

NOTAT

Oppdrag **1350032981 – Stiklestad, grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger**
Kunde **Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)**
Notat nr. **G-not-001-1350032981**

Dato 21.05.2019

Til **NVE v/Stein-Are Strand**

Rambøll
Kobbes gate 2
N-7042 Trondheim

Fra **Rambøll Norge AS v/Kathrine Buene Gangenes**
Kopi **NVE v/Vebjørn Opdahl**

T +47 73 84 10 00
www.ramboll.no

GEOTEKNISK VURDERING FOR ÅPNING AV BROSKITBEKKEN PÅ STIKLESTAD

1. Innledning/Bakgrunn

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) planlegger åpning av Broskitbekken som ligger i rør/kulvert gjennom deler av eiendom med gnr./bnr. 28/1 på Stiklestad, Verdal. Broskitbekken planlegges åpnet bl.a. for å tilrettelegge for fiskevandring. Åpning av bekken innebærer at må det graves i nedre del av en skråning som inngår i kvikkleiresone «559 Stiklestad». Sonen er registrert med lav faregrad.

Rambøll Norge AS bistår NVE mht. utførelse av et nødvendig omfang grunnundersøkelser som grunnlag for geotekniske stabilitetsberegninger i to profiler, samt geoteknisk vurdering mht. åpningen av bekken og/eller omlegging av bekk i kulvert.

Et utvalg av mottatte og benyttede avklaringer fra NVE er presentert i vedlegg 1 og 2.

Foreliggende notat gir en oppsummering av de geotekniske forhold som må tas hensyn til i det videre arbeidet med prosjektet.

2. Grunnforhold

2.1 Grunnundersøkelser

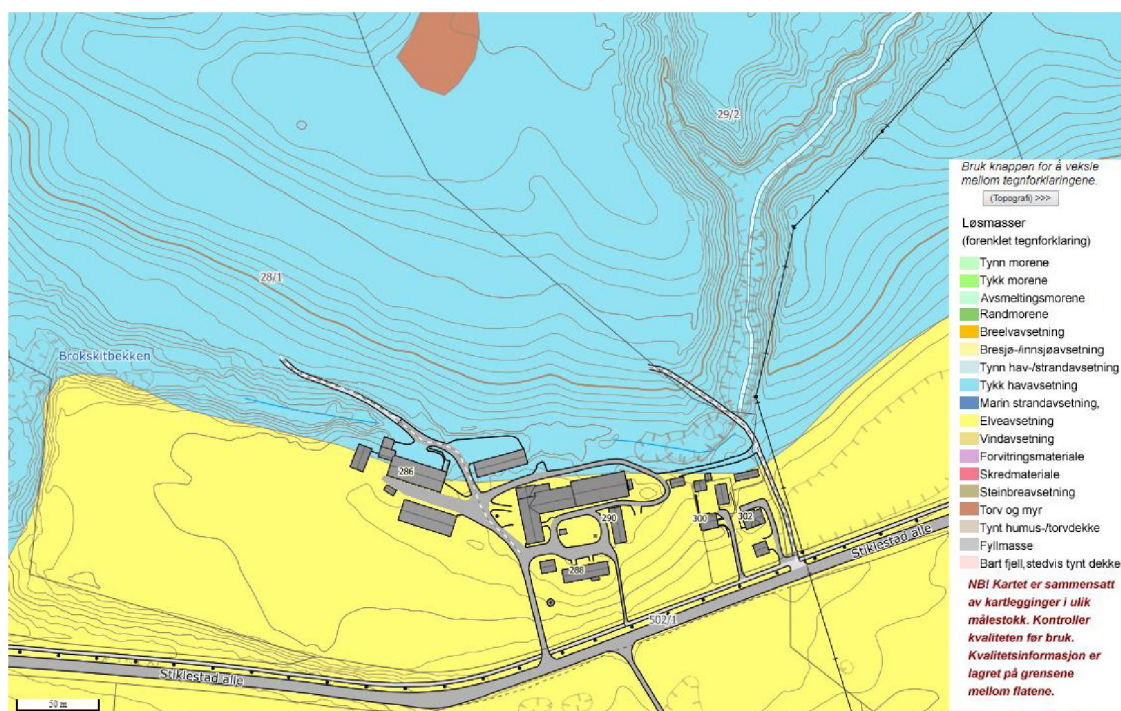
Rambøll Norge AS har ikke utført grunnundersøkelser på det aktuelle området tidligere. Noteby, nå Multiconsult ASA, har utført grunnundersøkelser langs Broskitbekken, mellom aktuelt område og Stiklestad skole, i løpet av våren 2001. Utførte grunnundersøkelser er oppsummert i mottatte geotekniske rapport 300526-1. Vi har også mottatt informasjon om og et utklipp av en utført dreietrykksondering fra høsten 1980 i kvikkleiresone «559 Stiklestad».

Som underlag for de nødvendige geotekniske vurderinger er det i uke 9/2019 utført en grunnundersøkelse bestående av totalt 8 dreietrykksonderinger, 2 trykksonderinger (CPTU) og 3 prøveserier, samt nedsetting av 2 elektriske poretrykksmålere i ett punkt. Resultater fra utførte felt- og laboratorieundersøkelser er presentert i geoteknisk datarapport G-rap-

001-1350032981 av 26.03.2019. Situasjonsplan vist på tegning 1001 viser en oversikt over Rambølls utførte grunnundersøkelser.

2.2 Løsmasser

Et utsnitt av kvartærgeologisk kart fra området er vist i figur 1. Dette viser at det er angitt tykk havavsetning i skråningene nord for gårdsbyggene på den aktuelle eiendommen. Den tykke havavsetningen følger skråning(en) videre mot øst og vest. I sør, ved gårdsbyggene, er det angitt en overgang til elveavsatt materiale. Nord for den aktuelle skråningen er det angitt en overgang til torv og myr.



Figur 1: Kvartærgeologisk kart over aktuelt område på Stiklestad (ngu.no)

I forbindelse med tidligere utførte grunnundersøkelser, ref. Notebys rapport 300526-1 «Brokskitbekken Stiklestad, Verdal - Forbygningsprosjekt», er det generelt funnet et topplag av tørrskorpeleire over leire og antatt kvikkleire til stor dybde langs Brokskitbekken i nord-østlig retning mot Stiklestad skole. Antatt kvikkleire ser ut til å ha en varierende mektighet på ca. 2 – 10 meter. Berg er ikke registrert i noen av borpunktene.

De utførte felt- og laboratorieundersøkelser indikerer et topplag på ca. 1 – 2 meter bestående av tørrskorpeleire. Stedvis er det under tørrskorpeleiret registrert en overgang til kvikkleire og leire med sprøbruddkarakter. Det er tydelig kvikkleire på den nordlige delen av undersøkelsesområdet, men laget av kvikkleire kiles tilsynelatende ut mot siltig leire i sørlig retning ned mot Brokskitbekken og gårdsbyggene her.

Alle sonderinger er avsluttet i løsmasser uten at berg er registrert.

2.3 **Grunnvann**

Det er utført målinger av poretrykk ved to elektriske poretrykksmålere i punkt 1. Målingene er utført i 12 og 5 meters dybde, og viser at grunnvannet ligger på ca. kt. +19,4 (antatt hydrostatisk med dybden), dvs. ca. 1,0 meter under terreng.

De siste målinger viser noe økning i poretrykket ved 5 meters dybde, mens poretrykket ved 12 meters dybde er konstant. Dette tyder på noe lavere trykk enn hydrostatisk mellom 5 og 12 meters dybde, som kan skyldes årstids- og nedbørsvariasjoner.

3. **Topografi, flom- og skredfare**

3.1 **Topografi**

Et utsnitt fra topografisk kart er vist i figur 2. Dagens terreng på det aktuelle området er generelt fallende i sørlig og sør-østlig retning, dvs. ned mot Brokskitbekken og gårdbyggene her. Terrengtet ligger på ca. kt. +34,1 til +34,3 oppe på plataået i nord, øverst i den aktuelle skråningen. Derfra faller terrenget med en gjennomsnittlig helning på ca. 1:11 ned mot ca. kt. +20,0 ved gårdbygningene i foten av skråningen. Terrengtet er videre forholdsvis flatt sør mot Fv. 757, Stiklestad alle, samt mot øst og vest.



Figur 2: Utklipp over aktuelt gårdsområde/skråninger på Stiklestad (norgeskart.no)

Topografien i området fremkommer for øvrig også av situasjonsplan vist i tegning 1001.

3.2 **Flom- og skredfare**

I henhold til TEK10 §7-1(1) skal byggverk plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger (flom og skred).

Aktuell skrånning ligger innenfor kvikkleiresone «559 Stiklestad» med registrert lav faregrad, og er iht. utførte grunnundersøkelser av uke 9/2019 preget av stor mektighet med kvikkleire.

Graving for åpning og omlegging av Brokskitbekken i skråningsfoten vil iht. NVEs veileder nr. 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleire» falle inn under tiltakskategori K2. For en situasjon med lav og middels faregrad kreves det stabilitetsanalyser som dokumenterer enten at *a*) sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller *b*) ingen forverring.

I følge NVE Atlas er den sørlige delen av aktuell skrånning og flere av gårdsbyggene sør for Brokskitbekken delvis innenfor aktsomhetsområde for flom fra bekken.

Foruten dette er eiendommen ikke utsatt for steinsprang, snøras eller annen flom- eller skredfare.

4. **Grunnlag for geoteknisk prosjektering**

4.1 **Myndighetskrav**

For geoteknisk prosjektering gjelder følgende standarder og retningslinjer:

- Plan- og bygningsloven inkl. TEK17 og SAK10
- NVE retningslinjer 7/2014
- NS-EN 1990-1:2002+NA:2016 (Eurokode 0)
- NS-EN 1997-1:2004+NA:2016 (Eurokode 7)
- NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014 (Eurokode 8)

4.2 **Geoteknisk kategori**

Eurokode 7 stiller krav til prosjektering ut fra tre geotekniske kategorier. Valg av kategori gjøres ut fra standardens punkt 2.1 «Krav til prosjekteringen». De planlagte arbeidene vurderes å falle inn under kategorien «konvensjonelle typer konstruksjoner og fundamenter uten unormale risikoer eller vanskelige grunn- og belastningsforhold». Krav til prosjektering er vurdert til å være iht. **geoteknisk kategori 2**.

4.3 **Pålitelighetsklasse (CC/RC)**

Eurokode 0 tabell NA.A1(901) gir veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler. Tabellen er delt inn i pålitelighetsklasser (CC/RC) fra 1 til 4. Prosjektet vurderes å falle inn under kategorien «Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i enkle og oversiktlige grunnforhold», hvor omkringliggende områder med kvikkleire tas med i vurderingen. Prosjektet plasseres derfor i **pålitelighetsklasse 2**.

4.4 **Prosjekterings- og utførelseskontroll iht. Eurokode 0**

Eurokode 0 stiller krav til graden av prosjekterings- og utførelseskontroll (kontrollklasse)

hver for seg, avhengig av pålitelighetsklasse.

Iht. tabell NA.A1 (902) og NA.A1 (903) i Eurokode 0 settes prosjekteringskontroll og utførelseskontroll av geotekniske arbeider til kontrollklasse **PKK2/UKK2**.

4.5 Tiltaksklasse i henhold til SAK10 og krav om uavhengig kontroll

I henhold til tabell 2 «Kriterier for tiltaksklasseplassering for prosjektering» i «Veiledning om byggesak» (SAK10 § 9–4), vurderes gravearbeidene å kunne plasseres i **tiltaksklasse 2**. Dette med bakgrunn i «Fundamentering for anlegg og konstruksjoner som iht. NS-EN 1990 + NA plasseres i pålitelighetsklasse 2».

For geoteknikk i tiltaksklasse 2 er det krav om uavhengig kontroll av prosjektering og utførelse, i henhold til SAK10 §14–2 punkt c.

4.6 Grunntype og seismisk klasse

Konstruksjoner klassifiseres i fire seismiske klasser avhengig av konsekvensene av sammenbrudd for menneskeliv, av deres betydning for offentlig sikkerhet og beskyttelse av befolkningen umiddelbart etter et jordskjelv, og av de sosiale og økonomiske konsekvensene av sammenbrudd. De seismiske klassene bestemmes iht. Eurokode 8, del 1, pkt. 4.2.5 og etter tabell NA.4(902) i Nasjonalt tillegg NA.

Rørtrasé er ikke nevnt her, og det vurderes derfor at Eurokode 8 ikke er gjeldende for vurdering av områdestabilitet i dette tilfellet. Rørtraséer vurderes eventuelt å kunne plasseres i seismisk klasse I, hvilket tilsvarer bl.a. kulverter. Det kreves normalt ikke dimensjonering for jordskjelv for konstruksjoner i seismisk klasse I. Det vurderes derfor ikke nødvendig å inkludere seismiske laster ved vurdering av områdestabilitet.

4.7 Miljøaspekter

Rambøll Norge AS er ISO-sertifisert iht. NS-EN ISO 9001:2008 og NS-EN ISO 14001:2004 og søker i sine oppdrag å identifisere og imøtekomme miljøaspekter som er relevante for det enkelte oppdrag.

I dette oppdraget er følgende miljøaspekter vurdert i forbindelse med de geotekniske/geologiske prosjekteringsarbeider:

- Forurenset grunn

Tiltaket ligger ikke i et allerede registrert aktsomhetsområde for forurenset grunn. Dersom det underveis i arbeidene oppstår mistanke om forurensning i grunnen må miljøgeolog tilkalles og forureningsgrad kartlegges mht. å vurdere disponering av gravemassene.

- Kulturminner/-reservater

Forekomster av registrerte kulturminner/-reservater er sjekket i forbindelse med oppstart av grunnundersøkelsene. På det aktuelle planområdet er det flere registrerte kulturminneområder som er tatt hensyn til i løpet av planlegging og utførelse av grunnundersøkelser.

5. Geotekniske vurderinger

NVE planlegger åpning av den delen av Brokskitbekken som ligger i rør/kulvert på Stiklestad, Verdal. Brokskitbekken ønskes åpnet for å tilrettelegge for fiskevandring. Åpning av bekken innebærer at må det graves i nedre del av en skråning som inngår i kvikkleiresone «559 Stiklestad» med registrert lav faregrad. Opprinnelig skissert bekketrasé er inkludert i situasjonsplan, ref. tegning 1001.

I henhold til de siste mottatte e-poster og avklaringer, samt avholdte møter med NVE, planlegges Brokskitbekken åpen mellom ca. pel 15 til ca. pel 140, ref. vedlegg 2 og tegning 1001. Mellom ca. profil 0 – 15 og ca. profil 140 – 238 skal dagens rør/kulverter byttes ut med betongrør av typen DN 1400mm. Bekken er i dag åpen mellom ca. pel 15 til ca. pel 73.

5.1 Grunnlag for stabilitetsberegninger

Det er tatt ut to profiler, som vurderes som representative/kritiske for kvikkleiresonen. Begge profilene er lagt fra høyeste terrengpunkt i skråningen i nord og nedover skråningen mot gårdsbyggene i sør. Profilenes beliggenhet er vist på situasjonsplan, ref. tegning 1001.

Det er med bakgrunn i de utførte grunnundersøkelser tolket et ca. 1 – 2 meter tykt lag av tørrskorpeleire over hele området. Derunder er det tolket et lag med kvikkleire/sprøbruddmateriale med stor mektighet som kiles ut i sørlig retning mot gårdsbyggene. Under og sør for laget med kvikk og sensitiv leire er det tolket middels fast til fast siltig leire. Se for øvrig terrengprofil vist i tegning 1002 – 1005 samt tabell 2 under mht. laginndeling og valg av bl.a. tyngdetetthet for massene.

5.1.1 Grunnvannstand og poretrykkforhold

Grunnvannslinje er tolket ut fra målinger fra nedsatte poretrykksmålere i punkt 1 i bunn av skråningen. Målingene er utført i 12 og 5 meters dybde, og viser at grunnvannet ligger på ca. kt. +19,4 (antatt hydrostatisk med dybden), dvs. 1,0 meter under terreng. Benyttet grunnvannslinje er vist i beregningsprofilene, ref. tegning 1002 – 1005.

De siste utførte målinger viser noe økning i poretrykket ved 5 meters dybde, mens poretrykket ved 12 meters dybde er konstant. Dette tyder på noe lavere trykk enn hydrostatisk mellom 5 og 12 meters dybde, og at grunnvannstand kan ligge nærmere terrengoverflata. Dette vurderes å ikke ha spesiell betydning for beregningene utført for dagens situasjon, men kan derimot ha utslag for lokalstabiliteten i beregningene utført for gravesituasjon og ferdig situasjon. Så fremt åpning av bekk og graving av ny rørtrasé/ kulvert følger angitte anbefalinger for utførelse beskrevet i 5.2 og 6 anser vi eventuelle variasjoner i poretrykk som hensyntatt.

5.1.2 Udrenert skjærfasthet

For totalspenningsanalysene er udrenert skjærfasthet valgt på grunnlag av utførte trykksonderinger (CPTU) i punkt 1 og 3, samt undersøkelser fra laboratoriet. Tolkning av utførte CPTU-sonderinger er vist i tegning 1006 og 1007, hvor benyttet skjærfasthet er vist som designlinje.

Det er benyttet anisotropifaktorer (ADP-faktorer) for kohesjonsjordarter iht. tabell 1 i NVEs veileder nr. 14/2014 «En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i

norske leirer», samt 15% reduksjon av aktiv skjærfasthet for kvikkleire iht. NVEs veileder nr. 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred».

Utgangspunktet for beregningene er udrenert aktiv skjærfasthet c_{uA} . Skjærfasthet fra konus og enaksialforsøk vurdert å være direkteverdier, og er lagt inn i tolkningsprofil for CPTU som aktiv skjærfasthet med ADP-forhold $c_{uA} = c_{uD}/0,63$. Benyttede fasthetsprofiler (c-profiler) og ADP-forhold for totalspenningsanalysene er vist i beregningsprofilene, ref. tegning 1002 – 1005. Benyttede ADP-forhold er også listet mht. lagdeling i tabell 2.

Det er benyttet SHANSEP-normalisering fra CPTU i punkt 3 sammen med prøveserier i punkt 5 for C-profil nær midten av skråningen.

5.1.3 Effektivspenningsparametere

For effektivspenningsanalysene er det benyttet tolkede verdier fra utførte treaksialforsøk. Tolkede treaksialforsøk er vist i tegning 1008, og benyttede verdier for attraksjon og friksjonsvinkel er vist i beregningsprofilene, ref. tegning 1002 – 1005, samt presentert i tabell 2 under.

Tabell 2: Materialparametere for stabilitetsberegninger etter lagdeling i profil A og B.

Løsmasstype	γ [kN/m ³]	a [kPa]	ϕ [°]	c_{uA} [kPa]	A-verdi [-]	D-verdi [-]	P-verdi [-]
Tørrskorpeleire	20	0	30	-	-	-	-
Leire	19,3	10	26	c-profil	1,00	0,63	0,35
Kvikkleire	19,3	0	24	c-profil	0,85	0,63	0,35
Leire	19,3	5	26	c-profil	1,00	0,63	0,35

5.2 **Stabilitetsvurderinger**

Det er utført stabilitetsberegninger på effektiv- og totalspenningsbasis i programmet Geo-Suite Stability for 2 terrengprofiler, ref. tegning 1001 – 1005. Det er beregnet sirkulære glideflater i begge snittene, og fokusert på sikkerhet mot mulige initialscred. Det er også utført beregninger for plane glideflater som er vist med piler på tegning 1002 – 1005, presentert med svart farge for begge analysemetoder.

Det er utført beregninger for dagens situasjon på effektiv- og totalspenningsbasis (hhv. lang- og korttidssituasjon) i begge profil. Beregningsprofil for dagens situasjon er presentert i tegning 1002 og 1003 for henholdsvis profil A og B. Det er i tillegg utført beregninger for gravesituasjon for legging av ny rørtrasé/kulvert i profil A, vist i tegning 1004, og for ferdig situasjon med åpnet bekketrassé i profil B, vist i tegning 1005.

5.2.1 Profil A

Beregninger for stabilitet i dagens situasjon i profil A viser tilstrekkelig sikkerhet på effektivspenningsbasis, med beregnet sikkerhetsfaktor $F = 2,04$ for mest ugunstige skjærflate. Beregningene viser en lavere stabilitet på totalspenningsbasis, hvor sikkerhetsfaktor $F = 1,33$ er funnet for mest ugunstige skjærflate.

I profil A er det utført stabilitetsberegninger for utgraving av ny rørtrasé/kulvert, vist i tegning 1004, iht. mottatte avklaringer 07 og 07b, ref. vedlegg 1 og 2. Beregningsprofilen krysser senterlinje bekketrasé ved ca. pel 185, hvor dagens terreng er funnet å være ca. kt. +18,16. Iht. avklaring 07b kreves det 0,5m overdekning over et DN 1400 betongrør, samt at ytre diameter for røret er 1,712 m. Det er i tillegg lagt inn utgraving for et 0,3 meter tykt avrettingslag under røret slik at traubunn for utgravingen blir ca. kt. +15,65. Det er benyttet en bredde lik 1,5 meter i traubunn, og graveskråninger med helning 1:1,5. For gravesituasjonen er det benyttet sideeffekt i stabilitetsberegningene og det er forutsatt seksjonsvis utgraving med 5 meter lange seksjoner.

Utførte beregninger for gravesituasjon i profil A, inkl. bruk av sideeffekt for 5 meters seksjonsvis utgraving, viser tilfredsstillende områdestabilitet. Prinsipp om ingen forverring iht. NVEs retningslinjer, ref. kapittel 3.2, er dermed ivaretatt. Lokalstabiliteten er tilfredsstillende på både effektiv- og totalspenningsbasis så fremt det ikke graves dypere enn angitt, og at all graving utføres seksjonsvis med lengde på maksimalt 5 meter. Det er viktig at utgravde masser legges et stykke unna utgraving langs traséens retning, slik at lokalstabiliteten ikke forverres. Seksjonene skal ikke stå åpne over lengre tid, dvs. at det må være tilbakefylt etter endt arbeidsdag.

Beregnete sikkerhetsfaktorer for mest ugunstige skjærflater på total- og effektivspenningsbasis er henholdsvis $F = 2,33$ og $F = 2,15$ for områdestabiliteten, og $F = 1,85$ og $F = 1,25$ for lokalstabiliteten. Se for øvrig også tabell 3 med skjematisk presentasjon av beregnede sikkerhetsfaktorer.

Det er ikke utført beregninger for ferdig situasjon i profil A ettersom situasjonen her vil være tilsvarende dagens situasjon. Ved eventuelt behov for å heve terrenget noe (som følge av behov for minimum 0,5 meter overdekning over nytt rør, samt liten helning på røret, ref. vedlegg 2), vil dette føre til en forbedring av stabiliteten i ferdig situasjon i forhold til dagens situasjon.

Det er i senere tid mottatt informasjon og skisse per e-post som viser at planlagt ny rørtrasé/kulvert vil bli trukket lenger sør og bort fra foten av skråningen. Dette vurderes å føre til en forbedring mht. både områdestabilitet og lokal stabilitet i gravesituasjon sett i sammenheng med de utførte beregninger vist i tegning 1004. Det er derimot viktig at fundamenter for eksisterende, nærliggende gårdsbygninger ikke undergraves når traséen iht. de siste mottatte planer er lagt nærmere inntil disse.

5.2.2 Profil B

Beregninger for dagens situasjon i profil B viser tilfredsstillende stabilitet på effektivspenningsbasis, hvor beregnet sikkerhetsfaktor er $F = 2,08$ for mest ugunstige skjærflate. Også i profil B viser beregningene lavere stabilitet på totalspenningsbasis, med sikkerhetsfaktor $F = 1,26$ for mest ugunstige skjærflate.

I profil B er det i tillegg utført stabilitetsberegninger for ferdig situasjon med åpningsbekkeløp. Beregningsprofilen er vist i tegning 1005, hvor utformingen av ferdig situasjon for åpningsbekk er basert på profil J i avklaring 07, ref. vedlegg 1, ettersom beregningsprofil B krysser planlagt senterlinje bekketrasé kun få meter unna profil J. Med dagens terreng på ca. kt.

+20,0 er bunn av ferdig etablert bekk målt til å ligge på ca. kt. +17,5. Det er i tillegg målt ca. 2,0 meters bredde i bunn av bekken, samt at skråningene planlegges lagt med helning 1:1,5. Presentert geometri er altså basert på ferdig situasjon, og inkluderer dermed nødvendig erosjonssikring, selv om det ikke er lagt inn materialparametere for erosjonssikringslag i beregningene.

Utførte beregninger for ferdig situasjon i profil B viser at det er behov for en motfylling i bunn av skråningen for at prinsipp om ingen forverring (iht. NVEs retningslinjer, ref. kapittel 3.2,) skal kunne opprettholdes mht. områdestabiliteten. Nødvendig motfyllingen, som vist i tegning 1005, er lagt med helning 1:1,5 til en høyde lik 2,5 meter over opprinnelig terreng. Motfyllinga har videre en slak stigning inn mot skråningen. Ettersom volum av motfyllingen er større enn volumet av utgravde masser for åpning av bekken anbefales det at det først utformes en trapesformet sjeté med tilførte kvalitetsmasser av sprengstein før utgravningen starter. Utgravde masser kan deretter legges på innsiden av sjetéen. Motfyllingen bør legges ut i området mellom ca. pel 70 til ca. pel 140, hvor bekken skal åpnes.

Med skissert løsning iht. beregningsprofil vist i tegning 1005 er lokalstabiliteten funnet tilfredsstillende på både effektiv- og totalspenningsbasis for ferdig situasjon.

Beregnete sikkerhetsfaktorer for mest ugunstige skjærflater på total- og effektivspenningsbasis er henholdsvis $F = 1,29$ og $F = 3,36$ for områdestabiliteten, og henholdsvis $F = 1,42$ og $F = 1,49$ for lokalstabiliteten. Se for øvrig også tabell 3 med skjematisk presentasjon av beregnede sikkerhetsfaktorer.

Mest ugunstige skjærflate (med $F = 1,29$) for ferdig situasjon har samme sikkerhetsfaktor for dagens situasjon. Øvrige sikkerhetsfaktorer er forbedret. På den måten opprettholdes prinsipp om ingen forverring iht. NVEs retningslinjer, ref. kapittel 3.2. Dette til tross for at Brokskitbekken tidligere har vært åpen. Det vil si at en forverring av stabiliteten for ferdig situasjon i forhold til dagens situasjon kan diskuteres, ettersom tiltaket med å lukke bekken i utgangspunktet var en forbedring fra opprinnelig åpen situasjon. Det er derimot vanskelig å vurdere planlagt ferdig situasjon opp mot den tidligere åpne situasjonen ettersom det foreligger for lite grunnlag for en slik vurdering.

Det er ikke utført beregninger for gravesituasjon i profil B ettersom det her kan benyttes kompensasjonsgraving (seksjonsvis utgraving med små bredder) ved graving for utlegging av erosjonssikring. Dette vurderes å gi tilstrekkelig sideeffekt for utgraving til erosjonssikringslag så fremt utførelse følger beskrivelser som angitt. Utgravde masser kan legges direkte bak nevnte sjeté, og bekken erosjonssikres (minimum 0,3 – 0,5 meter tykkelse) ved fortløpende seksjonsvis utgraving/kompensasjonsgraving. Det er viktig at avvik fra ferdig geometri er av minimal varighet. Seksjonene skal ikke stå åpne over lengre tid.

Tabell 3: Beregnede sikkerhetsfaktorer for mest ugunstige skjærflater for samtlige situasjoner.

Profil	Tegning	Situasjon	Analyse	Sikkerhetsfaktor områdestabilitet	Sikkerhetsfaktor lokalstabilitet
A	1002	dagens	effektivsp.	2,04	-
A	1002	dagens	totalsp.	1,33	-
B	1003	dagens	effektivsp.	2,08	-
B	1003	dagens	totalsp.	1,26	-
A	1004	gravesit.	effektivsp.	2,15	1,25
A	1004	gravesit.	totalsp.	2,33	1,85
B	1005	ferdig	effektivsp.	3,36	1,49
B	1005	ferdig	totalsp.	1,29	1,42

6. Oppsummering

Det er utført stabilitetsberegninger for skråning i sørlig del av kvikkleiresone «559 Stiklestad» med tanke på planlagt åpning og omlegging av Brokskitbekken i skråningsfoten. Utførte beregninger av områdestabilitet viser at sikkerheten er noe anstrengt for total-spenningsanalysene, men stort sett tilfredsstillende for effektivspenningsanalysene. Dokumentert sikkerhetsfaktor er over 1,0 for alle skjærflater, og det er iht. NVEs veileder nr. 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleire» krav om ingen forverring for utførelse av planlagte tiltak, ref. kapittel 3.2.

For den delen av bekken som planlegges åpnet, ca. pel 73 – 140 ref. vedlegg 2, må det utformes en permanent motfylling i foten av skråningen for å ikke få forverring av sikkerheten i ferdig situasjon. Beregningsmessig er det behov for en ca. 2,5 meter høy fylling med utforming som anbefalt i kapittel 5.2.2 og vist i beregningsnitt B, ref. tegning 1005. Bekken bør graves og erosjonssikres (ca. 0,3 – 0,5 meter tykkelse) ved seksjonsvis utførelse /kompensasjonsgraving fortløpende.

For de delene hvor bekken planlegges omlagt i ny kulvert/nytt rør av typen DN 1400, ca. pel 0 – 15 og ca. pel 140 – 238 ref. vedlegg 2, er det viktig at terrengnivået ikke senkes, slik at stabiliteten ikke blir forverret fra dagens situasjon. Omleggingen må utføres seksjonsvis med maksimal seksjonslengde på 5 meter, og gravemasser må legges tilstrekkelig langt unna utgravningen for ikke å forverre lokalstabiliteten. Siste mottatte e-post med planer om å legge rør/kulvert lenger sør og bort fra eksisterende bekketrasé vurderes å være mer gunstig enn beregnet tilfelle. Det er viktig at fundamenter på nærliggende gårdsbygg ikke undergraves.

7. Kontrollpunkter for utførelse

Følgende punkter må kontrolleres spesielt under utførelsen:

- Gravedybder skal ikke være dypere og seksjonslengder bør ikke være lengre enn angitt, både for permanent åpning og omlegging av bekk i kulvert.
- Seksjoner må ikke stå åpne over netter, helger eller øvrige fri- og helligdager.
- Midlertidig lagring av gravemasser for omlegging av bekk må være langt nok unna graveskråningene slik at lokalstabiliteten ikke forverres.
- Kvalitet av tilførte masser må være egnet for oppbygging av motfylling(/sjeté i motfylling).

- Fundamenter på gårdsbygg nær trasé for omlagt bekk må ikke undergraves.
- Grunnforhold som avviker vesentlig fra geoteknisk datarapport bør rapporteres og avklares fortløpende. Dette spesielt ved eventuell graving ned i kvikkleire.

Dokumentet er utarbeidet av:



Kathrine B. Gangenes

Sivilingeniør geoteknikk

Dokumentet er kontrollert av:



Øystein Dale

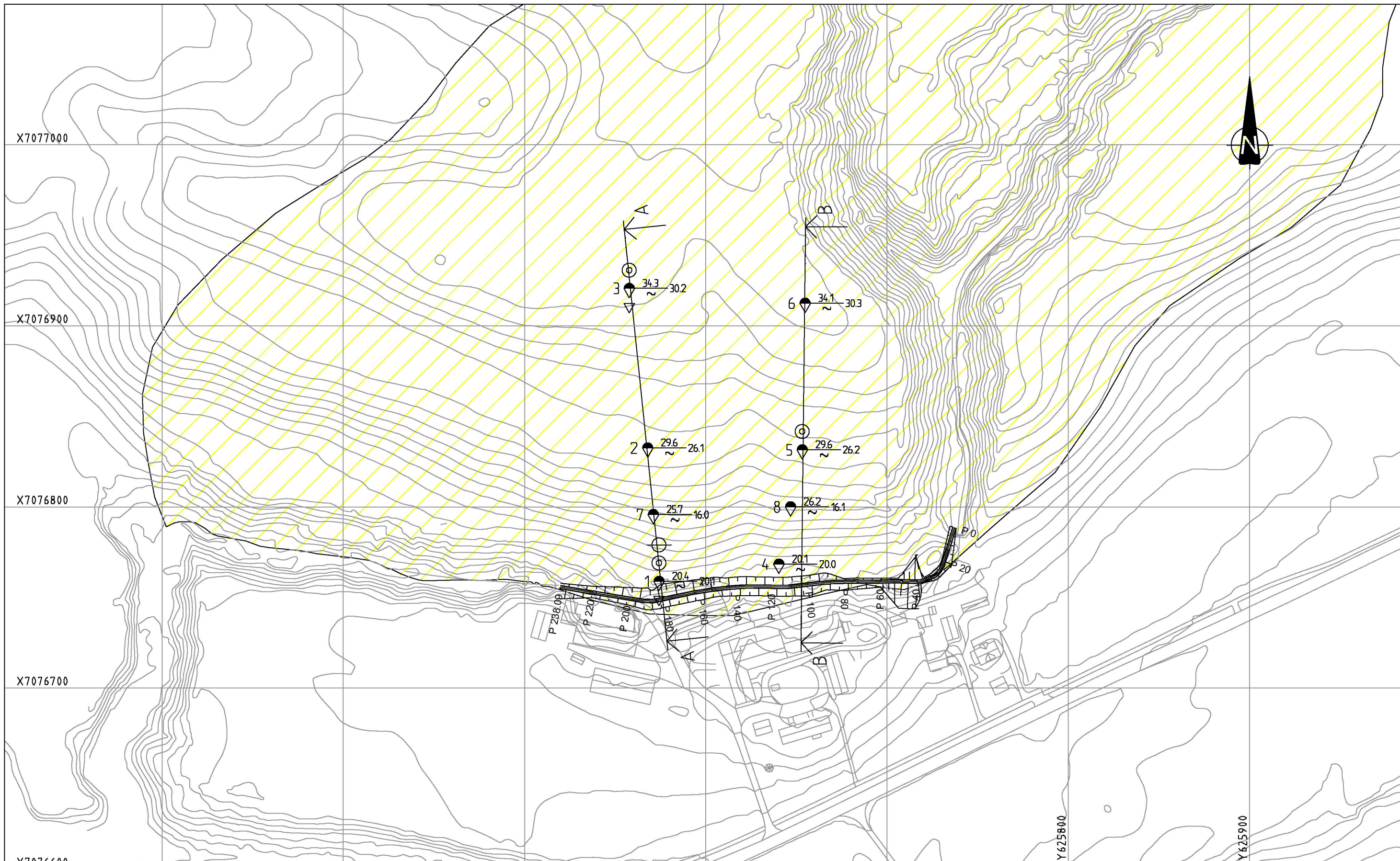
Sivilingeniør geoteknikk

Tegning:

- 1001 – Situasjonsplan, av Rambøll Norge AS
- 1002 – Beregningsprofil A – dagens situasjon
- 1003 – Beregningsprofil B – dagens situasjon
- 1004 – Beregningsprofil A – gravesituasjon
- 1005 – Beregningsprofil B – ferdig situasjon
- 1006 – Tolkning/presentasjon av CPTU – borpunkt 1
- 1007 – Tolkning/presentasjon av CPTU – borpunkt 3
- 1008 – Tolkning treaksialforsøk – borpunkt 5

Vedlegg:

- 1 – Avklaring 07 – Broskitbekken
- 2 – Avklaring 07b – Broskitbekken – kulvert



X7077000		X7076900		X7076800		X7076700		X7076600		Y625300		Y625400		Y625500		Y625600		Y625700		Y625800		Y625900	
----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--

FORKLARING - BORING			
Boring type (symbol)	⊕	⊙	⊗
Borpunkt nr.	4	⊕	⊙
	Terrengkote	Fjellkote	Boredybde i løsmasse + boring i fjell (m)

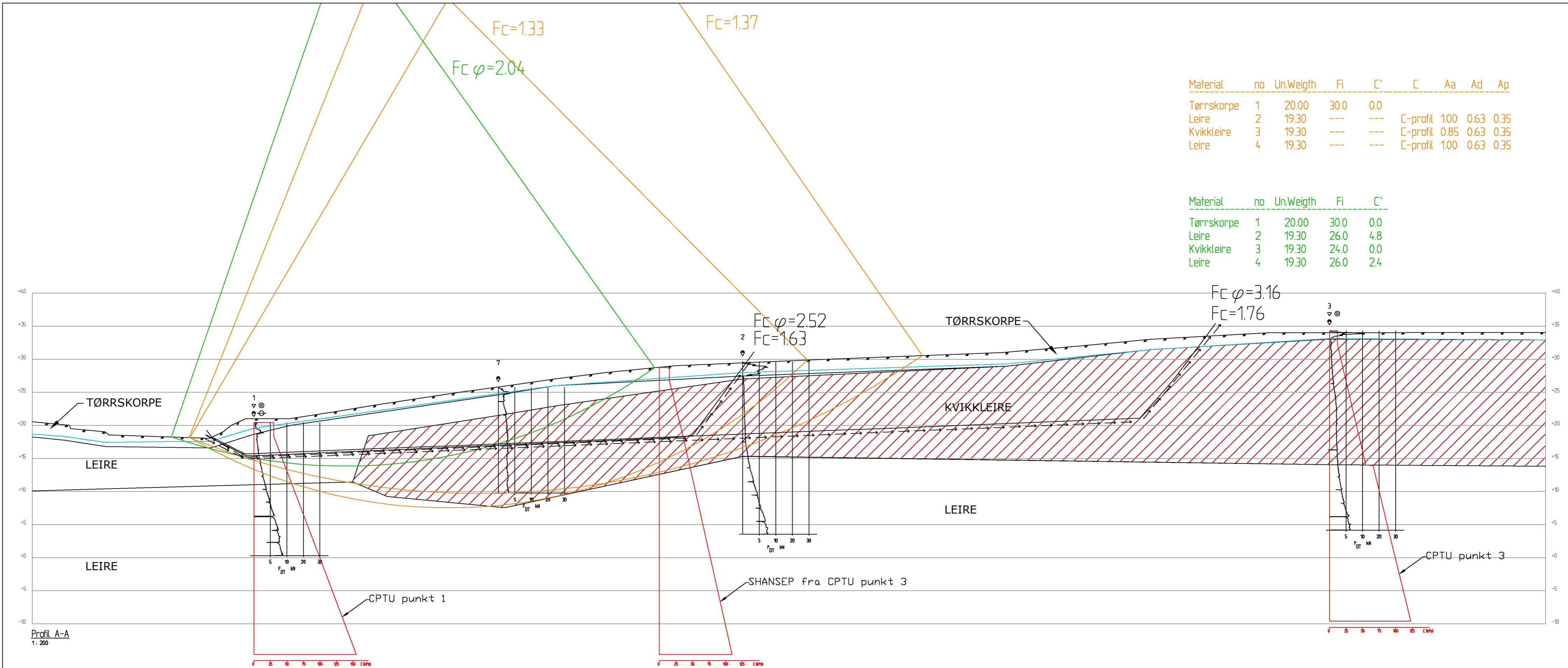
00	21.05.2019		KAGA	ODE	ODE
REV.	DATE	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS VURDERINGSNOTAT					

RAMBOLL
 Rambøll Norge AS
 P.b. 9420 Torgarden
 7493 Trondheim
 TLF: 73 84 10 00
 www.ramboll.no

OPPDRAG	Stiklestad, GU og stab.ber.
OPPDRAGSGIVER	NVE

INNHOOLD	SITUASJONSPLAN
⊕	Dreietrykksond.
⊙	Porettrykksmåler
∇	Trykksond. (CPTU)
⊗	Prøveserie
⊗	Kvikkleiresone "559 Stiklestad"

OPPDRAG NR.	MÅLESTOKK	BLAD NR.	AV
1350032981	1:2000 (A3)	01	01
TEGNING NR.		REV.	
1001		00	



Material	no	Un.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0				
Leire	2	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35
Kvikkleire	3	19.30	---	---	C-profil	0.85	0.63	0.35
Leire	4	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0
Leire	2	19.30	26.0	4.8
Kvikkleire	3	19.30	24.0	0.0
Leire	4	19.30	26.0	2.4

Profil A-A
1:200

00	21.05.2019		KAGA	ODE	ODE
REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS VURDERINGSNOTAT					

RAMBOLL
Ramboll Norge AS
P.b. 9420 Torgarden
7493 Trondheim
TLF: 73 84 10 00
www.ramboll.no

OPPDRAG
Stiklestad GU og stab.ber.
OPPDRAGSGIVER
NVE

INNHOLD
TERRENGPROFIL
Profil A
Total- og effektivspenning
Dagens situasjon

OPPDRAG NR. 1350032981	MÅLESTOKK 1:400	BLAD NR. 01	AV 01
TEGNING NR. 1002			REV. 00

Fc=1.26

Fc=1.29 [før og etter]
Fc=1.27

Mest ugunstige Fc for gravesituasjon er kontrollert for DS ["før og etter"]

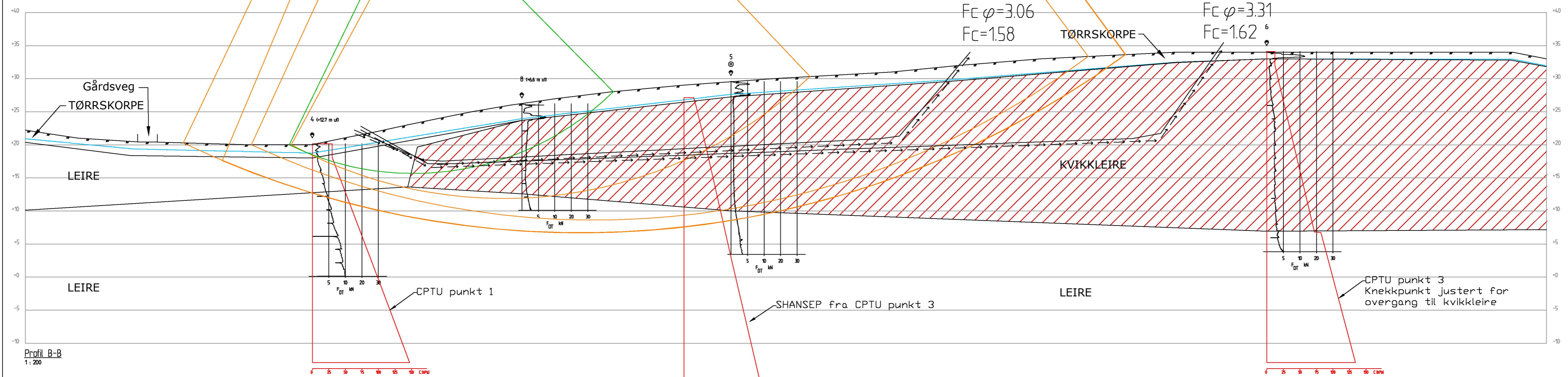
Material	no	Un.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0				
Leire	2	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35
Kvikkleire	3	19.30	---	---	C-profil	0.85	0.63	0.35
Leire	4	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0
Leire	2	19.30	26.0	4.9
Kvikkleire	3	19.30	24.0	0.0
Leire	4	19.30	26.0	2.4

Fc φ=2.08

Fc φ=3.06
Fc=1.58

Fc φ=3.31
Fc=1.62



Profil B-B
1:200

00	21.05.2019		KAGA	ODE	ODE
REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS VURDERINGSNOTAT					

RAMBOLL
Ramboll Norge AS
P.b. 9420 Torgarden
7493 Trondheim
TLF: 73 84 10 00
www.ramboll.no

OPPDRAG	Stiklestad GU og stab.ber.
OPPDRAGSGIVER	NVE

INNHOOLD	TERRENGPROFIL
	Profil B
	Total- og effektivspenning
	Dagens situasjon

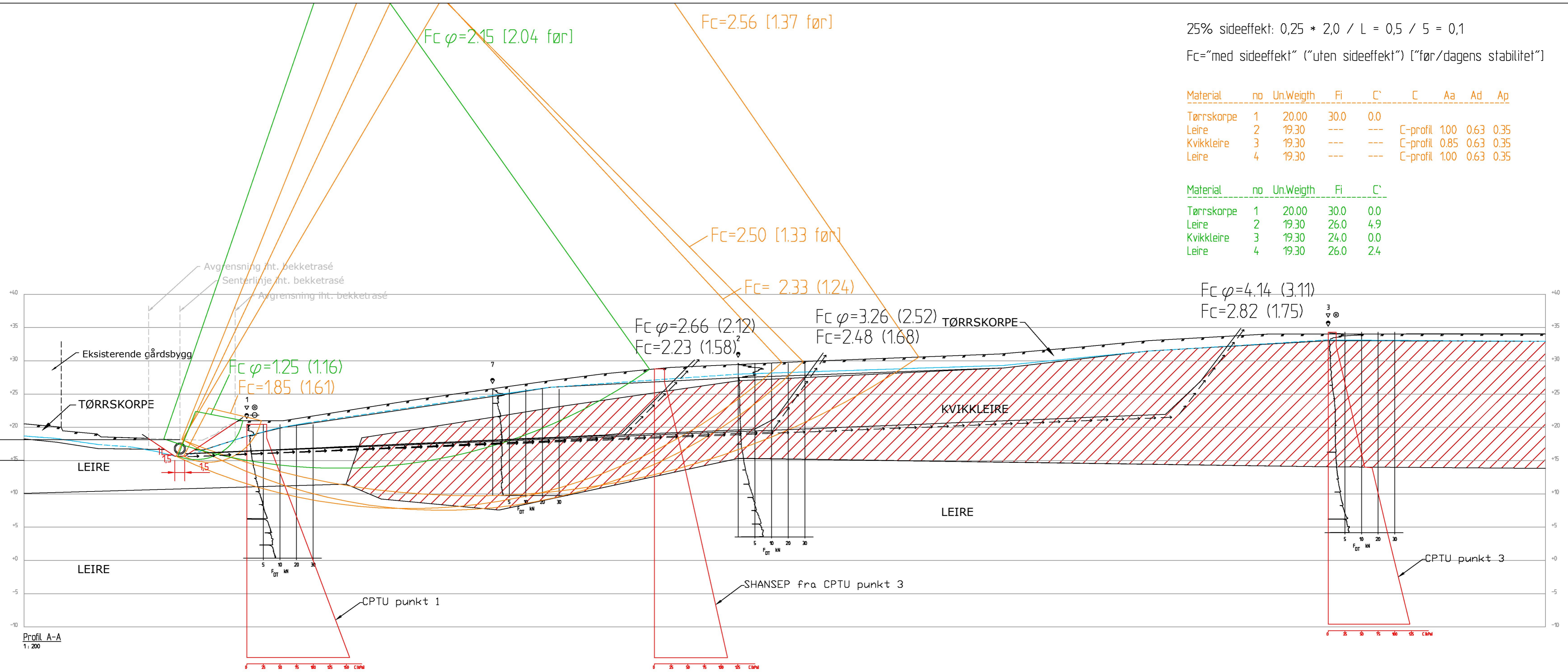
OPPDRAG NR.	MÅLESTOKK	BLAD NR.	AV
1350032981	1:400	01	01
TEGNING NR.			REV.
1003			00

25% sideeffekt: $0,25 * 2,0 / L = 0,5 / 5 = 0,1$

Fc="med sideeffekt" ("uten sideeffekt") ["før/dagens stabilitet"]

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0				
Leire	2	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35
Kvikkleire	3	19.30	---	---	C-profil	0.85	0.63	0.35
Leire	4	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0
Leire	2	19.30	26.0	4.9
Kvikkleire	3	19.30	24.0	0.0
Leire	4	19.30	26.0	2.4



Profil A-A
1:200

00	21.05.2019		KAGA	ODE	ODE
REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS VURDERINGSNOTAT					

RAMBOLL
Ramboll Norge AS
P.b. 9420 Torgarden
7493 Trondheim
TLF: 73 84 10 00
www.ramboll.no

OPPDRAG
Stiklestad GU og stab.ber.
OPPDRAGSGIVER
NVE

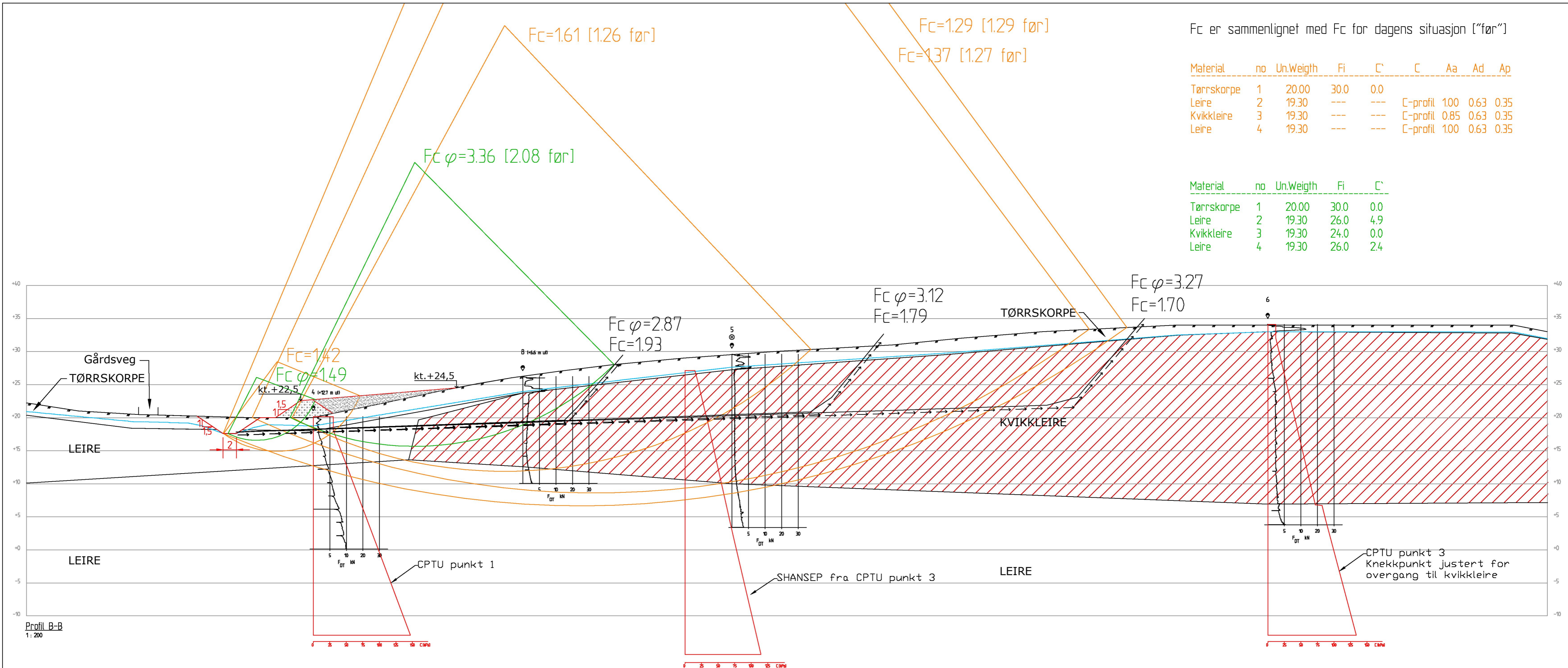
INNHOOLD
TERRENGPROFIL
Profil A
Total- og effektivspenning
Gravesituasjon

OPPDRAG NR. 1350032981	MÅLESTOKK 1:400	BLAD NR. 01	AV 01
TEGNING NR. 1004			REV. 00

Fc er sammenlignet med Fc for dagens situasjon ["før"]

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0				
Leire	2	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35
Kvikkleire	3	19.30	---	---	C-profil	0.85	0.63	0.35
Leire	4	19.30	---	---	C-profil	1.00	0.63	0.35

Material	no	Un.Weigth	Fi	C'
Tørrskorpe	1	20.00	30.0	0.0
Leire	2	19.30	26.0	4.9
Kvikkleire	3	19.30	24.0	0.0
Leire	4	19.30	26.0	2.4



Profil B-B
1:200

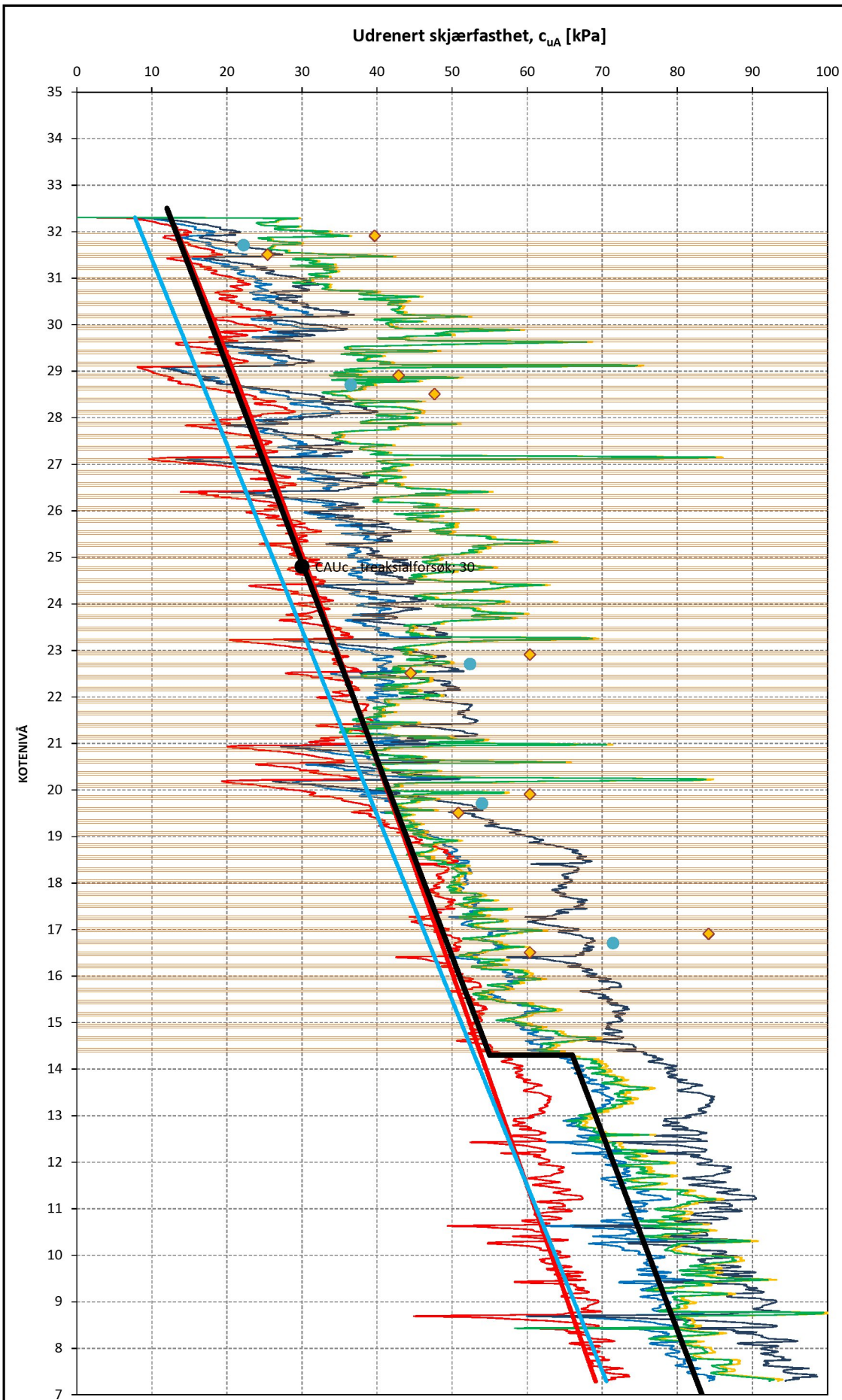
00	21.05.2019		KAGA	ODE	ODE
REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS VURDERINGSNOTAT					

RAMBOLL
Ramboll Norge AS
P.b. 9420 Torgarden
7493 Trondheim
TLF: 73 84 10 00
www.ramboll.no

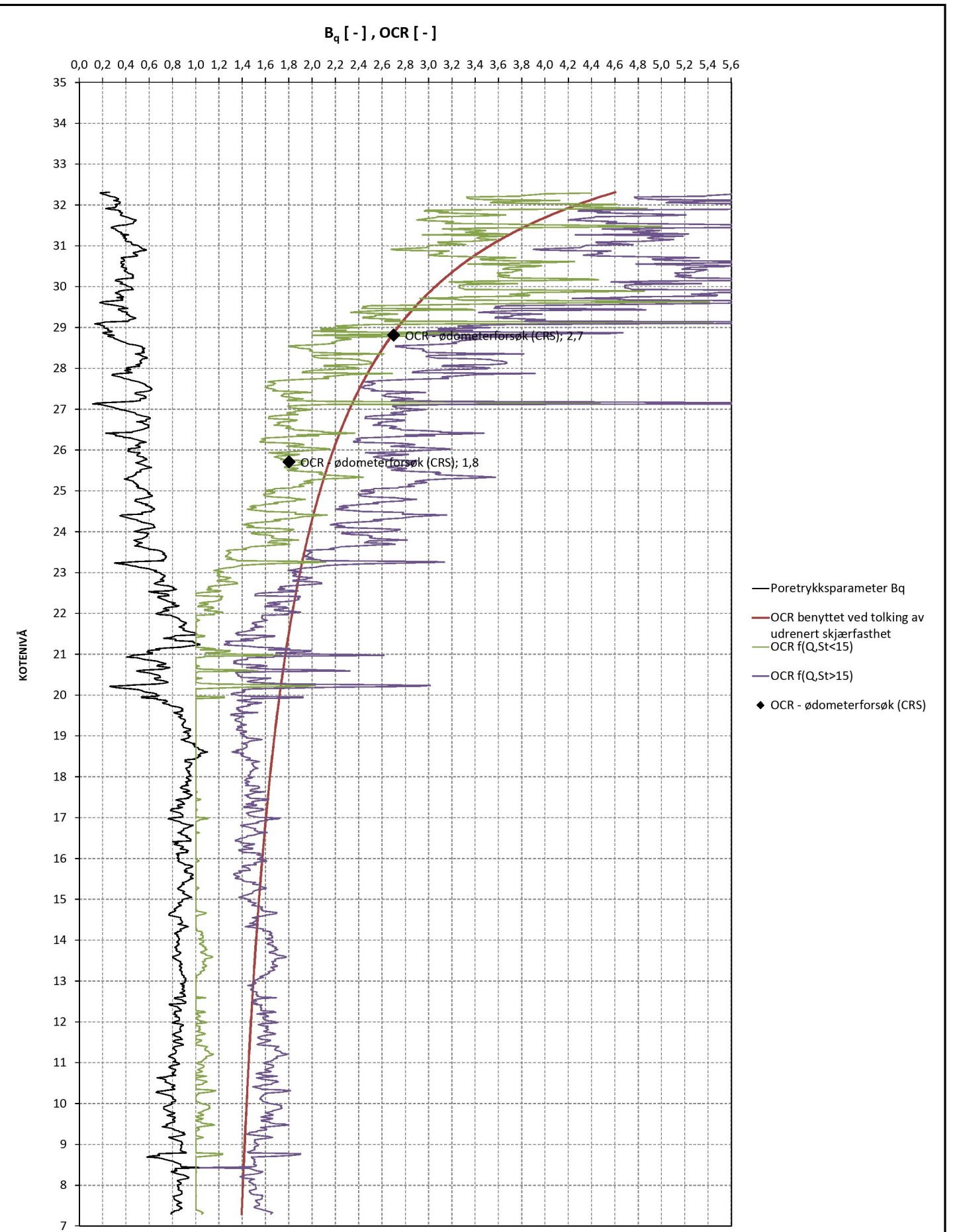
OPPDRAG	Stiklestad GU og stab.ber.
OPPDRAGSGIVER	NVE

INNHOOLD	TERRENGPROFIL
	Profil B
	Total- og effektivspenning
	Ferdig situasjon

OPPDRAG NR.	MÅLESTOKK	BLAD NR.	AV
1350032981	1:400	01	01
TEGNING NR.			REV.
1005			00



- $N\Delta U = 4.5 + 4.0 * B_q$
- $Ndu = 6.9 - 4.0 * \log OCR + 0.07 * I_p - St < 15$
- $Nkt = 7.8 + 2.5 * \log OCR + 0.082 * I_p - St < 15$
- $Ndu = 9.8 - 4.5 * \log(OCR) - St > 15$
- $Nkt = 8.5 + 2.5 * \log OCR - St > 15$
- Kvikkleire/Sprøbruddmateriale
- CAUc - treaksialforsøk
- ◆ Konus * CuA/CuD
- Enaks * CuA/CuD
- SHANSEP
- $0,27 * p_0'$
- Designlinje



- Poretrykksparameter B_q
- OCR benyttet ved tolking av udrenert skjærfasthet
- OCR f(Q, St < 15)
- OCR f(Q, St > 15)
- ◆ OCR - ødometerforsøk (CRS)

Tolkningsgrunnlag

In-situ poretrykk:	Hydrostatisk	Romvekt:	Konstant, 19,3 kN/m ³
Grunnvannstand [Z]:	1 m	SHANSEP-normalisering:	$\alpha = 0,23 \quad \beta = 0,42$
Overkonsolidering:	$\Delta p' = 103 \text{ kPa}$		Verdier for enaks/konus anses representative for direkte skjærfasthet og er derfor korrigert med anisotropiforholdet $CuD/CuA = 0,63$
Plastisitetsindeks, I_p:	Konstant, $I_p = 7,2$		

Designlinje, c_{uA}	Kote	c_{uA}
	32,5	17,0
	14,3	55,0
	14,3	66,0
	5,0	88,0



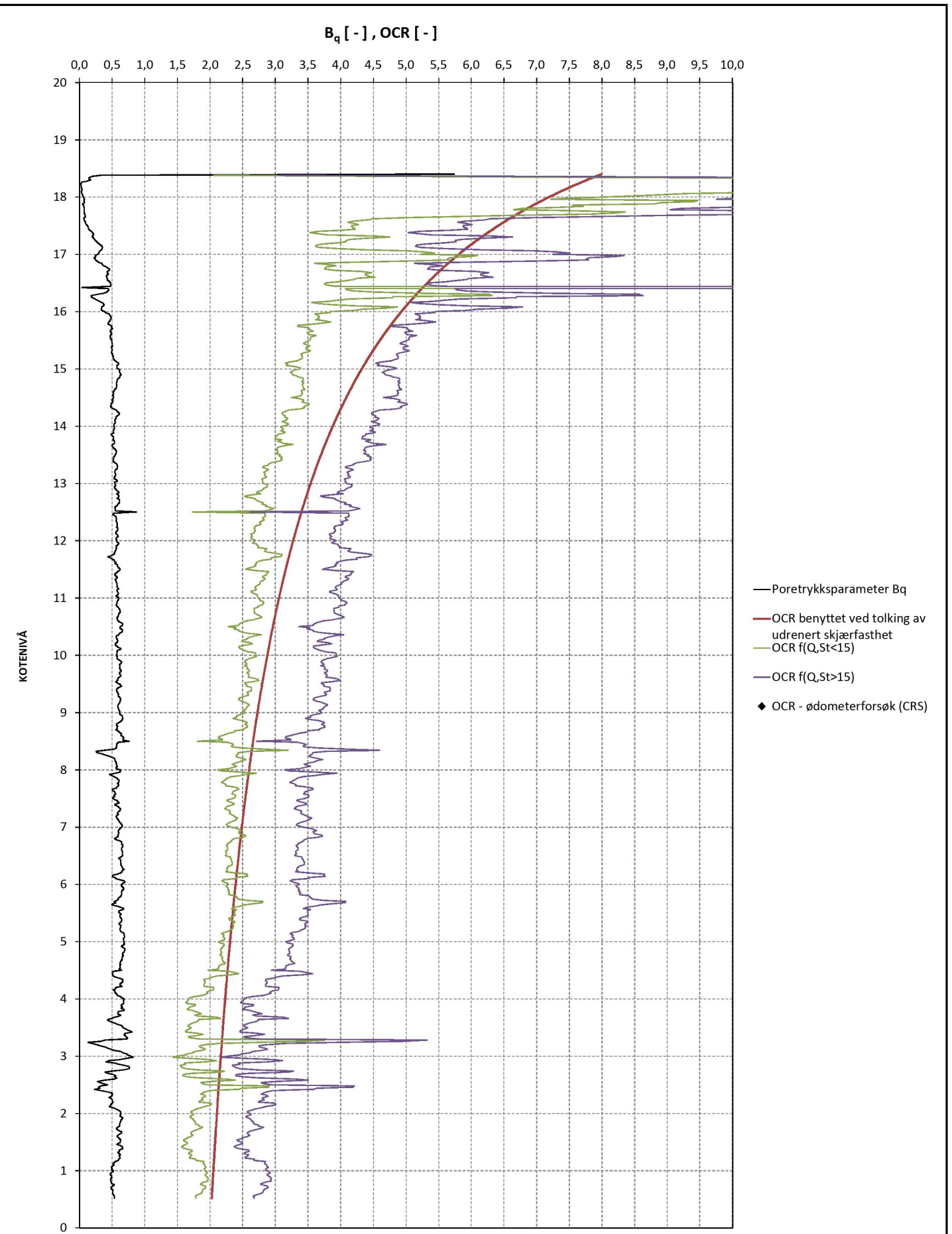
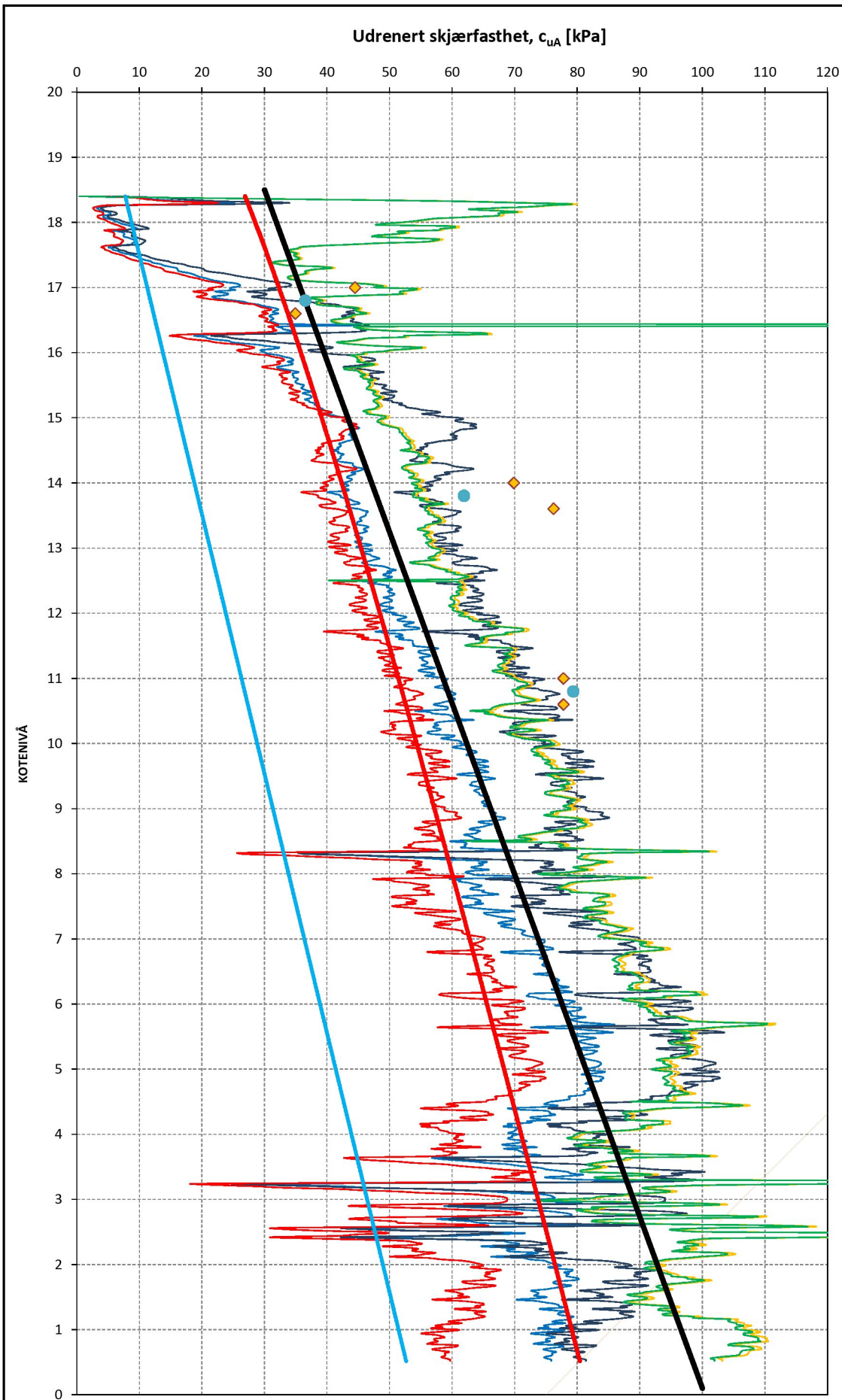
NVE

Stiklestad, GU og stab.ber.

Borpunkt: 3 | Terrengekote: 34,3

Tolking/presentasjon av CPTU
Udrenert skjærfasthet og OCR

Oppdrag	1350032981
Tegn./kontr.	Vedlegg
KAGA/ODE	-
Dato	21.05.2019
Tegn. Nr.	1006



Tolkningsgrunnlag

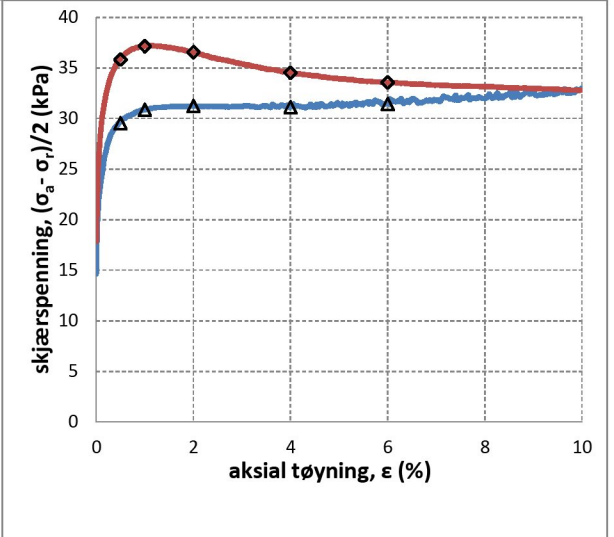
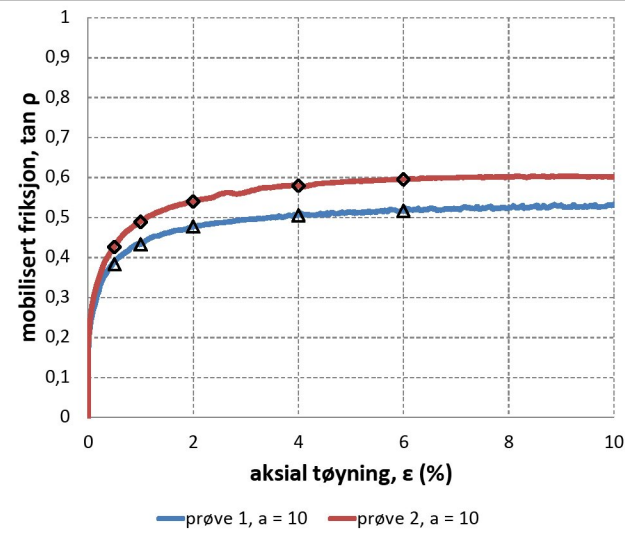
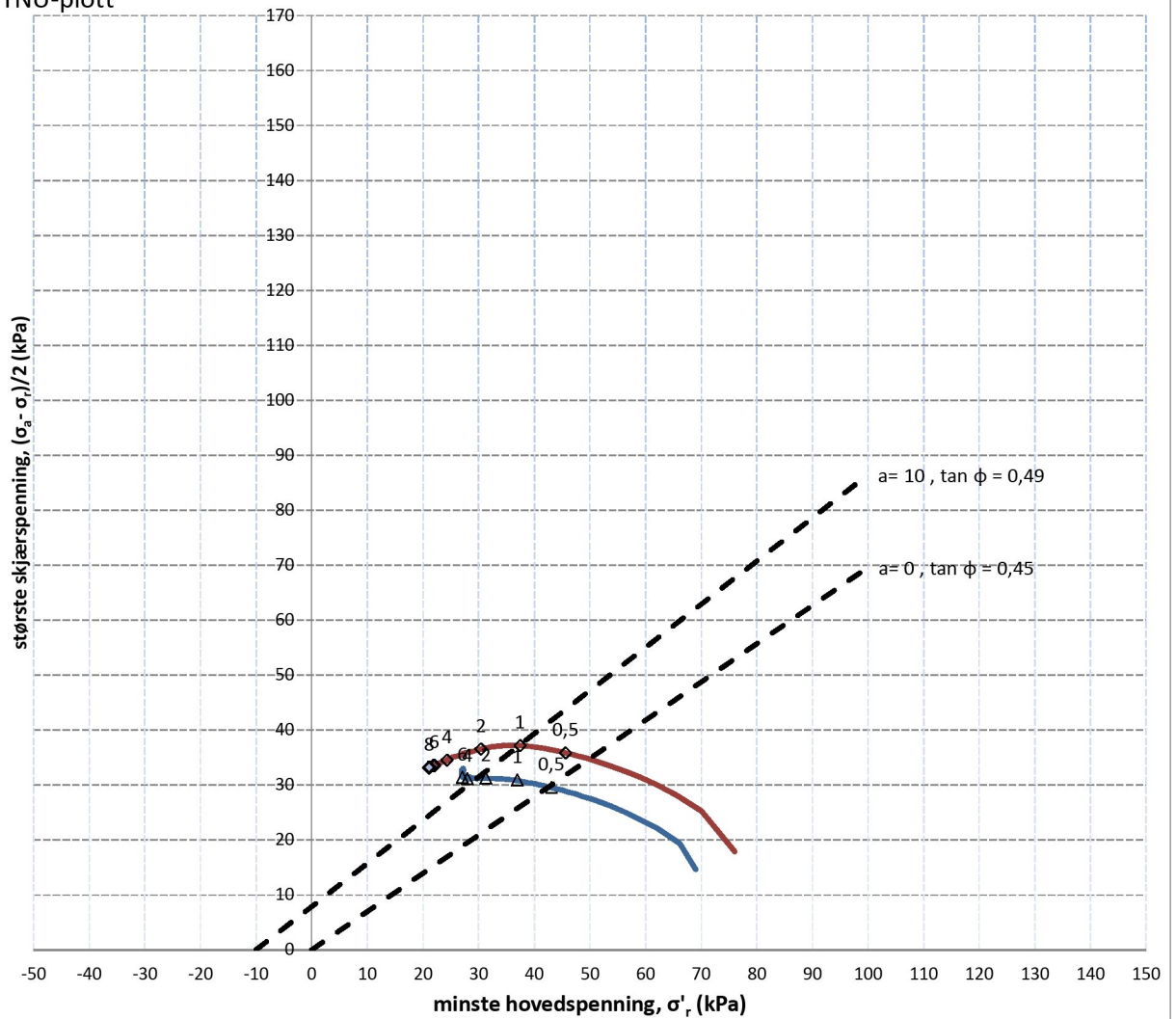
In-situ poretrykk:	Hydrostatisk	Romvekt:	Konstant, 19,3 kN/m ³
Grunnvannstand [Z]:	1 m	SHANSEP-normalisering:	$\alpha = 0,27$ $\beta = 0,6$
Overkonsolidering:	$\Delta p' = 200$ kPa		Verdier for enaks/konus anses representative for direkte skjærfasthet og er derfor korrigert med anisotropiforholdet $CuD/CuA = 0,63$
Plastisitetsindeks, I_p:	Konstant, $I_p = 7,2$		

Designlinje, c_{uA}	
Kote	c_{uA}
18,5	30,0
0,1	100,0



NVE		Oppdrag	1350032981
Stiklestad, GU og stab.ber.		Tegn./kontr.	Vedlegg
Borpunkt: 1	Terrengkote: 20,4	KAGA/ODE	-
Tolking/presentasjon av CPTU Udrenert skjærfasthet og OCR		Dato	21.05.2019
		Tegn. Nr.	1007

NTNU-plott



PRØVE	SYMBOL	PUNKT	LAB	DYBDE	TYPE	w(vekt%)	dV (%)	de/e ₀	Konsolideringsspenninger			KOMMENTAR
									p ₀ ' (kPa)	p _a ' (kPa)	p _v ' (kPa)	
1	Δ	5	12	9,50m	CAUA	26,3	2,6	0,062	96	98	69	Kvikkleire, siltig
2	◇	5	12	9,70m	CAUA	28,6	3,1	0,069	96	111	76	Kvikkleire, siltig



Stiklestad, GU og stab.ber.

NVE

TREAKSIALFORSØK

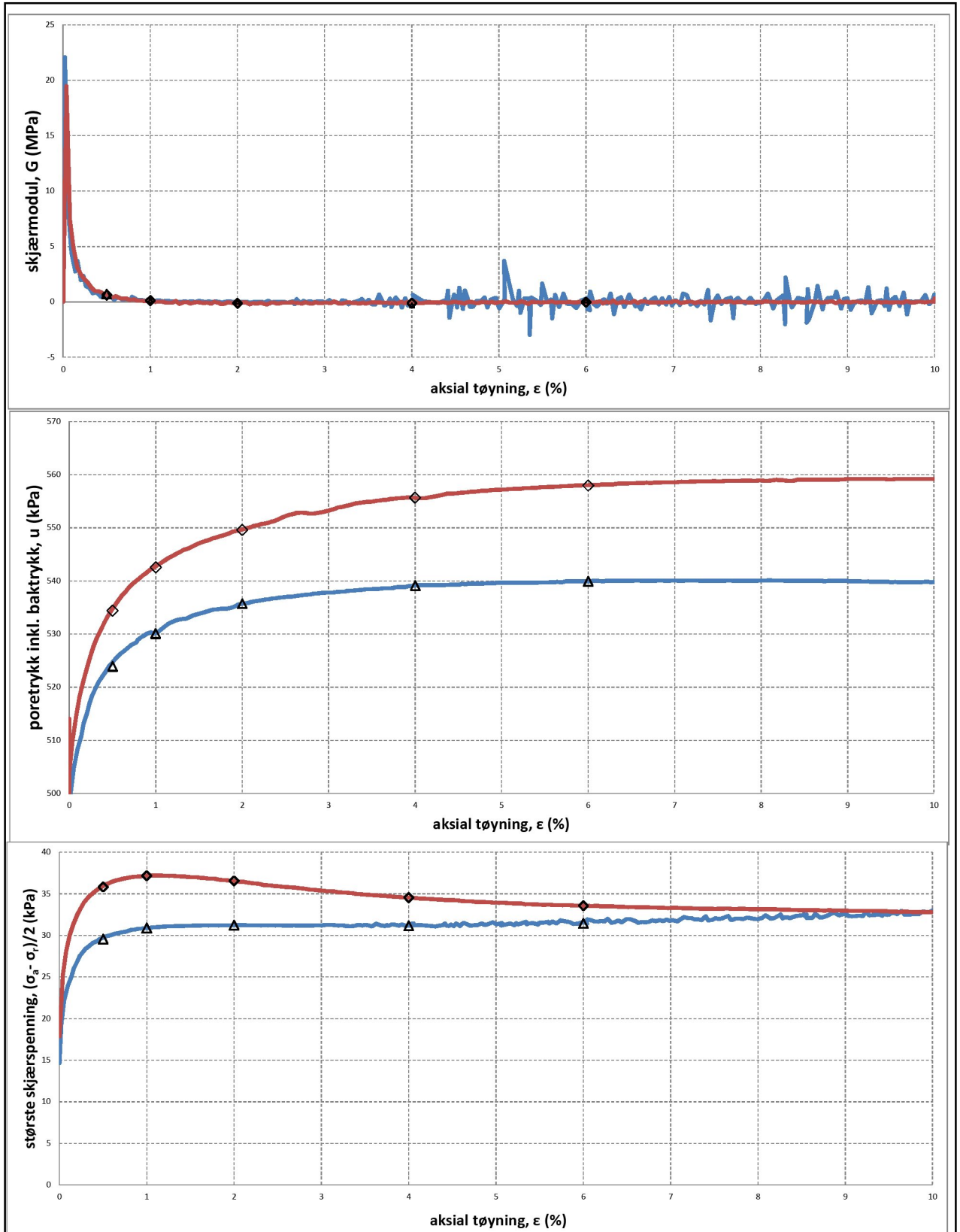
Oppdrag
1350032981

Tegn./kontr.
KAGA/ODE

Dato
21.05.2019

Bilag
-

Tegn. Nr.
1008A



PRØVE	SYMBOL	PUNKT	LAB	DYBDE	TYPE	w(vekt%)	dV (%)	de/e ₀	Konsolideringsspenninger			KOMMENTAR
									p ₀ ' (kPa)	p _a ' (kPa)	p _v ' (kPa)	
1	△	5	12	9,50m	CAUA	26,3	2,6	0,062	96	98	69	Kvikkleire, siltig
2	◇	5	12	9,70m	CAUA	28,6	3,1	0,069	96	111	76	Kvikkleire, siltig



Stiklestad, GU og stab.ber.

NVE

TREKSIALFORSØK

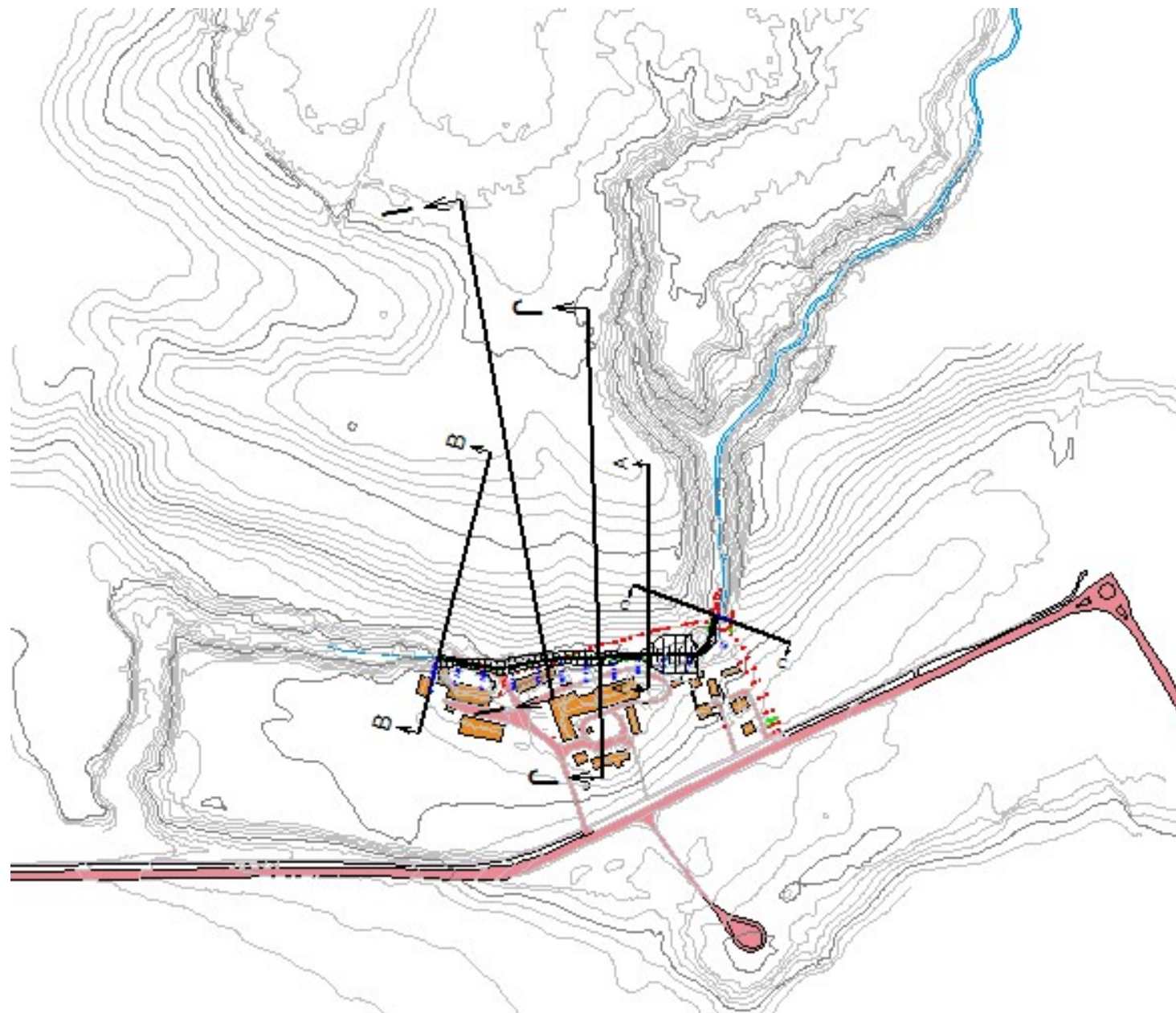
Oppdrag
1350032981

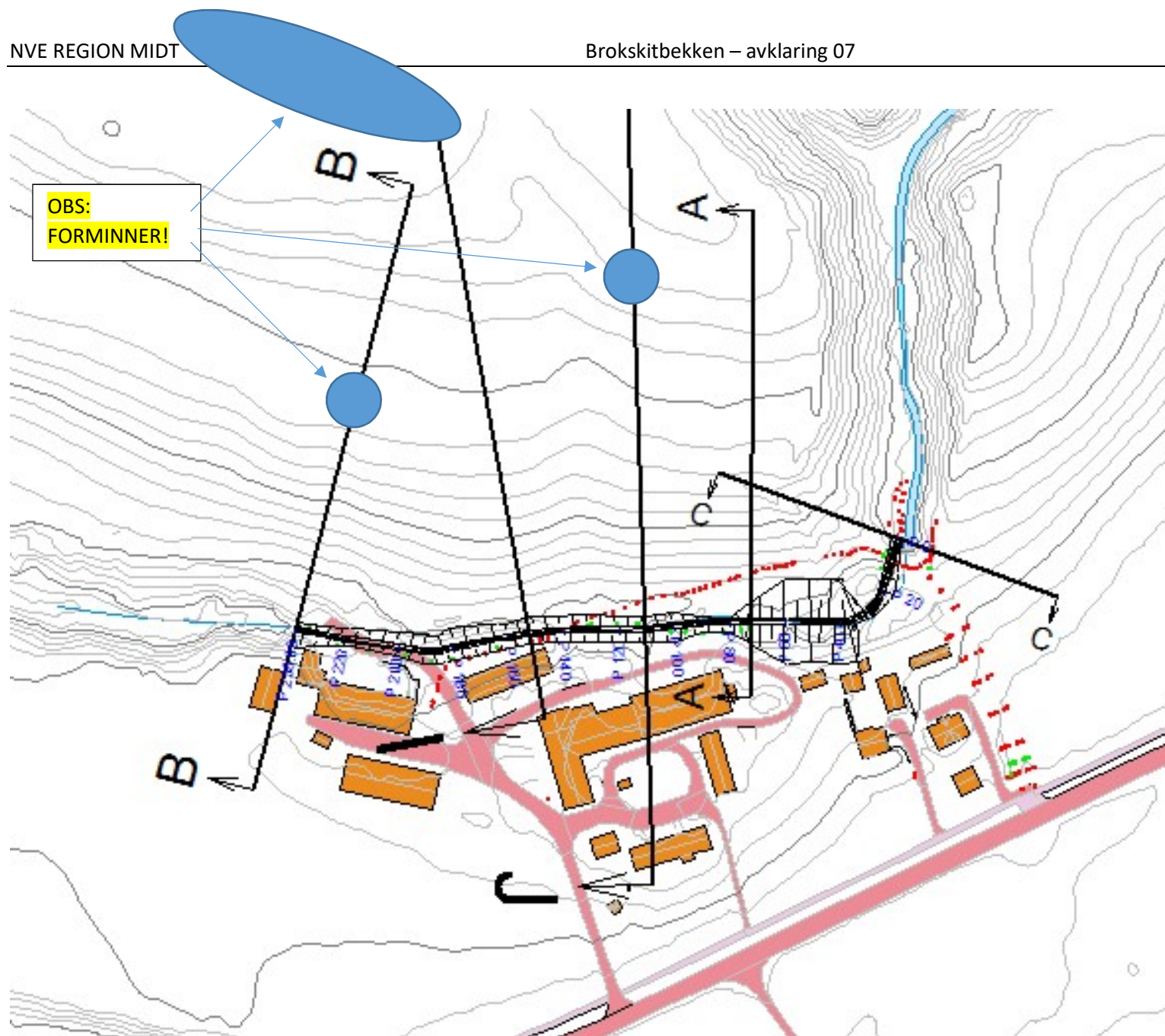
Tegn./kontr.
KAGA/ODE

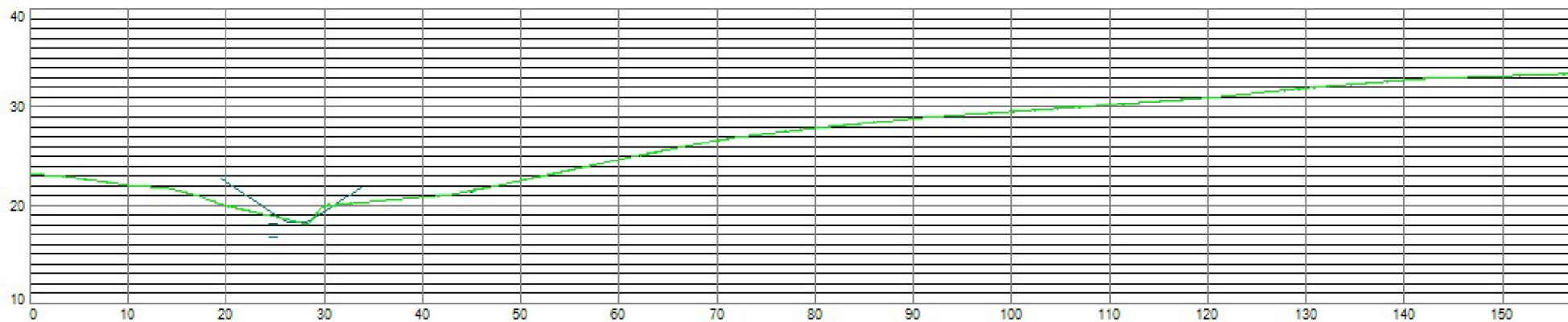
Dato
21.05.2019

Bilag
-

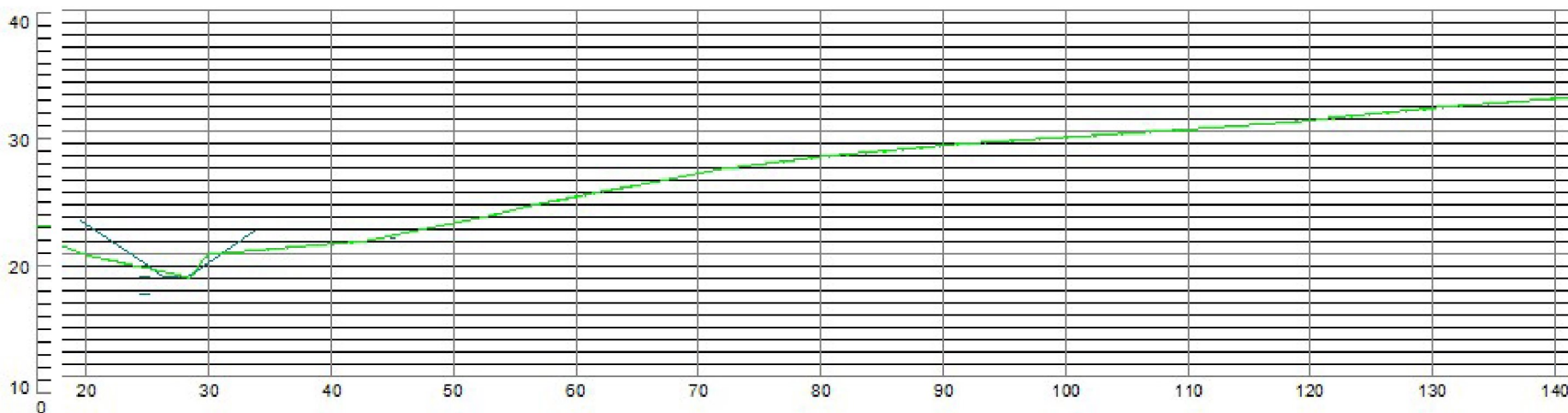
Tegn. Nr.
1008B

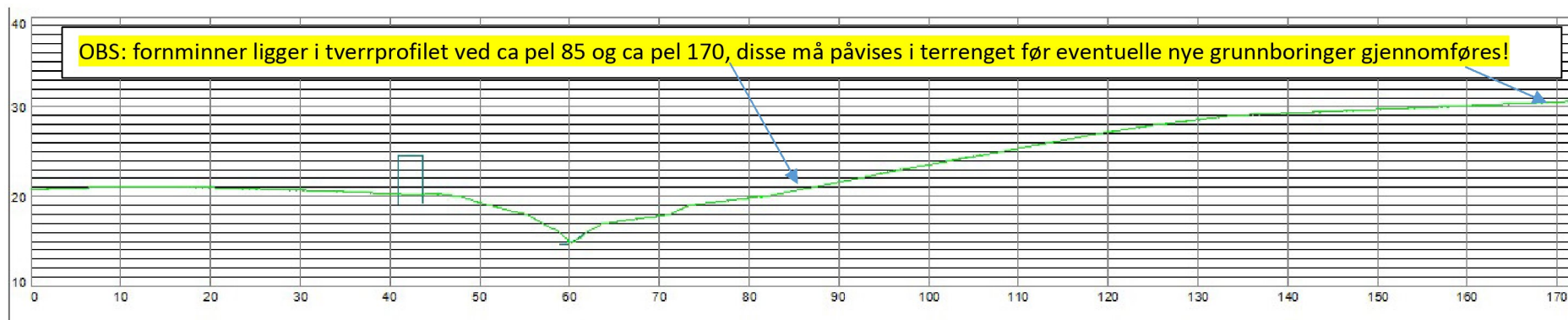




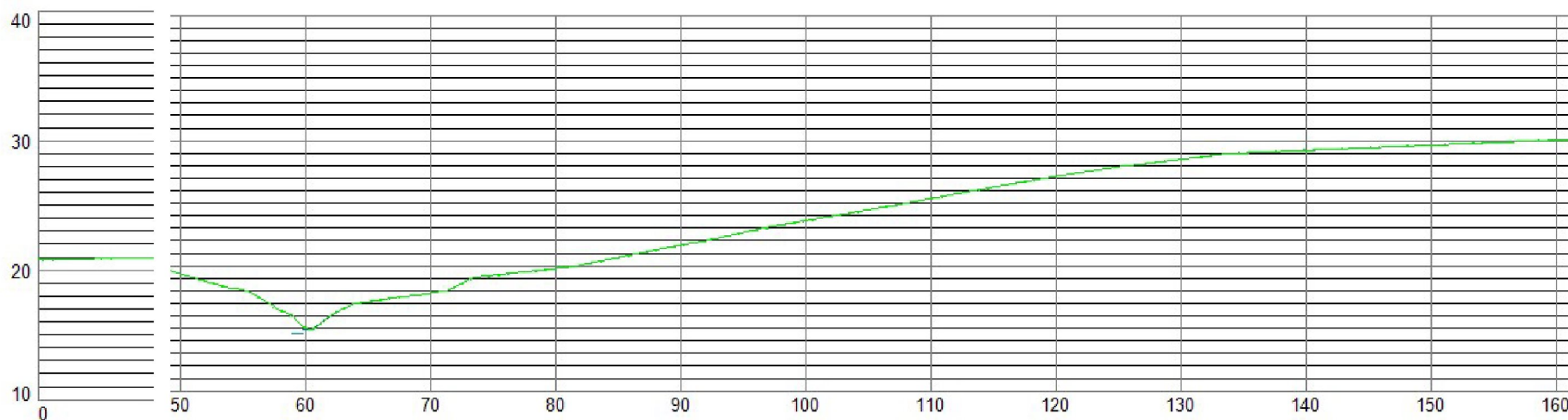


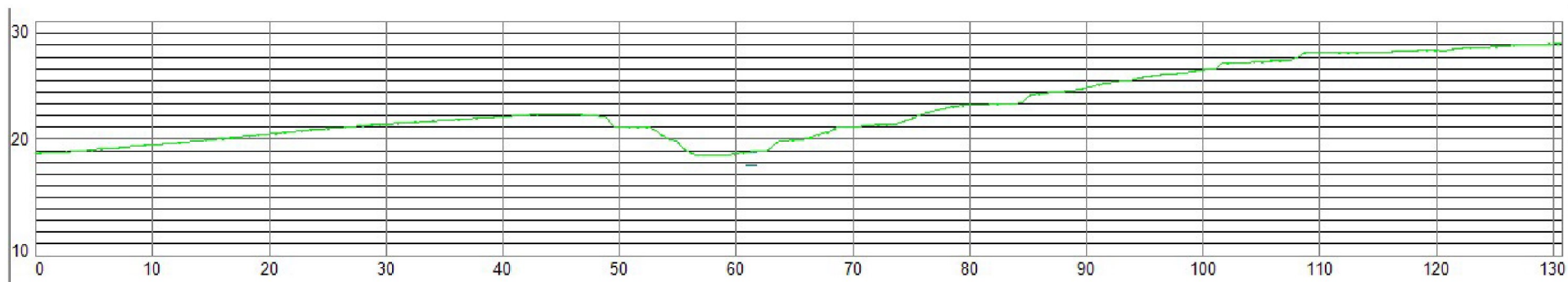
Profil A – A: vinkelrett på inntak av eksisterende rør, uk kote 16,73 m.o.h, nytt sideløp blir liggende med bunnen 1,0 m høyere enn eksisterende rør dvs ca kote 17,76 m.o.h



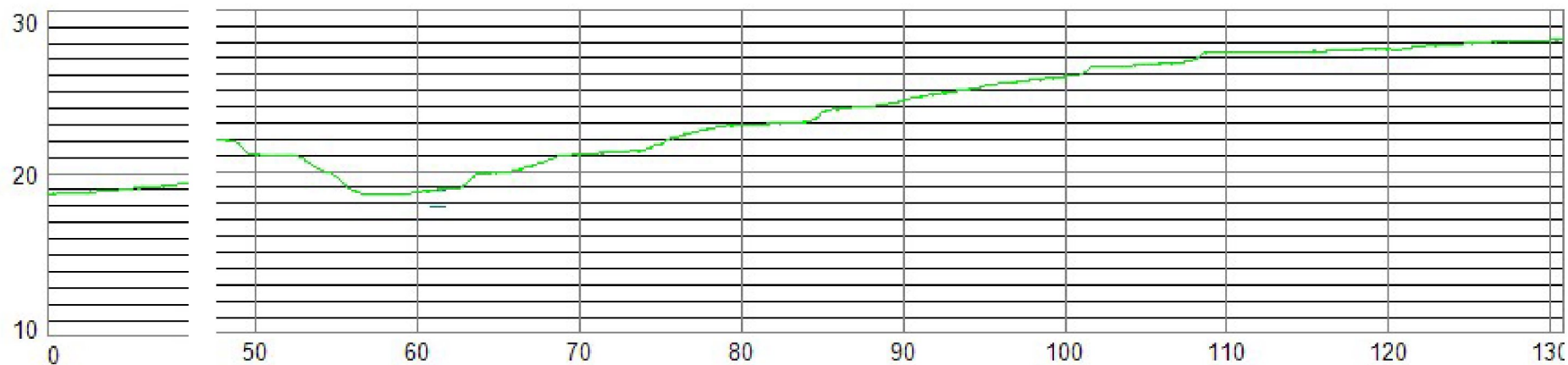


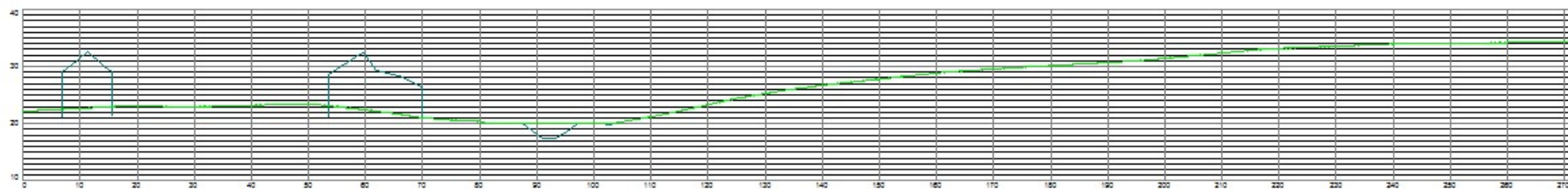
Profil B – B: profil ved endepunkt av eksisterende rørledning. Bunn utløp ligger på kote 13,90 m.o.h. Nytt utløp ligger teoretisk 0,7 m høyere, dvs kote 14,55 m.o.h. men det kan vurderes å heve dette 0,3 m hvis ønskelig rent geoteknisk. Selv med denne økningen oppnås 1,9 % helning på den 165 m lange rørlengden. OBS: forninner – se merknad ovenfor!





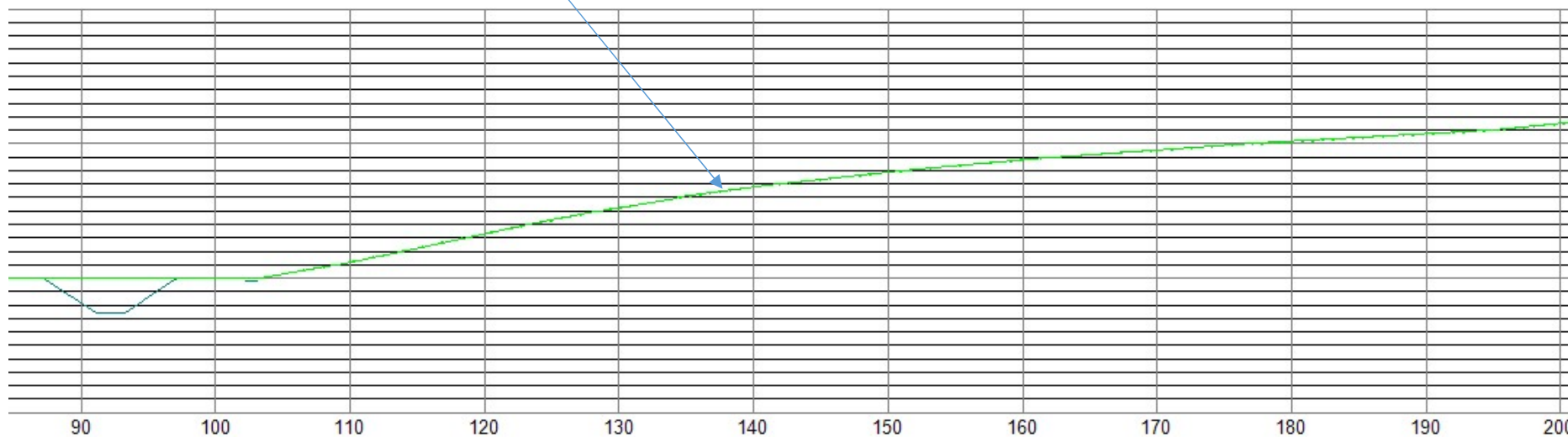
Profil C – C: vinkelrett på inntak øvre kulvert. Eksisterende kulverts bunn kote 17,76 m.o.h, som heves 1,0 m til kote 18,76 m.o.h.





Profil J – J: bolighus pel 10, grisefjøs pel 60. Ny trase for rør ca pel 92. Høyspent krysser pel 103.

OBS: Et fornminne ligger i tverrprofilet på ca pel 138



Brokskitbekken – dagens situasjon (løpende vurderinger)

Kartutsnittet under viser et utkast til bekketrase som starter oppstrøms ved pel «0» og ender ved pel «238». Dagens øvre kulvert (DN 1100 mm) som skal skiftes ut (med DN 1400 mm) går fra pel «0» til ca pel 15 (må kontrollmåles).

Deretter er det i dag åpen bekk fra pel ca «15» til pel «73».

Deretter et 163 m langt stålrør med forskjellige diametere fra pel «73» til pel «238». NVE fikk gjennomført en oppmåling innvendig i øvre del av stålrøret i den 2.5.2019 – se vedlegg.



Dagens kulvert går fra pel «73» til pel «238».



Røde prikker (små sirkler) viser høyspenttrase i grunnen for en måned siden – høyspentkablene er nå lagt om slik at den gamle traseen er spenningsfri og fristilt for ca 14 dager siden.

De grønne prikkene er tilfeldige terrenghøyder tatt opp en dag i 2018 da arealet var mest dekket av tømmerstokker. De blå sirklene mellom pel «210» og «238» er terrenghøyder tatt opp 3.5.2019

NVE forstår at Rambøll foreslår følgende:

ny kulvert fra pel «140» til «238» (98 m) kompensasjonsgraving, deretter åpen bekk videre oppover



Vannhastighet gjennom kulverten ved full vanngjennomstrømning (Q10) fra pel «140» til pel «238» hvis nedre ende ved Pel «238» heves 1,0 m for å korrespondere med nedre del (egentlig 0,7 m men dette tilpasses ved å kjøre til litt mer masse nedstrøms kulvertutløp). Deretter heves kulverten ved pel «140» minst mulig – forslag på 0,5 m, dette gir følgende kotehøyder og vannføringshastighet:

Pel «140»: bunnkote (interpolert mellom innløp og utløp) = 16,58 m.o.h.

Pel «238»: bunnkote 13,56 + 1,0 m + 0,3 = 14,86 m.o.h.

Dette gir en helning på 1,8 % (1,72 m)

Delvis fylt, normalstrømning			
Rørdiameter D (m)	Mannings M	Helning %	Vannstand Y
1,4	80	1,8 %	1,4
Vannføring Q :			8,091 m³/sek 485 458 l/min
			Bredde: 0,00 Tverrsnitt: 1,54 Perimeter: 4,40 Hydr. rad.: 0,35 Hjelpevinkel: 3,14 Froude: 0,00 Hastighet: 5,26

Ved denne situasjon er helningen på den 98 m lange nye kulverten 1,72 m (1,8 %), som gir en teoretisk vannhastighet på vel 5 m/s når den går full (Q20). Dimensjonerende vannmengde for den nye kulverten vil være Q10, og med 1,2 % klimapåslag samt 1,4 % påslag for kulminasjon, fås dimensjonerende vannføring på 4,7 m³/s, dette gjelder for selve erosjonssikringen i bekken. MEN det vil bli en langt lavere dimensjonerende vannføring når sjøørretten vandrer opp i august / september. Vannhastigheten må reduseres (maks 1,4 m/s) ved å minske på helningen samt etablere energidreper i utløpet og terskler i utløpet. Et forsiktig anslag gir at vannføringen i august / september er kun 20 % av middelflom (Q_m= 0,9 m³/s)

Med dette som grunnlag fås fortsatt en vannhastighet på over 3 m/s – vannhastigheten må halveres

Delvis fylt, normalstrømning			
Rørdiameter D (m)	Mannings M	Helning %	Vannstand Y
1,4	80	1,8 %	0,3
Vannføring Q :			0,814 m³/sek 48 868 l/min
			Bredde: 1,15 Tverrsnitt: 0,24 Perimeter: 1,35 Hydr. rad.: 0,18 Hjelpevinkel: 0,96 Froude: 5,49 Hastighet: 3,37

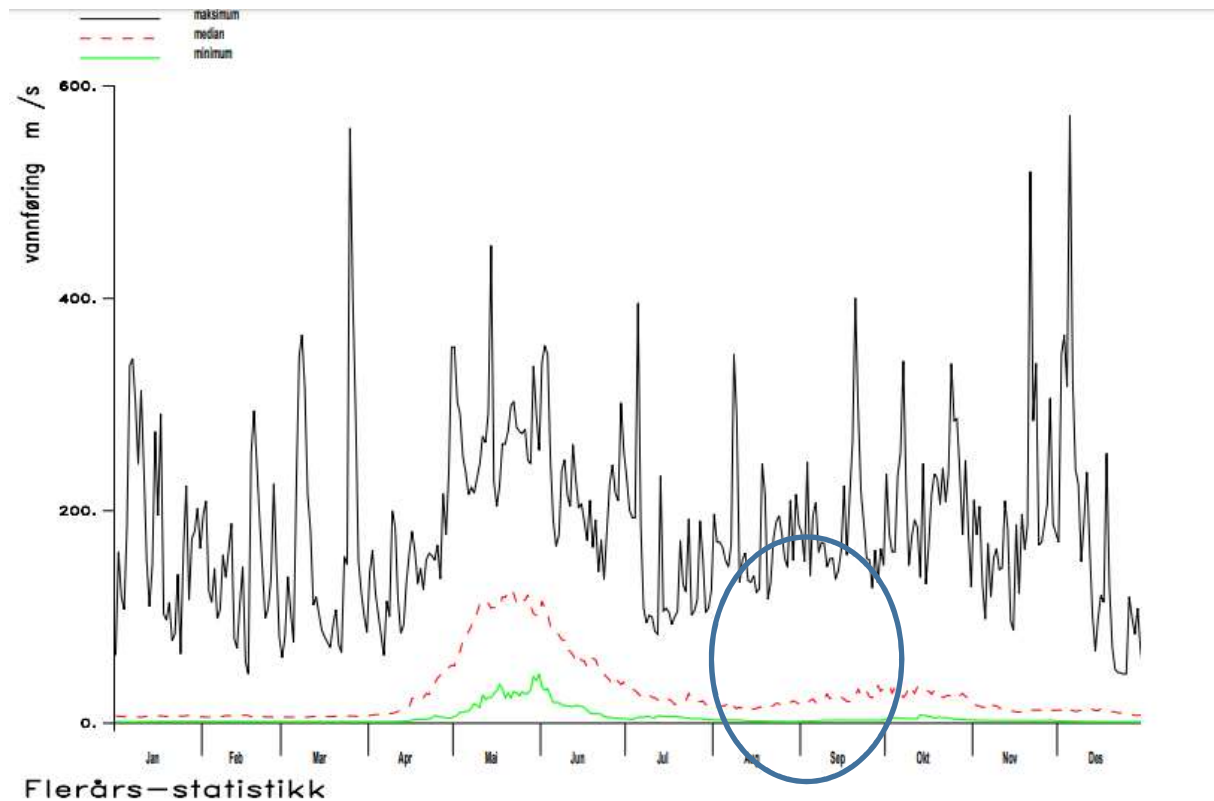
Et alternativ til å halvere vannhastigheten er å bygge fisketrapp / terskler innvendig i kulverten: Det betyr at Manningstall må reduseres fra 80 til 35:

Delvis fylt, normalstrømning			
Rørdiameter D (m)	Mannings M	Helning %	Vannstand Y
1,4	35	1,8 %	0,3
Vannføring Q :			0,356 m³/sek 21 380 l/min
			Bredde: 1,15 Tverrsnitt: 0,24 Perimeter: 1,35 Hydr. rad.: 0,18 Hjelpevinkel: 0,96 Froude: 1,05 Hastighet: 1,47

Da oppnås en vannhastighet under 1,5 m/s.

Målsetningen må være at utløpet av kulverten erosjonssikres for å tåle en vannhastighet for Q10-Q20

Kurven under viser flerårsstatistikk for hovedelva Verdalselva ved Grunnfossen (noen km oppstrøms for Brokskitbekken)



Figur 3. Karakteristiske vannføringsverdier i Verdalselva ved målestasjon 127.6 Grunnfoss i perioden 1952-2001. Diagrammene viser største, median og laveste observerte vannføring i angitt periode.

Sluttkommentar:

Betongrøra DN 1400 er spesifisert for min 0,5 m med overdekning og maks 4 m men tåler opptil 10 m overdekning hvis leverandøren vet om dette slik at små justeringer kan gjennomføres under produksjonen av røra (gjelder spesielt for øvre kulvert).

Den skisserte løsningen gir følgende:

Bunnkote på ferdiglagt ny kulvert	: 14,86 m.o.h.
Tillegg for t = godstykkelse	: 0,156 m
DN Betongrør	: 1,400 m
Tillegg for t = godstykkelse	: 0,156 m
Minimum overdekning	: 0,500 m
Kote topp ferdig planert terreng	: 17,07 m.o.h

Kontrollmåling av terrenghøyde den 3.5.2019 = 16,30 m.o.h.

Konklusjon: terrenget må heves med 0,8 m (fra kote 16,30 til kote 17,07). Dette betinger ei grøft (lavpunkt) mot selve industribygget – og dette er gjennomførbart.