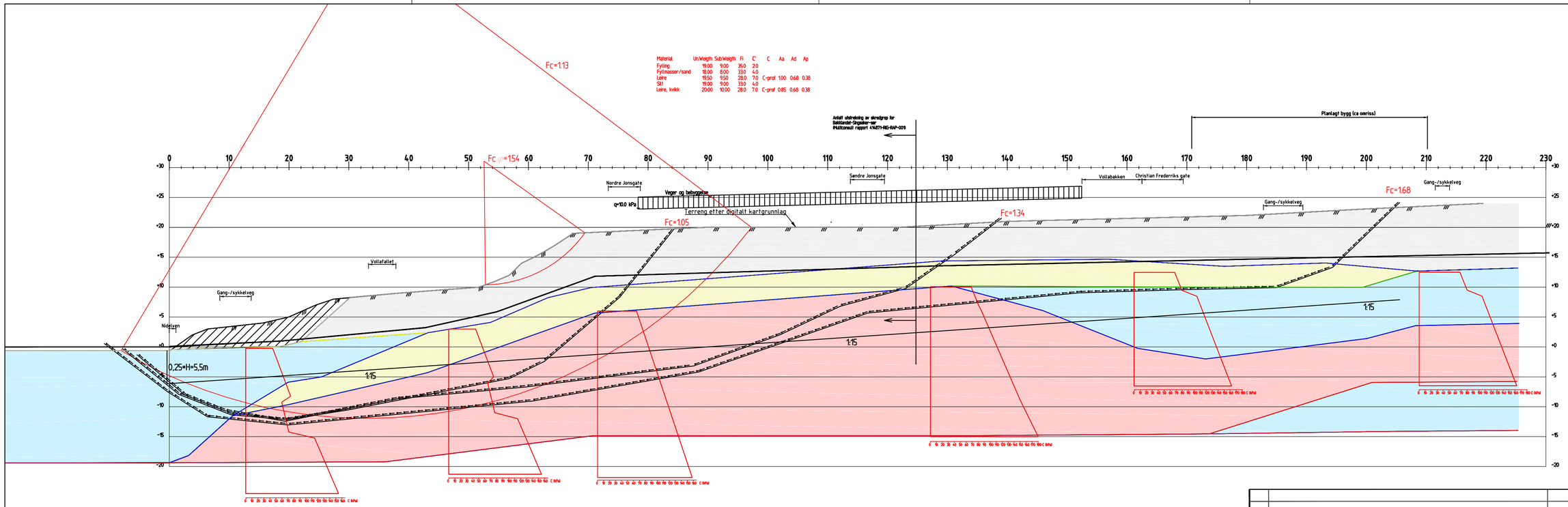
Format/Målestokk: 1:400 -

Multiconsult
www.multiconsult.no

Status	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Utsendt	ANG	KONK	SR

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
418290	RIG-TEG-301.2	00

Material	UnWeigth	SubWeigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	9.00	35.0	2.0				
Fyllmasser/sand	18.00	8.00	33.0	4.0				
Leire	19.50	9.50	28.0	7.0	C-prof	1.00	0.68	0.38
Silt	19.00	9.00	33.0	4.0				
Leire, kvikk	20.00	10.00	28.0	7.0	C-prof	0.85	0.68	0.38



- Sand/grus/fyllmasser
- Sand/silt
- Leire
- Sprøbruddmateriale/kvikkleire
- Fylling

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

ÅF Reinertsen AS

NTNU Campusutvikling

Stabilitetsberegning Profil 2-2

Dagens terreng

Drenert og udrenert

Fag: Geoteknikk | Format: A3L

Dato: 15.12.2016

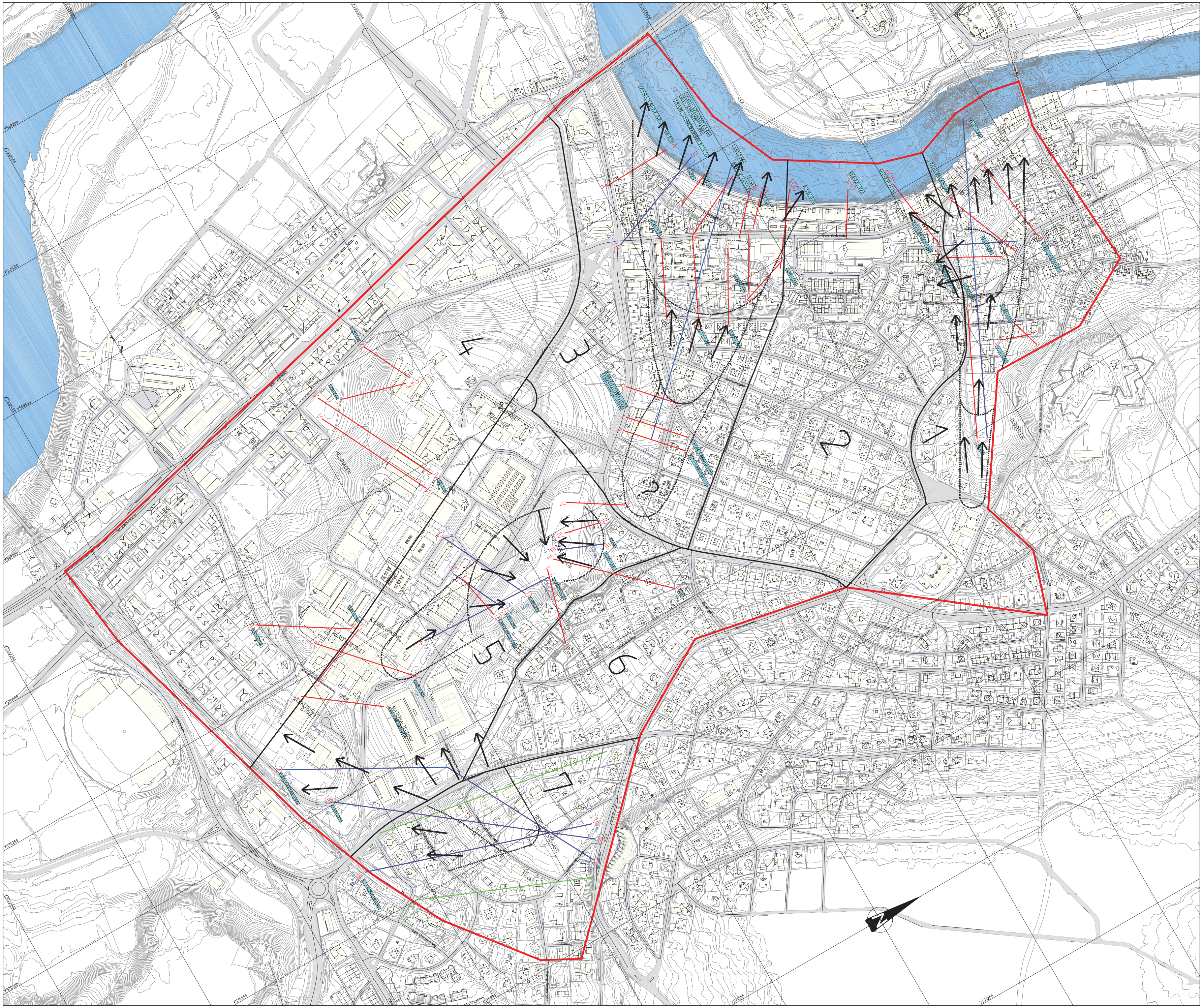
Format/Målestokk: 1:400 – –

Multiconsult

www.multiconsult.no

Status: Utsendt | Konstr./Tegnet: ANG | Kontrollert: KONK | Godkjent: SR

Oppdragsnr.: 418290 | Tegningsnr.: RIG-TEG-301.3 | Rev.: 00



TEGNFORKLARING:

- DREIESONDERING
- ENKEL SONDERING
- RAMSONDERING
- TOTALSONDERING
- FJELLKONTROLLBORING
- KJERNEBORING
- DREIETRYKKSONDERING
- SKRUPLATEFORSØK
- PRØVESERIE
- PRØVEGROP
- TRYKKSONDERING
- VINGEBORING
- PORETRYKKMÅLING
- FJELL I DAGEN

TERRENGKOTE/SJØBUNNKOTE / ANTATT FJELLKOTE — BORET DYBDE + (BORET I FJELL)

- ANTATT UTSTREKNING AV SKREDGROP
- ANTATT UTLØPSRETNING
- BEREGNEDE PROFILER I TIDLIGERE STABILITETSANALYSER
- BEREGNEDE PROFILER I FORPROSJEKTET
- BEREGNES I HOVEDPROSJEKTET

(X.XX–Y.YY) X.XX–Y.YY
- X.XX–Y.YY → Sikkerhet. eff. spenn. analyse.
- (X.XX–Y.YY) → Sikkerhet totalspenn. analyse.

DELOMRÅDE 1: Duedalen–Lillegårdsbakken
DELOMRÅDE 2: Bakklandet–Nedre Singsaker nord
DELOMRÅDE 3: Bakklandet–Nedre Singsaker sør
DELOMRÅDE 4: Gløshaugen vest–Hesthagen
DELOMRÅDE 5: Gløshaugen øst–Høgskoledalen
DELOMRÅDE 6: Tidemandsgate
DELOMRÅDE 7: Prestegårdsjordet

KOORDINATSYSTEM: EUREF 89 SONE 32V
KARTGRUNNLAG: DIGITALT FRA TRONDHEIM KOMMUNE, NN2000

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.

Trondheim kommune
Gløshaugen–Bakklandet
Kvikkleireutredning forprosjekt.

Oversikt over antatt skredutvikling langs forventet kritiske profiler med indikasjon av utløpsretninger.

Orginal format	A0
Fag	Geoteknikk
Tegningens filnavn	414871-4.dwg
Underlagets filnavn	Gløshaugen–Bakklandet.dwg
Målestokk	1: 2000

MULTICONSULT AS
7486 TRONDHEIM
Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
26.09.2011	JMP	ROLS	OAA

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
414871	4	–

Vedlegg A
Beregningsforutsetninger, stabilitet

Innholdsfortegnelse

A.1 Tolkning av beregningsparametere 1
A.1.1 Kvalitet av undersøkelser 1
A.1.2 Tyngdetetthet 1
A.1.3 Grunnvannsnivå og poretrykksfordeling med dybden 2
A.1.4 Tidligere overlagring 2
A.1.5 Effektivspenningsparametere 2
A.1.6 Udrenert skjærfasthet 2
A.1.7 Anisotropi 3
A.2 Stabilitetsberegninger 3
A.2.1 Generelt 3
A.2.2 Beregningsverktøy 4
A.2.3 Laster 4
A.2.4 Terreng 4

A.1 Tolkning av beregningsparametere

Tolkning av parametere er gjort på basis av utførte laboratorieundersøkelser på opptatte 75/54 mm prøveserier og utførte CPTU-sonderinger. Det er også benyttet erfaringsverdier iht. Statens vegvesen Håndbok V220.

A.1.1 Kvalitet av undersøkelser

Prøvetaking av sensitiv eller kvikkleire med 75 mm og 54 mm sylinderprøver vurderes i hovedsak å ligge i Kvalitetsklasse ”God til brukbar” (NGF melding nr. 11).

Utførte CPTU-sonderinger klassifiseres i anvendelsesklasser (1 til 4) for spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk. CPTU-sonderinger utført av Multiconsult er i anvendelsesklasse 1 for alle parameterne, og poretrykksresponsen ved CPTU-sonderingene vurderes generelt å være god.

Enkelte av sonderingene har helningsavvik større enn 5°. Helningsavviket vurderes å ha liten betydning for tolkning av selve forsøksresultatene, men vil ha noe betydning for nøyaktighet av angitt dybde, spesielt ved store dybder.

A.1.2 Tyngdetetthet

Målt tyngdetetthet på opptatte prøver, både fra nye og tidligere grunnundersøkelser, er benyttet som grunnlag. Ved store variasjoner i målte verdier er gjennomsnittlige verdier benyttet. For materialer som det ikke er målt tyngdetetthet på er det benyttet erfaringsverdier iht. Statens vegvesens Håndbok V220. Se tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.2 t.o.m. -301.4 for geotekniske data som er benyttet i beregningene.

A.1.3 Grunnvannsnivå og poretrykksfordeling med dybden

Det er satt ned poretrykksmålere i BP. 1. Fullstendige måleresultater er presentert i tegning nr. 417895-RIG-TEG-300.1.

Målingene på fengselstomta indikerer grunnvannstand ca. 13 -14 m under terreng og en noe underhydrostatisk fordeling med dybden. I beregningen for profil 1 (fengselstomta) er det lagt inn hydrostatisk poretrykksfordeling med dybden basert på antatt utvikling av grunnvannsnivå mot Nidelva. Grunnvannsprofilet er også styrt inn mot målinger rapportert i Rapport fra Trondheim kommune R.0366 «Klostergata» 20. datert 1975.

For profil 2 (trekanttomta) er poretrykkprofiler vurdert i lys av poretrykksmålinger rapportert i Kummeneje rapport o.0185 «Schives gate-Nidelven» datert 1964. Grunnvannstand er lagt rundt 7 m under terreng med hydrostatisk fordeling i dybden.

A.1.4 Tidligere overlagring

Tidligere overlagring og forkonsolideringsforhold et tolket med utgangspunkt i utførte ødometerforsøk (tegning nr. 417895-RIG-TEG-075 og -076 i rapport 418290-RIG-RAP-001) og tolkning av CPTU-sonderinger (tegning nr. 417895-RIG-TEG-040.7/8 til -042.7/8).

På fengselstomta tolkes resultatene i retning av et normalkonsolidert sediment. Nede ved Nidelva i borpunkt 2 er det over-konsoliderte forhold, antatt tilsvarende tidligere kotehøyde på nivå med fengselstomta.

På trekanttomta er grunnen svakt overkonsolidert. Dette kan komme av et terreng som tidligere har hatt et høyere kotenivå inn mot Gløshaugenplatået.

A.1.5 Effektivspenningsparametere

Effektivspenningsparametere for sand, silt og fyllmasser er basert på erfaringsverdier iht. Statens vegvesen Håndbok V220, samt erfaringer fra lignende grunnforhold.

Effektivspenningsparametere for leirlagene er basert på utførte treaksialforsøk (tegning nr. 418290-RIG-TEG-90 til 93 i rapport 418290-RIG-RAP-001). Tolkningen er lagt på en bruddtøyning tilsvarende ca. 1% aksial tøyning. Attraksjonen er noe konservativt lagt til 15 kPa. Utførte treaksialforsøk åpner for å ha høyere attraksjon.

Benyttede parametere er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-300.2 t.o.m. -301.4.

A.1.6 Udrenert skjærfasthet

c_u fra enaks og konus

Verdier for c_u fra rutineundersøkelser på opptatte prøver (enaks og konus) er inkludert i vurderingen av opptredende udrenert skjærfasthet, men ikke tillagt særlig vekt. I tegninger med tolket udrenert skjærfasthet fra CPTU er rutinedata inkludert. Disse dataene er inkludert uten noen form for omregning.

c_{uA} fra CPTU-sonderinger

For bestemmelse av udrenert skjærfasthet er CPTU-sonderingene korrelert iht. empirisk baserte tolkningsfaktorer etter Karlsrud m. fl., se ref. /11/ og /12/. For finkornige masser med relativt homogene forhold betraktes tolkning av CPTU på poretrykksbasis som den mest egnede metoden. Dette forutsetter at poretrykksresponsen er stor nok til å gi brudd (B_q > 0.5 -0.6). Bq-verdier for CPTU-sonderingene er vist i tegning nr. 418290-RIG-TEG-040.3 til -042.3 i datarapport nr. 418290-RIG-RAP-001 /1/.

For å støtte tolkning av udrenert skjærfasthet er det utført en SHANSEP-analyse. Det er benyttet α=0,35 og m=0,75 med en tidligere overkonsolidering tilsvarende profil som vist i tegninger med tolket OCR. I SHANSEP-analysen er det benyttet samme grunnvannstand og in-situ vertikal effektivspenning som ved tolkning av CPTU-sonderingene.

Tolkning av designlinje for udrenert skjærfasthet er utført ved å samkjøre tolkning av udrenert skjærfasthet fra CPTU-korrelasjoner og tolkning av prekonsolideringsspenning gjennom en SHANSEP-analyse. Udrenert skjærfasthet er kun tolket og benyttet i det som antas å være leirlag. Det som er tolket som leirlag i profil 1 og 2 (tegning nr. 418290-RIG-TEG-300 og 301), fremstår fra CPTU-sonderingene som svært lagdelte, med innslag av silt og sand-lag. Det vurderes likevel at leirinnhold og mektighet er så stor at en bruddrespons vil være udrenert i gjennomsnittlig forstand i jordvolumet. Det er derfor benyttet udrenert skjærfasthet for å beskrive jordens skjærfasthet i udrenert tilstand. I lag som vurderes å være dominert av sand og silt er det benyttet drenert respons i stabilitetsberegninger.

I borpunkt 1 fremstår valg av SHANSEP-parametere på 0,35 og 0,75 som noe høyd. I denne lokasjonen er profil for udrenert skjærfasthet styrt inn mot en NC-linje. I borpunkt 2 og 3 er tolkningen i større grad styrt inn mot SHANSEP-tolkningen.

Aktiv udrenert skjærfasthet er redusert med 15 % iht. NVE veileder 7-2014 /6/ i lag som antas å være sprøbruddmateriale. Reduksjon er gjort gjennom reduksjon av aktiv koeffisient i GeoSuite. Tolkede fasthetsprofiler er vist i tegning nr. 040.5 til -042.5.

Fasthetsprofiler er interpolert mellom utførte CPTU-sonderinger med utgangspunkt i tilgjengelige enkle grunnundersøkelser. I denne vurderingen er det inkludert betraktninger som tar høyde for variasjoner i topografiske forhold samt effekter knyttet til tidligere overlagring og erosjon. Benyttede fasthetsprofiler er vist i tegninger fra stabilitetsberegningene: tegning nr. 418290-RIG-TEG-300 til -301.

A.1.7 Anisotropi

Parallelle aktive og passive treaksialforsøk i borpunkt 3 indikerer et passiv/aktiv-forhold på ca 0,43. Dette er kun en måling fra ett punkt, og noe høyt sammenlignet med erfaringsdata /13/. Men verdien gir grunn for å sette et anisotropiforhold som er noe høyere enn den generelle anbefalingen som er gitt i NIFS-rapport nr. 14/2014 /13/. I beregningene er følgende anisotropiforhold benyttet.

Leire:

$$\frac{c_{uD}}{c_{uA}} = 0{,}68$$

$$\frac{c_{uP}}{c_{uA}} = 0{,}38$$

A.2 Stabilitetsberegninger

A.2.1 Generelt

I denne fasen er det utført beregninger for to utvalgte profiler. Disse profilene er antatt å være mest kritiske på bakgrunn av grunnforhold og topografi:

- Profil1 – Nidelva-Fengselstomta
- Profil 2 – Nidelva-Trekanttomta

Det er utført beregninger både ved effektiv- og totalspenningsbasis

A.2.2 Beregningsverktøy

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsprogrammet «GeoSuite Stability» versjon 15.2.1.0 med beregningsmetode Beast 2003. Beregningsmetoden er basert på grenselikevektsmetode, og anvender en versjon av lamellmetoden som tilfredsstiller både kraft- og momentlikevekt. Programmet søker selv etter kritisk sirkulærsylindrisk glideflate for definerte variasjonsområder av sirkelsentrum. Det er også søkt etter sammensatte skjærflater.

A.2.3 Laster

Ved stabilitetsberegningene er det benyttet en jevnt fordelt trafikklast på F_{rep}= 10 kPa på veger, med lastkoeffisient 1,3. Det er også inkludert en lastvirkning fra småhusbebyggelse.

A.2.4 Terreng

Tidligere terreng, før utfylling i Nidelva, er basert på kart fra /10/. Noe avvik mellom profil og faktiske forhold må påregnes, men beregningene vurderes å fange de viktigste forholdene.

For situasjonen før utfylling i Nidelva er profil for udrenert skjærfasthet i skråningsfot justert slik at beregnet materialfaktor blir lik 1,00 (dette involverte en økning i udrenert skjærfasthet på 5-10 kPa). Tidligere terreng er en kjent stabil situasjon og det er rimelig å anta at mateialfaktoren har vært minimum 1,0. Justering av fasthetsprofil for å oppnå dette vurderes å være en pragmatisk tilnærming som fanger de opptredende forhold tilfredsstillende. Det vurderes som teoretisk sett mer korrekt å sette en høyere anisotropifaktor (D/A) i området under skråningsfot da det antas at opptredende største hovedspenning står nært horisontalt i dette området. Belastning i horisontalretning tilsvarer da aktiv styrke, ikke direkte som legges til grunn i beregningene. Men siden anisotropifaktorene gjelder globalt, i hele beregningsvolumet, vil en tilnærming med justering av ADP-faktorer ikke være formålstjenlig i beregningene.

Vedlegg B
Avgrensing av løsneområde

Innholdsfortegnelse

B.1 Avgrensing av løsneområde 1

B.1 Avgrensing av løsneområde trekanttomta

Avgrensing av løsneområde for trekanttomta er gjort iht. NIFS rapport 14/2016 /8/ (Tabell B.1) med utgangspunkt i Profil 2. Evalueringene er utført iht. Tabell B.2 under.

Tabell B.1: Avgrensing av løsneområde

Indikator	**Vekttall**	**Skadekonsekvens, score**			
		3	2	1	0
b/D ved L1	1	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
b/D ved 3L1	2	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleirelomma	1	$x_1<L_1$	$x_1 \sim L_1$	$x_1>L_1$	0
Forhold ved skredporten	2	Stor elv eller dal	Bekkedal/ravine med bredde av samme størrelsesorden som skredporten	Flere hindringer og/eller veldig trang ravine	-
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5<L/H<10	L/H<5	-
s_u/YD	1	s_u/YD <10	0,1< s_u/YD< 0,25	s_u/YD>0,25	-
SUM	**-**	**24**	**16**	**8**	

Avgrensing av løsneområde er inndelt inn i tre klasser:

- Stor L/H=15: 16-24 poeng
- Middels L/H=10: 10-15 poeng
- Lav L/H=5: 5-9 poeng

Tabell B.2: Avgrensing av løsneområde trekanttomta

Indikator	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
b/D ved L1	1	2	2	Gitt av geometri (se tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.3)
b/D ved 3L1	2	1	2	Gitt av geometri (se tegning nr. 418290-RIG-TEG-301.3)
Avstand fra skråningsfot til kvikkleirelomma	1	3	3	Kvikkleire ved fot
Forhold ved skredporten	2	3	6	Nidelva
Tidligere skredhendelser	1	1	1	Historisk utglidning uten større retrogressiv utvikling.
s_u/ϒD	1	2	2	Gitt av materialdata
SUM			**16**	

For profil 2 fra Nidelva til trekanttomta bør det benyttes et løsneområde gitt av L/H på 15.

Vedlegg C
Risikoklassevurdering av løsneområde

Innholdsfortegnelse

C.1 Skadekonsekvensklasse 1
C.2 Faregradsklasse 3
C.3 Risikoklasse 5

C.1 Skadekonsekvensklasse

Tabell C.1 Grunnlag for evaluering av skadekonsekvensklasse

Faktorer	**Vekttall**	**Skadekonsekvens, score**			
		3	2	1	0
Boligenheter, 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	100-1001	<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 %**

Skadekonsekvensklassene er delt inn i tre klasser:

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

Tabell C.2 Skadekonsekvensevaluering av profil 1-1

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Boligenheter, antall	4	3	12	Tettbebyggelse
Næringsbygg, personer	3	3	9	Diverse industri og skoler
Annen bebyggelse, verdi	1	3	3	Diverse verneverdige bygg
Vei, ÅDT	2	2	4	Kommunale veier
Toglinje, baneprioritet	2	0	0	Ingen
Kraftnett	1	1	1	Distribusjonsnett
Oppdemning/flom	2	3	6	Hvis det skjer et stort skred vil Nidelva bli oppdemt
Poengverdi			**35**	**Gir skadekonsekvensklasse ”Meget alvorlig”**

C.2 Faregradsklasse

Tabell C.3 Grunnlag for evaluering av 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 Undertrykk, kPa	+3 -3	> + 30 > -50	10 – 30 - (20 – 50)	0 – 10 - (0 – 20)	Hydrostatisk
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 Forbedring	+3 -3	Stor Stor	Noe Noe	Liten Liten	Ingen
Sum poeng			**51**	**34**	**17**	**0**
% av maksimal poengsum			**100 %**	**67 %**	**33 %**	**0 %**

Faregradsklassene er inndelt i tre faresoner:

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

Tabell C.4 Faregradsevaluering av profil 1-1

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Tidl. skredaktivitet	1	3	3	Historiske skred i Bakklandet-område
Skråningshøyde	2	2	4	22 m
OCR	2	2	4	Noe overkonsolidert på bakgrunn av utførte ødometer- og trykkforsøk
Poretrykk	3/-3	0	0	Noe poreundertrykk under fengselstomta, men antas hydrostatisk for skråningen
Kvikkleiremektighet	2	1	2	Forholdsvis lite masser med sprøbruddegenskaper som vil bli involvert i en skredhendelse
Sensitivitet	1	3	3	St=43-280
Erosjon	3	3	9	Yttersvingen av Nidelva er plastret og «kai» forbygd i øvre del men det er ikke utført så mye plastring som anbefalt av rådgivende geotekniker av arkitektoniske hensyn. Opplodding av elvebunnen indikerer også at det pågår erosjon.
Inngrep	3/-3	1	-3	Motfylling som er lagt i foten av skråningen har bidrat til liten forbedring av stabiliteten
Poengverdi			**22**	**Gir faregradsklasse ”Middels”**

C.3 Risikoklasse

Risikoklasse for profil 1-1:

- Profil 1-1 klassifiseres i risikoklasse 5 (tallverdi 3345).

Notat

Oppdragsgiver: NTNU Campus-prosjektet
Oppdrag: Geotekniske utfordringer for KAM-tomta på Vollan

Sted: **Tr.heim** **Dato:** **13.01.2017**

Fra	Til	Info	Firma	v/	E-post
X			WSP Norge As	Anders Beitnes	
	X		NTNU Campusprosjektet	Merete Kvidal Nils Jørgen Moltubakk	
	X		Multiconsult AS	Konstantinos Kalomoiris, Sigbjørn Rønning, Anders Samstad Gylland	
	X		ÅF Reinertsen	Kai-Arne Riersen Chen Ying	
		X	NTNU geoteknikk	Arnfinn Emdal	
		X	SINTEF Byggforsk	Stein Christensen	
		X	Jetgrunn	Lars Hoksrud	
		X	Nordisk Fundamentering	Ketil Westeren, Magne Andersen	
		X	NVE	Stein Are Strand	
		X	WSP	Arnt Ove Okstad	

Faglig seminar om geotekniske løsninger

Bakgrunn og hensikt

NTNU Campus-prosjektet utreder en plassering av KAM-senteret mellom Høyskolebakken og Klostergata i Trondheim. Multiconsult har oppdrag med geotekniske undersøkelser, og de har funnet forhold som gjør dette utfordrende. ÅF Reinertsen utøver prosjektledelse for innledende undersøkelser og WSP bistår med prosjektstyring. I samråd med styringsgruppen i prosjektet har man bedt WSP v/undertegnede om å organisere en bred faglig vurdering av de utfordringer som Multiconsult har pekt på. Vi valgte å gjøre dette i form av et en-dags seminar med deltagelse fra flere geo-miljøer og entreprenører med spesialkompetanse.

Deltagere

Deltagerlisten fremgår av den ovenstående adressat-listen. Av disse valgte Merete Kvidal, Arnt Ove Okstad og Kai Arne Riersen kun å delta kun under innledningen. Anders Gylland måtte forlate samlingen etter innledende diskusjon, grunnet sykdom.

WSP Norge AS
Pb. 185 sentrum, 0102 Oslo
Besøk: Fred Olsens gt. 1
Telf: +47 23 24 45 50
Org nr.: 881 894 74
www.wspgroup.no

Hovedutfordring (fra Multiconsult)

- For fengselstomta må det påregnes behov for stabilisering av skråningen ned mot Nidelva og tiltak som skjermer mot et eventuelt skred på Bakklandet-Singsaker.
- For trekanttomta er forholdene noe bedre og det vurderes at en utbygging kan skje uten videre tiltak.
- Utfordringen med å stabilisere grunnen er av en slik art at det er aktuelt med FoU-arbeid for å tilpasse tilgjengelige metoder til oppgaven.

Det vanskeligste scenariet er knyttet til en mulig «klassisk» utglidning fra Klostergata ut mot Nidelva, der en pr i dag har kommet fram til en materialfaktor i forhold til likevekt på 1,05. Selve fengselstomta ligger bak den initielle glidesirkelen og er derfor truet av en progressiv utglidning bakover fra Klostergata, med tiltak under denne tomta vil ikke hjelpe mot den initielle utglidningen, som helst skal ha materialfaktor 1,4..

Gjennomføring av workshop'en

Etter en innledning fra bl.a. Merete Kvidal om hensikt og rammer, gikk Multiconsult gjennom resultater og vurderinger fra sin rapport 418290-RIG-RAP-002. Kravene som følger av regelverket omkring kvikkleire ble også belyst.
Etter en innledende diskusjon i plenum, ble forsamlingen enige om å se på alle mulige/ønskelige løsninger selv om de innebærer utfordringer mht. praktisk gjennomføring, så som flytting av bygninger, inngrep i elvesonen, begrensninger i tilkomst osv.
Fra ca kl. 10 og frem til lunsj ble det gjennomført to parallelle gruppearbeider:
Gruppe 1: Hva kan gjøres mht. terrengavlastning og evt. omdisponering av arealer/bygningsplassering? (deltakere: Moltubakk, Kalomoiris, Westeren, Strand, Emdal (delvis))
Gruppe 2: Hvilke metoder kan benyttes til grunnforsterkning, og hva mangler for å kunne bruke dem her? (deltakere: Rønning, Andersen, Hoksrud, Christensen, Ying, Beitnes, Emdal (delvis))

Resultater gruppe 1

Denne gruppen konsentrerte seg raskt om muligheter for å omforme terrenget mellom Klostergata og Nidelva, slik at totalstabiliteten kunne ivaretas, med eller uten en kombinasjon med grunnforsterkning i kvikkleiresonen. Et mulig grep vil være:

- Nedplanering av terreng og erstatte dette volumet med lett fylling
- Volum: ca 25.000 m3, dybde 2-3m
- Materiale: skumglass («Glasopor») x ca 500.- = 12,5 mnok
- Flytting av bygningene på 9 tomter, kan settes tilbake, eller erstattes av ny bebyggelse/terassehus med lavt grunntrykk.
- Evt. kan en se på muligheten for kun å grave ut rundt de eksisterende husene.

Noe karakteristke forhold ved denne løsningen:

- Gjennomføring kan foretas suksessivt,
- risiko: lokalt, ikke feltomfattende.
- Behov for spunt/avstivet gravskråning
- Evt. ny bebyggelse gjennomføres overkompensert og uten å forverre situasjonen ut over egen tomt
- Skråningstiltaket bør kunne gi minst 15% økning i sikkerhet.

For fengselstomta settes det slike krav:

- lokalt.4-6 etg.
- Bebyggelse krever 2 underetasjer lett (P-)kjeller med behov for lokal avstiving.
- Kravene kan endres hvis det skjer økt stabilisering av grunnmassene.

- Reduksjon av marktrykk ved nedplanering av tomt.
- Evt utvide bebyggelse på tvers av Klostergata og ut mot skråningen.

Tiltak på Statsbygg/Statsarkivet

- krever topografiske endringer. Alternativ med tilleggsfylling ved Vollafallet, på nedsida mot elva. 2-3m høyde. Vanskelig å oppnå tilfredsstillende sikkerhet med lokale tiltak langs Klostergata, pga. områdestabilitet, fare for at ras i Vollafallet vil ta med seg areal langs bebyggelsen.
- Omfang: 6.000 m3

Fundamenteringsløsninger:

2 u-etasjer uproblematisk mht masser. 10-12m ned til leirmasse. Ikke setningsproblematikk. Gjennomføringsproblematikk i byggefasen. Alternativ til kjeller er lette masser, også evt. dypere enn tilsv. 2 etasjer. Dersom bygget er tungt, kan det være aktuelt med lokal, dyp KC-stabilisering.

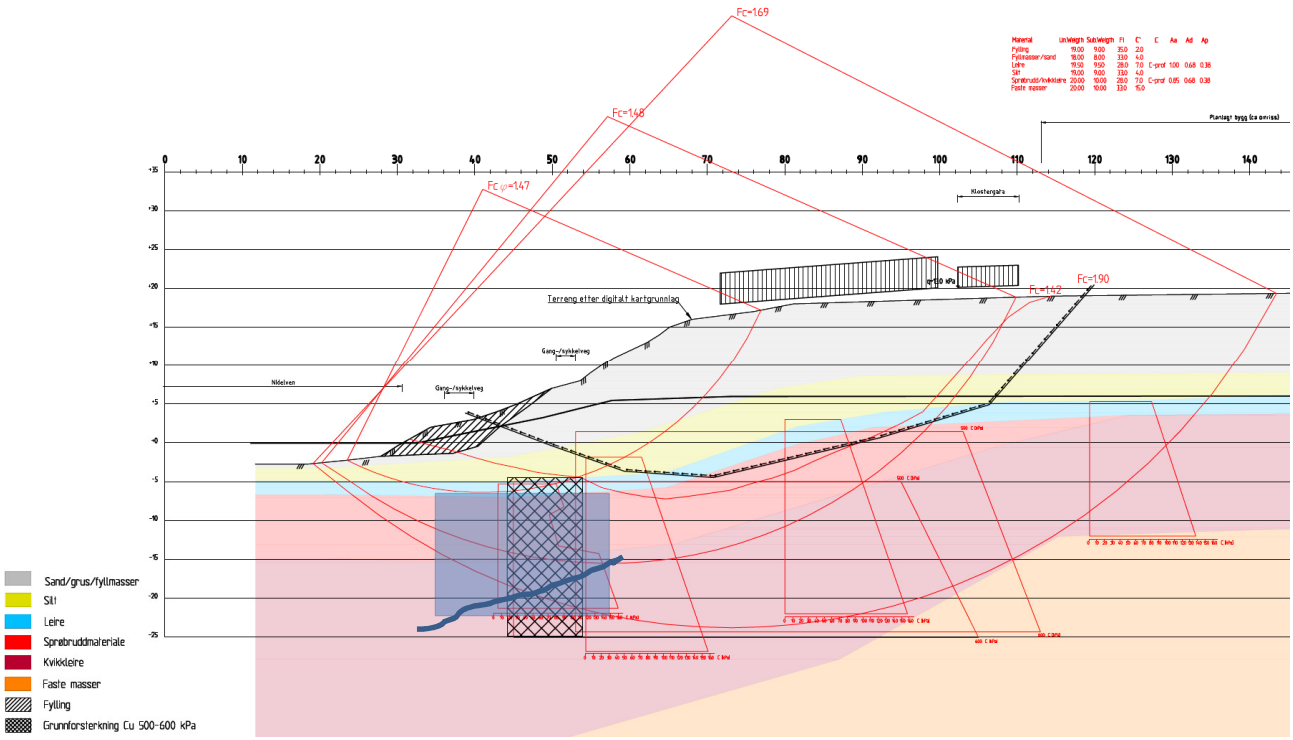
Behov for å gjennomgå erosjonssikring fra 60/70-tallet, langs Nidelva.

Største utfordringer

Flytting av bebyggelsen på nordsiden av Klostergata er helt klart et vanskelig tema. En rasjonell betraktning tilsier imidlertid at kostnadene med flytting og/eller erstatning av eksisterende bebyggelse klart kan kompenseres at økt tomteverdi og nye muligheter for utvikling i dette sentrale området.

Resultater gruppe 2

Gruppen tok som forutsetning at det må gjøres en grunnforsterkning i et volum som ligger i den nedre delen av bruddsonen for et initialskred mot Nidelva, men helst noe større volum og med mindre udrenert skjærstyrke enn det MC har foreslått med skrå-skravert felt:



Det blå volumet er antydet med dybde ca 15 m og lengde i rasretningen på 20 m. Gruppen ønsker primært en styrke på 150 - 300 kPa, for ikke å skape for stor forskjell i stivhet. Med en bredde slik som Multiconsult anbefaler på opp mot 150 m, får vi et volum 45 000 m3 som må behandles. Det tilsvarende arealet på overflaten er ikke bebygd og bør kunne behandles for å tåle tungt boreutstyr. En av utfordringene er at dybden på grunnforsterkningen til dels blir mer enn 25 m dyp. Dette setter uvanlige krav til tårnhøyden for boremaskinene. Denne dybden er vist med blå strek. Dette berøres nærmere under hver metode.

Gruppen kom frem til 3 ulike forsterkningsmetoder som alle har det til felles at økt styrke i stor nok andel av bruddflaten må gi en «sikkerhetsfaktor» på styrkesiden på 1,4. Disse metodene er listet i tabell nedenfor sammen med en 4. metode; nemlig saltbrønner i hele kvikkleireforekomsten, som egentlig ikke gir særlig økt udrenert skjærstyrke, men som etter en viss tid endrer materialets bruddkarakter slik at det ikke lenger er å betrakte som sprøbruddmateriale og derfor heller ikke lenger trenger å tilfredsstille de strenge kravene til materialfaktor som NVE's regelverk krever.

Metode	Oppnådd styrke kPa	Bor-mønster	Kostnad Kr/m3 ca	Utfordringer	Mulig FoU-tema	Potensial
KC-peler	150 - 500	c/c 0,6 m	300+ (wellpoint i starten)	Fast topplag, >25 m dybde, poretrykk	«caliper» røre-verktøy med teleskop	Mest relevante metode i kvikkleire hvis FoU lykkes
J2 jet-grouting	>1000	c/c 1,5 m	>1000	Mangler teknologi for lav fasthet	Spyle med sement + filler og øke hastighet	Meget interessant med billig filler som gir lavere styrke og kostnad
Sand-brønner	Gj.sn. 150	c/c 2 m	300 - 500	Stor diameter rørbor, må aksept. gj.sn. styrke i glissent mønster	Kan prøves i stor skala uten FoU	Kan bli effektivt og bedre over tid med salt i sandinnfyllingen
Salt-brønner	>100 (over tid)	c/c 2 – 4 m	?	Lang tid før det virker, svekker siltlagene effekten?	Bruk av strøm for økt ione-hastighet	Kanskje billigste metode og redusert krav til matr.faktor pga endret bruddkarakter

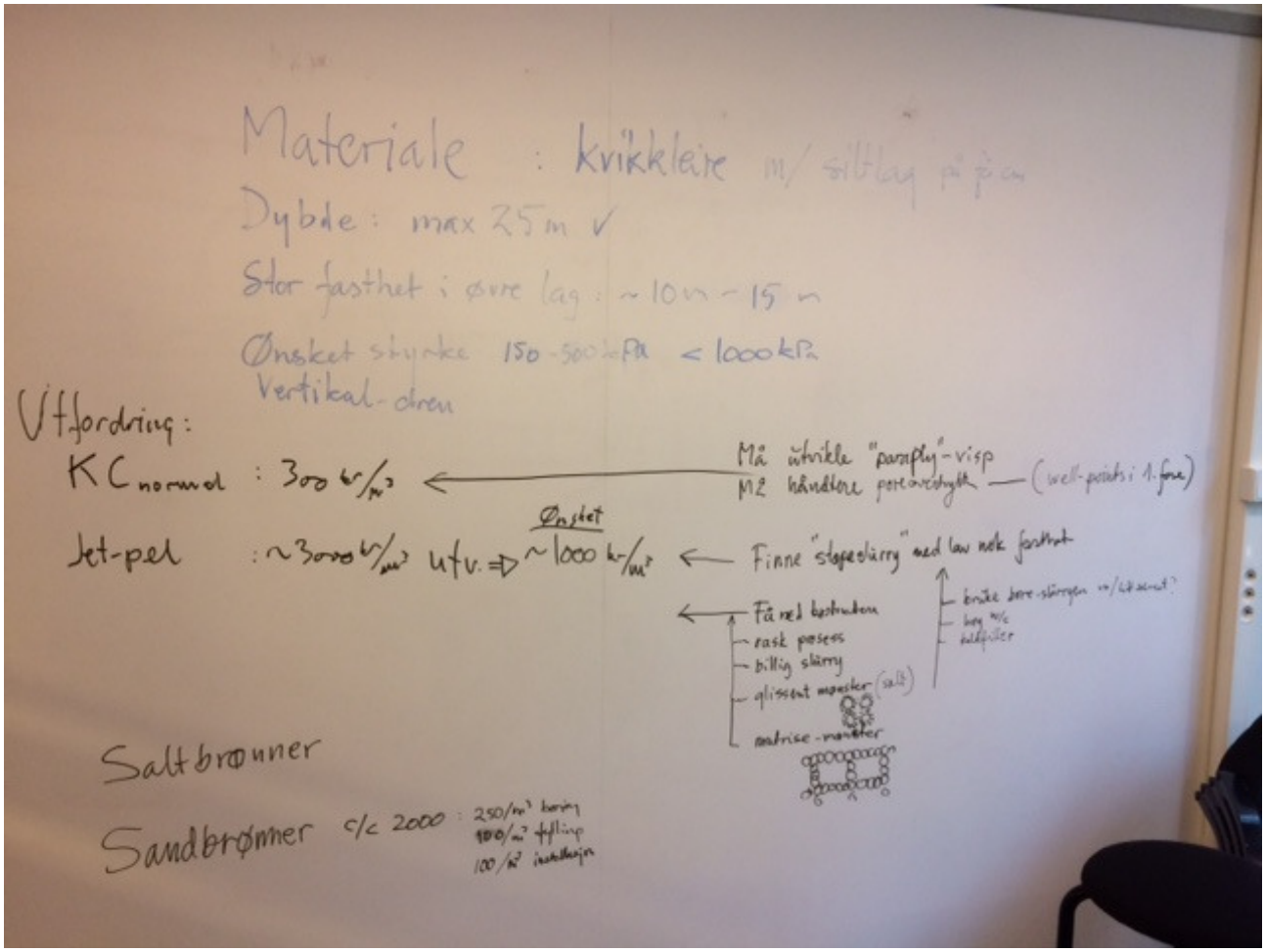
Gruppen konkluderer med at alle 4 metodene har interessante muligheter.
For KC-pelingen vil det være behov for en utvikling av mekanikk/verktøy. His man får opp en interessentgruppe fra entreprenør og utstyrsiden, bør ikke utfordringen være for stor. Lykkes man, vil anvendelsen av KC kunne økes betydelig
Jetgrunn er i ferd med å prøve ut økt opptrekkshasighet som vil gi lavere kostnad. Bruk av filler (fra stedlig leire eller kalkmjøl) må prøves i lab og utprøves i ulike feltsituasjoner.
For saltbrønner er det en dr.grad-studie i gang vad NTNU. Denne bør kobles inn på de reelle utfordringene i Vollan-området.
Sandbrønner kan beskrives og prøves ut i stor skala i et pilotprosjekt.

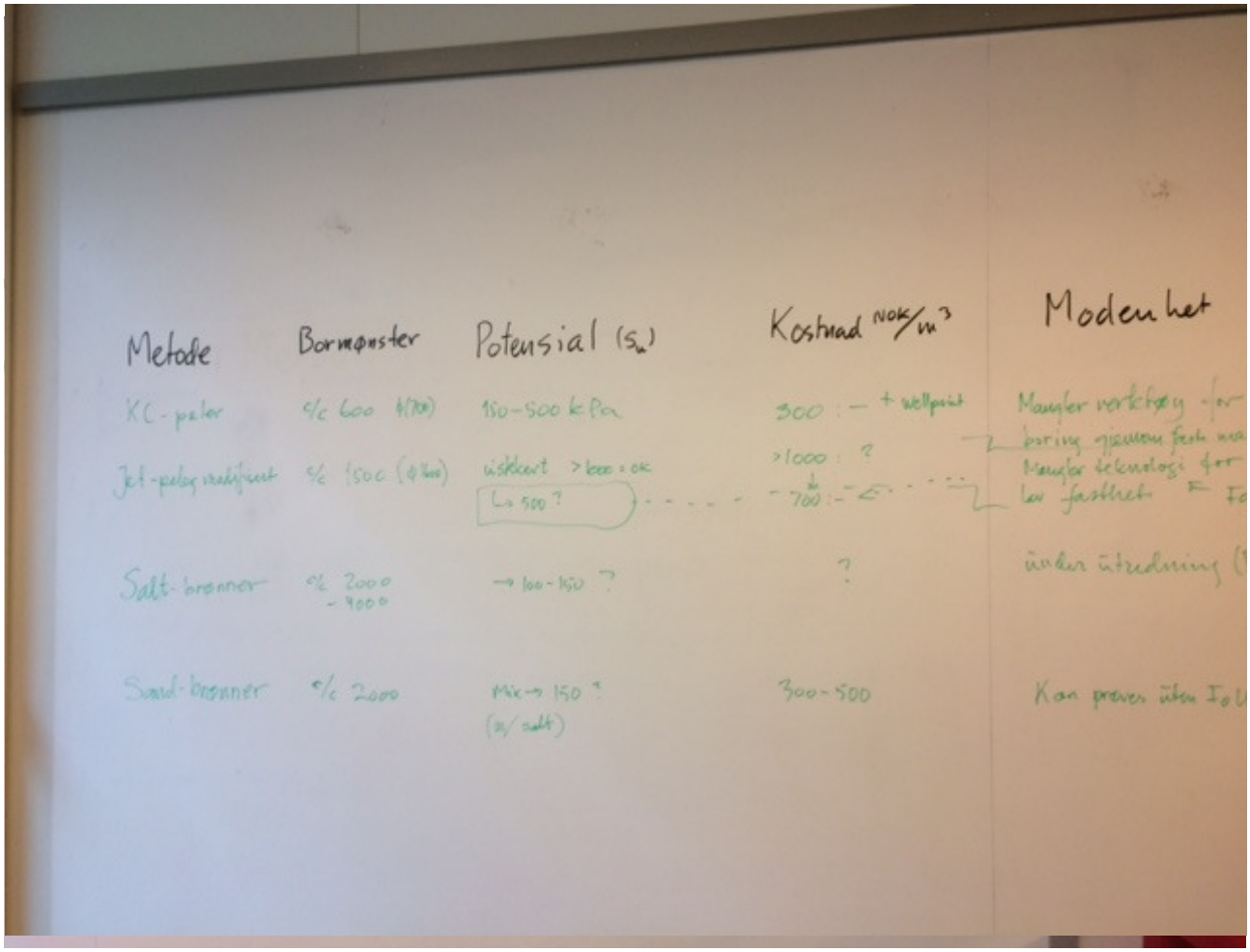
Konklusjon

Fagsamlingen har pekt på ulike grep og metoder som kan gi grunnlag for en sikker gjennomføring av bygging på tomtearealene mellom Klostergata og Høyskolebakken. To grep tilrås å planlegge/utrede videre:

- ➔ Dyp grunnforsterkning av et betydelig volum på 20 – 35 m dybde under foten av skråningen mellom Klostergata og elva med metoder som bør utredes videre og helst bør det gjøres en FoU-innsats for å komme fram til kostnadseffektive og praktisk gjennomførbare metoder-

- ➔ Ved å gripe inn i bebyggelsen på nordsiden av Klostergata kan terrenget senkes og enten fylles med lette masser eller bebygges med lette bygg.
- ➔ Fengselstomta bør planlegges bebygd men kompenserende utgraving og 2 – 3 etasjers P-kjeller.




Metode
Borrepunster
Potensial (su)
Kostnad NOK/m3
Modenhet
KC-pæler
c/c 600
150-500 kPa
300 : — + wellpoint
Jet-pelar
c/c 1500
>1000 : ?
700 :
Salt-brønner
c/c 2000
-4000
→ 100-150 ?
?
Sand-brønner
c/c 2000
Mix → 150 ?
(m/ salt)
300-500