



Rapport / Report

Program for økt sikkerhet mot leirskred

Bøle, Skien kommune. Risiko for kvikkleireskred

20011544-3
16. november 2007
Rev. 1
08. august 2008

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentsiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere dette før bruk av dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this before using this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGL.



Prosjekt

Prosjekt: Program for økt sikkerhet mot leirskred
Rapportnummer: 20011544-3
Rapporttittel: Bøle, Skien kommune. Risiko for kvikkleireskred
Dato: 16. november 2007
Revidert: 8. august 2008

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE Region Sør
Oppdragsgivers
kontaktperson: Eirik Traae
Kontraktreferanse: Bestilling nr. 32131, datert 14.04.08

For NGI

Prosjektleder: Odd Gregersen
Rapport utarbeidet av: Tonje Eide Helle

Sammendrag

NGI har på oppdrag fra NVE Region Sør utført nye grunnundersøkelser og nye beregninger for sikringstiltak av kvikkleirefaresonen Bøle i Skien kommune. Faresonen har faregrad ”middels”, konsekvens ”meget alvorlig” og risikoklasse 5. Sonen er tett bebygd med næringsbygg og flere bolighus. Denne revisjonen inneholder vurdering av ulike sikringstiltak i henhold til krav om ”forbedring” og ”vesentlig forbedring”.

Det er utført til sammen 6 stk dreietrykksonderinger, en CPTU-sondering og installert en poretrykkstasjon i området. På toppen av skråningen er det indikasjon på kvikk/sensitiv leire/silt med sand og gruslag ned til 19 m. Fra 19 m er det antatt sand/grus med lite sensitive leirlag. Boringene er avsluttet ved antatt fjell på ca. 30 m dybde. Langs elvekanten indikeres kvikk/sensitiv leire/silt med sand og gruslag ned til 10-11 m. Fra 10-11 m er det antatt sand og gruslag. Boringene er avsluttet ved antatt fjell i ca. 25 m dybde.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Sammendrag (forts.)



Rapport nr.: 20011544-3
Dato: 2007-11-16
Rev. dato: 2008-08-08
Side: 4 / Rev.: 1

Det er beregnet stabilitet i Profil D og E2. Beregninger viser at dagens sikkerhet er lavere enn ønskelig. Det er vurdert ulike sikringstiltak så som motfylling, avlastning av terreng, masseutskifting med lette fyllmasser, kalksementpeling og tilsetning av salt i kvikkleira vha elektrolyse.

I første utgave av denne rapporten ble det i samråd med NVE valgt en motfylling i henhold til krav om ”forbedring” (ref./2/). I denne revisjonen er det vurdert alternative sikringstiltak som øker sikkerheten i henhold til krav om ”vesentlig forbedring”.

Velges en økning av sikkerheten i henhold til krav om ”forbedring” vil den beregningsmessige sikkerheten gi rom for å utføre tiltak av begrenset omfang så lenge disse ikke forringer stabiliteten. Det understrekes at motfyllingen som skissert i denne rapporten ikke gir rom for tiltak som innebærer tilflytting av mennesker, eller utbygging med viktige samfunnsfunksjoner. Dette innebærer boliger, institusjoner, næringsbygg, skoler, toglinjer, sentralt kraftnett o.l., ref./2/.

Velges en økning av sikkerheten i henhold til krav om ”vesentlig forbedring”, kan det tillates tiltak som innebærer tilflytting av personer og utbygging med viktige samfunnsfunksjoner, ref./2/.

Kostnadsoverslag for de ulike sikringstiltakene er sammenstilt i Tabell 1. Motfylling i kombinasjon med avlastning av terrenget i område D og kalksementpeling i område E har det billigste kostnadsoverslaget. Det er forbundet risiko med utgraving i de bløte massene og kalksementpeling. Motfylling er den tryggeste metoden for å sikre området. Alle sikringstiltak må følges opp av geotekniker.

Tabell 1 Kostnadsoverslag for ulike sikringstiltak

Tiltak	Kostnadsoverslag (kr. eks.mva.)
<i>Krav om ”forbedring”</i>	
Motfylling	23 370 000,-
<i>Krav om ”vesentlig forbedring”</i>	
Motfylling	34 650 000,-
Avlastning av terreng i område D, motfylling i område E	30 000 000,-
Avlastning av terreng i område D, kalksementpeler i område E	25 975 000,-
Masseutskifting i område D, motfylling i område E	33 105 000,-
Masseutskifting i område D, kalksementpeler i område E	29 288 000,-
Kalksementpeler	27 575 000,-

1	Innledning	7
1.1	Bakgrunn	7
2	Grunnforhold	8
3	Stabilitetsberegninger	8
3.1	Generelt	8
3.2	Skjærstyrke	9
3.3	Analyseverktøy	9
4	Resultater fra stabilitetsberegningene	10
4.1	Motfylling	10
4.2	Alternative sikringstiltak	12
5	Kostnadsoverslag	15
5.1	Motfylling	15
5.2	Avlastning av terreng	15
5.3	Masseutskifting med lette fyllmasser	16
5.4	Kalksementpeler	17
6	Konklusjoner	18
6.1	Valg av sikkerhetsnivå	18
6.2	Valg av tiltak	19
7	Referanser	19

Figurer

Figur 1 Minimumskrav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer. Fra ref. /2/.....	7
---	---

Tabeller

Tabell 1 Kostnadsoverslag for ulike sikringstiltak.....	4
Tabell 2 Estimerte enhetspriser eks.mva.....	15
Tabell 3 Estimerte kostnader for motfylling iht. krav om ”forbedring”	15
Tabell 4 Estimerte kostnader for motfylling iht. krav om ”vesentlig forbedring”	15
Tabell 5 Estimerte kostnader ved avlastning av terreng i område D, og motfylling i område E	16
Tabell 6 Estimerte kostnader ved avlastning av terreng i område D, og kalksementpeling i område E	16
Tabell 7 Estimerte kostnader ved masseutskifting i område D, og motfylling i område E.	17
Tabell 8 Estimerte kostnader ved masseutskifting i område D, og kalksement- peling i område E.	17
Tabell 9 Estimerte kostnader ved kalksementpeling.....	18

Innhold



Rapport nr.: 20011544-3
Dato: 2007-11-16
Rev. dato: 2008-08-08
Side: 6 / Rev.: 1

Tegninger

- 001 Oversiktskart
- 010 Borplan og stabiliserende tiltak i henhold til krav om ”forbedring”
- 100 Profil D-D – Stabiliserende tiltak i henhold til krav om ”forbedring” og ”vesentlig forbedring”
- 101 Profil E2-E2 – Stabiliserende tiltak i henhold til krav om ”forbedring” og ”vesentlig forbedring”
- 102 Minimum fylling lagt ut fra lekter
- 103 Sammenligning av motfylling for ulike sikkerhetsnivåer
- 104 Profil D – Avlastning av terreng
- 105 Profil D – Masseutskifting med lette fyllmasser
- 106 Profil D og E2 - Kalksementpeling

Vedlegg

- A Grunnundersøkelser

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

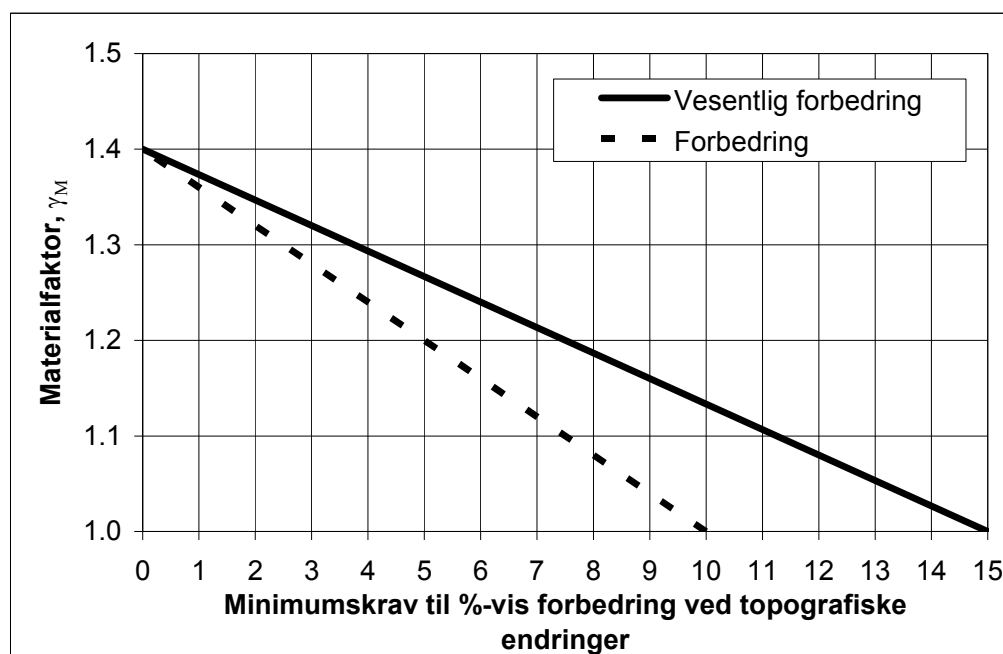
NGI har på oppdrag fra NVE Region Sør utført nye beregninger for sikringstiltak av kvikkleirefaresonen Bøle i Skien kommune. Faresonen er klassifisert til faregrad ”middels”, konsekvens ”meget alvorlig” og risikoklasse 5. Sonen er tett bebygd med næringsbygg og flere bolighus.

1.1 Bakgrunn

I Retningslinjer nr. 1 2007 er det laget krav om sikkerhetsnivåer avhengig av arealbruk og utbyggingsområdets faregradsklasse. Kravene til økning av den beregningsmessige sikkerheten er ”tilstrekkelig γ_M ”, ”ikke forverring”, ”forbedring” og ”vesentlig forbedring”. Tilstrekkelig γ_M er 1,4. Den prosentvise forbedringen beregnes ved å endre området topografi i henhold til krav om ”forbedring” eller ”vesentlig forbedring” som vist i Figur 1.

Denne rapporten omfatter resultater fra gamle og nye beregninger og dimensjonering av sikringstiltak i sonen som samsvarer med krav til ”forbedring” og ”vesentlig forbedring”.

Denne revisjonen inneholder vurdering av alternative sikringstiltak til motfylling. Alternativene som er vurdert er avlastning av terreng, masseutskiftning med lette fyllmasser, kalksementpeler og tilsetning av salt i kvikkleira ved hjelp av elektrolyse.



Figur 1 Minimumskrav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer. Fra ref. /2/.

2 Grunnforhold

Grunnundersøkelsene er utført av Scandiaconsult i 2002, ref. /3/, og av NGI i 2007. Undersøkelsene omfatter 6 stk dreietrykksonderinger, 1 stk CPTU-sondering og en poretrykksstasjon. Plasseringen av borpunktene er vist på tegning nr. 010. Dreietrykksondering nr. 301-304 er vist som enkeltboringer i vedlegg A.

På toppen av skråningen, indikerer dreietrykksonderingene kvikk/sensitiv leire/silt med sand og gruslag ned til 19 m. Fra 19 m er det antatt sand/grus med leirlag som ikke er sensitive. Boringene er avsluttet ved antatt fjell på ca. 30 m dybde.

Langs elvekanten indikerer grunnundersøkelsene kvikk/sensitiv leire/silt med sand og gruslag ned til 10-11 m. Fra 10-11 m er det antatt sand og gruslag. Boringene er avsluttet ved antatt fjell i ca. 25 m dybde.

Målte poretrykk på plataet bak skråningen viser hydrostatisk fordeling med dybden fra ca 4 m under terreng, ref. /1/.

Grunnforholdene er vist på profilene D-D og E2-E2, tegning nr. 100 og 101.

3 Stabilitetsberegninger

3.1 Generelt

Kvikkleiresonen Bøle er tett bebygd med næringsbygg og bolighus. Skråningen ned mot Skienselva har høydeforskjeller opp mot 10 m med en helning på 1:2. I område D (se tegning nr. 010) har skråningen tett vegetasjon. Skråningen avsluttes med en 1-2 m høy loddrett kant mot elva støttet av gamle tømmerstokker.

I område E er det båtopplassplass langs elva med en 6 m høy skråning i bakkant. Skråningshelningen er 1:2.

Dybdekartleggingen utført i 2002 viser at det har skjedd en utdypning av elvebunnen siden den forrige dybdekartleggingen i 1985, ref. /1/. Partiene hvor utdypning av elvebunnen er registrert er vist med skravur på tegning nr. 010. Skienselva har tidligere blitt brukt til tømmerfløting. Tømmer som ligger igjen på bunnen kan ha forårsaket at ekkoloddkartleggingen har registrert grunnere bunnkoter enn reelt. Bunnen av elva er derfor lagt 1-2 m dypere i beregningene enn det som fremkommer av kartet.

Motfyllingene i Profil D og E2 er beregnet i henhold til krav om ”forbedring”, ”vesentlig forbedring”, og ”vesentlig forbedring” med terrenglast tilsvarende to etasjers bolighus på skråningstoppen. I tillegg er det vurdert hvor mye av fyllingen som må legges ut i elva fra lekter før man kan begynne arbeidene fra

land. Motfyllingene som tilfredsstillter krav om ”forbedring” og ”vesentlig forbedring” er presentert for begge profilene i denne rapporten. Motfylling i henhold til krav om ”vesentlig forbedring” med terrenglast er kun presentert for profil D på tegning nr. 103. Alternative sikringstiltak er vurdert for krav om ”vesentlig forbedring”.

3.2 Skjærstyrke

Stabilitetsforholdene er bestemt på basis av den udrenerte skjærstyrke, s_u . Skjærstyrken bestemt ved tolkinga av CPTU-forsøkene er kalibrert mot laboratorieforsøk på blokkprøver, og er tolket basert på målt poretrykk ($N_{\Delta u}$) og spissmotstand (N_{kt}). Grunnvannstand er satt til 4 m under terreng i CPTU118.

Den aktive udrenerte skjærstyrken, s_{ua} , fra CPTU er sammenlignet med s_{ua} utledet på grunnlag av overkonsolideringsgrad, OCR, i henhold til følgende empiriske formel:

$$s_{ua} = 0,3 p_0' \times OCR^{0,65}$$

hvor: $OCR = p_c' / p_0'$

p_0' = effektivt overlagingstrykk

p_c' = forkonsolideringstrykk ut fra antatt tidligere terrengnivå

Grunnen i området er antatt normalkonsolidert ut fra topografi og det kvartærgeologiske kartet over området. Det OCR baserte styrkeprofil er således beregnet på grunnlag av OCR=1. Overkonsolideringsforholdet (OCR) i skråningen regnes fra platånivået.

Skjærstyrken tolket fra CPTU-sonderingene i området samsvarer relativt godt med skjærstyrken utledet fra SHANSEP. Det er derfor valgt å basere stabilitetsvurderingene for hele området på skjærstyrken utledet fra SHANSEP, ref. /1/.

3.3 Analyseverktøy

Stabilitetsberegningene er utført med programmet Postograf. Postograf baserer seg på en likevektsbetraktning i bruddgrensetilstanden, ”Limit equilibrium method” (LEM).

Beregningene er utført med sirkulære glideflater. Det er foretatt beregninger for to profiler, D og E2 (se tegning nr. 010).

I beregningene er det tatt hensyn til at leire er et anisotrop materiale, det vil si at skjærstyrken varierer med glideflatens helning. På grunnlag av erfaringstall fra laboratorieforsøk på en rekke norske leirer er forholdet mellom

styrkeverdiene for aktiv sone, den plane delen av glideflaten og passiv sone satt til $s_{uD} = 0,7 s_{uA}$ og $s_{uP} = 0,4 s_{uA}$.

4 Resultater fra stabilitetsberegningene

4.1 Motfylling

4.1.1 Tidligere beregninger

Det er tidligere utført stabilitetsberegninger og dimensjonering av motfylling i profil D. I beregningene i rapport 20011544-1, datert 14. februar 2003, ref. /1/ er sikkerhetsfaktoren av eksisterende skråning beregnet til 1,01. Den dimensjonerte motfyllingen gir en økning av sikkerhetsfaktoren på 7 %, se tegning nr. 103.

4.1.2 "Forbedring" av stabilitetsforholdene

Kvikkleiresonen Bøle har faregradsklasse middels. Ved å øke den beregningsmessige sikkerheten økes i henhold til krav om "forbedring" vil det her kunne gjennomføres tiltak av begrenset omfang uten tilflytting av mennesker.

Profil D

Profil D ligger lengst oppstrøms i sonen, se tegning 010. Profilet fremgår av tegning 100. På grunn av utdypninger i partier av elvebunnen og tømmer på elvebunnen som omtalt i avsnitt 3.1, er bunnen senket med 1 m 15 m fra land, og 2 m på det dypeste partiet av elvebunnen.

Den beregningsmessige sikkerheten for dagens terreng er 0,99. I følge Figur 1 må sikkerheten økes med 10 %. Ved å legge en motfylling som vist på tegning 100, vil den beregningsmessige sikkerheten økes til 1,11 for den globale glidesirkelen, og 1,12 for den lokale glidesirkelen på land. Avslutningene på de forskjellige trinnene av motfyllingen tilsvarer rasvinkelen til fyllmassene (1:1,25 – 1:1,5).

Volumet av motfyllingen i område D estimeres til 51 500 m³.

Profil E2

Profil E2 ligger i den nedre delen av sonen hvor terrenget er 2 m lavere enn i Profil D. Profilet fremgår av tegning 101. Elvebunnen er, som i Profil D, senket med 1 m 15 m fra land, og 2 m på det dypeste partiet av elvebunnen.

Den beregningsmessige sikkerheten for dagens terreng er 1,14 for en lokal glidesirkel på land, og en global sikkerhet på 1.15. I følge Figur 1 må den beregningsmessige sikkerheten økes med 6,5 %. Ved å legge en motfylling som vist på tegning 101, vil den beregningsmessige sikkerheten økes til 1,21

for den lokale glideflaten på land, og 1,24 for den globale glidesirkelen. Avslutningene på de forskjellige trinnene av motfyllingen er rasvinkelen til fyllmassene (1:1,25 – 1:1,5).

Volumet av motfylling i område E estimeres til 25 000 m³. I tillegg kommer motfylling på land på estimerte 1 400 m³.

4.1.3 ”Vesentlig forbedring” av stabilitetsforholdene

Ved å øke den beregningsmessige sikkerheten i henhold til krav om ”vesentlig forbedring” vil det kunne gjennomføres tiltak som innebærer tilflytting av mennesker, eller utbygging som omfatter viktige samfunnsfunksjoner.

Profil D

Den beregningsmessige sikkerheten for dagens terreng er 0,99. I følge Figur 1 må sikkerheten økes med 15 %. Ved å legge en motfylling som vist på tegning 100, vil den beregningsmessige sikkerheten økes til 1,15 for den dypeste glidesirkelen, og 1,18 for den lokale glidesirkelen på land. Motfyllingen er vesentlig større enn i henhold til krav om ”forbedring”, se tegning 103.

Volumet av motfylling i område D estimeres til 72 500 m³.

Profil E2

Den beregningsmessige sikkerheten for dagens terreng er 1,14 for en lokal glidesirkel på land, og en global sikkerhet på 1.15. I følge Figur 1 må sikkerheten økes med ca. 10 % for den lokale glidesirkelen, og ca. 9 % for den globale glidesirkelen. Ved å legge en motfylling som vist på tegning 101, vil den beregningsmessige sikkerheten økes til 1,26 for den globale glidesirkelen, og 1,25 for den lokale glidesirkelen på land. Motfyllingen er vesentlig større enn i henhold til krav om ”forbedring”.

Volumet av motfylling i område E estimeres til 40 000 m³ i elva, og 3 000 m³ på land.

4.1.4 Terrenglast tilsvarende bebyggelse med to etasjer

Bebyggelse innenfor sonen som innebærer tilflytting av mennesker tilhører tiltaksklasse K3. Sonen Bøle er innenfor faregradsklasse middels, og ny bebyggelse innenfor sonen krever i følge ref. /2/ dermed en ”vesentlig forbedring” av den beregningsmessige sikkerheten.

En terrenglast tilsvarende et bolighus med to etasjer ble satt på toppen av skråningen. For å opprettholde den prosentvise økningen av sikkerhet til ”vesentlig forbedring”, ble motfyllingen uforholdsmessig stor. Se sammenligning av motfyllingene for ulike sikkerhetsnivåer på tegning nr. 103.

4.1.5 Stabilitet ved anleggsarbeider

I første omgang skal det kun legges ut motfylling i elva. Motfyllingen på land planlegges utført på et senere tidspunkt.

Det vil ikke være mulig å legge ut hele motfyllingen i elva fra lekter. Deler av den legges fra lekter, og det resterende fra land. Tegning nr. 102 viser minimum fylling fra lekter for å oppnå tilfredsstillende stabilitet under fyllingsarbeidene fra land. Stabiliteten under anleggsarbeidene er kontrollert for anleggstrafikk på 10 kPa.

Topografien i sonen har lite variasjon. Det anbefales at motfyllingen dimensjonert i profil D legges i de øvre 320 m. Motfyllingen dimensjonert for profil E2 anbefales å legges i de nedre 220 m av sonen. Motfyllingen på land i profil E2 legges kun langs skråningen med størst høydeforskjell og helning (ca. 130 lm). Det presiseres at motfyllingen i elva er et absolutt minimum for å oppnå tilfredsstillende stabilitet. Volumet av motfyllingene på land må ikke overstiges.

Motfyllingen i elva legges ut i to faser. Først fra lekter, det resterende fra land. Det anbefales å legge ut så mye av motfylling som mulig fra lekter før anleggsarbeidene på land starter, og minimum som vist på tegning 102.

Fyllingsarbeidene skal utføres fra lengst ute i elva, og innover mot land. Hvert lag av stein skal ikke overstige 2,0 m høyde. Dette laget fullføres hele veien inn til land før neste lag påbegynnes. Dette for at poretrykksoppbyggingen skal få tid til å dissipiere.

4.2 Alternative sikringstiltak

For å oppnå ”vesentlig forbedring” må det legges ut en svært stor motfylling både i elva og på land. For å redusere omfanget av motfylling på land er det vurdert å benytte masseutskifting med lette fyllmasser, eller kalksementpeler på toppen av skråningen i profil D.

4.2.1 Avlastning av terreng

Da sikkerheten i profil D er lav, må sikkerhetsfaktoren økes noe før gravearbeidene settes i gang. Tegning nr. 104 viser nødvendig motfylling i elva og motfylling på land.

Grunnundersøkelsene indikerer svært bløte masser fra terreng. Dette kan medføre vanskelige graveforhold. Utgravingen må utføres med forsiktighet slik at massene ikke omrøres. Det må anlegges motfylling i foten av skråningen før gravearbeidene starter. Massene skal ikke mellomlagres på området, men kjøres direkte til egnet deponi.

Volumet av nødvendig avlastning i profil D estimeres til 7 700 m³.

4.2.2 *Masseutskifting med lette fyllmasser*

Det er benyttet Leca Lettklinker 0-32 mm i beregningene. I følge ref./4/ har Leca Lettklinker 0-32 mm en karakteristisk friksjonsvinkel på 40,5°. Densiteten er konservativt satt til 7,0 kN/m³ for fylling som helt eller periodevis ligger under vannstand/grunnvannstand da lecaen vil trekke vann ved nedbør.

Da sikkerheten i profil D er lav, må sikkerhetsfaktoren økes noe før gravearbeidene settes i gang. Tegning nr. 105 viser nødvendig motfylling i elva og midlertidig motfylling på land. Den midlertidige motfyllingen på land fjernes når masseutskiftingen er ferdigstilt. Massene kan da benyttes som motfylling på land i område E.

Det er beregnet to forskjellige alternativ for å oppnå tilfredsstillende stabilitet ved bruk av Leca Lettklinker 0-32 mm.

Alternativ 1

Det legges en 2 m tykk fylling langs elvebunnen. Deretter masseutskiftes en 14 m bred og 3,5 m dyp sone langs hele skråningskanten med Leca Lettklinker 0-32 mm. Volumet som må masseutskiftes estimeres til 16 000 m³.

Alternativ 2

Ved å øke motfyllinga i elva som vist på tegning nr. 104, reduseres omfanget av nødvendig masseutskifting. Bredden på sonen reduseres til 8 m, mens dybden er den samme. Volumet som må masseskiftes reduseres til 9 000 m³.

Gravearbeidene må for begge alternativene utføres med forsiktighet da grunnundersøkelsene indikerer bløte masser fra terreng. Massene skal ikke mellomlagres på området, men kjøres direkte til egnet deponi.

4.2.3 *Kalksementpeler*

Under installasjon av kalksementpeler vil grunnforholdene forverres da poretrykket øker. Siden skråningen i dag står med en sikkerhetsfaktor på 1,0, må sikkerheten økes før man kan igangsette kalksementpeling.

Tegning nr. 105 viser nødvendig motfylling i elva og skråningsfoten for å oppnå tilfredsstillende stabilitet under anleggsarbeidene. Fyllingen på land fjernes når den kalksementstabiliserte grunnen har oppnådd tilstrekkelig styrke.

Det installeres doble kalksementribber normalt på skråningen. 30 % av jordvolumet skal bestå av kalksementpeler. I område D settes kalksementpeler over en bredde på 6 m innover i skråningsfoten, og over en bredde på 7 m i

område E. Kalksementpelene settes ned til ulike nivå for å oppnå en fortanning i bunnen av ribbene.

Arbeidene med kalksementpeling må overvåkes med poretrykksmålere. Det må i forkant av arbeidene defineres en alarmgrense for poretrykket slik at arbeidene avsluttes når grensen er nådd. For å unngå stor poretrykkoppbygging, må arbeidene deles opp slik at man får størst mulig avstand mellom ribbene under installasjonsarbeidene. Det må påses at kalksementpelingen foregår ved bruk av lavest mulig trykk for å hindre forstyrrelse av de omkringliggende massene. Arbeidene må følges opp av geotekniker gjennom hele anleggsfasen.

4.2.4 Saltbrønner

Ved å tilføre saltioner i kvikkleira vil leiras sensitivitet avta og udrenert styrke øke. Følgelig vil skredfaren avta. Tilsetning av salt gjøres ved å bore et rutemønster over hele området med perforerte rør. Rørene fylles med salt og vil fungere som anoder i leirmassivet.

Tilføring av salt kan utføres på tre måter:

- a) Det bores et rutenett med saltbrønner over hele området. Brønnene fylles med salt og vann slik at saltet går i oppløsning. Det saltholdige vannet vil kunne strøme ut i omkringliggende leire ved naturlig grunnvannsstrømning. Ved å holde et overtrykk i brønnene i forhold til omgivelsene, vil grunnvannstrømningen øke.
- b) Som i a), men i tillegg installeres jernstenger som katoder et stykke unna. Dette vil føre til en saltdiffusjon fra røret til jernstangen.
- c) Ved å sette på likestrøm vil poretrykket øke ved katodene siden disse vil trekke vann fra anoden til katoden. Strømforbruket vil øke etter hvert som saltet trekker inn i leira grunnet økt elektrisk konduktivitet. Spesielt vil dette være tilfelle i sand/siltlag.

I henhold til ref./5/ vil tilsetning av kaliumklorid (KCl) øke skjærstyrken betraktelig. Prosessen tar relativt lang tid, anslagsvis 2-3 år. Arbeidene med å stabilisere en utgravning i Oslo på 70-tallet viste en økning av skjærstyrken på hele 200 % i løpet av 3 år. Det er imidlertid ikke benyttet tilsetning av salt i kvikkleire som stabiliserende tiltak siden 60-/70-tallet. Metoden anbefales ikke i skråninger med lav sikkerhetsfaktor da vanninnholdet vil øke lokalt i skråningen.

5 Kostnadsoverslag

Tabell 2 viser estimerte enhetspriser per kubikkmeter masse.

Tabell 2 Estimerte enhetspriser eks.mva.

Enhetspriser	kr/m ³ eks.mva.
Tilkjøring og utlegging av stein	300,-
Fjerning av masser og bortkjøring	150,-
Opplasting av masser og utlegging i samme område	35,-
Leca Lettklinker 0-32 mm	350,-
Kalksementpeler	350,-

5.1 Motfylling

Kostnadsoverslag for motfylling dimensjonert i henhold til krav om ”forbedring” er gjengitt i Tabell 3.

Tabell 3 Estimerte kostnader for motfylling iht. krav om ”forbedring”

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D	51 500	15 450 000,-
Profil E2		
I elva	25 000	7 500 000,-
På land	1 400	420 000,-
<i>Totalt</i>		<i>23 370 000,-</i>

For å oppnå tilfredsstillende sikkerhet i henhold til krav om ”vesentlig forbedring” trengs en massiv motfylling i elva og på land. Estimerte kostnader er vist i Tabell 4.

Tabell 4 Estimerte kostnader for motfylling iht. krav om ”vesentlig forbedring”

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D	72 500	21 750 000,-
Profil E2		
I elva	40 000	12 000 000,-
På land	3 000	900 000,-
<i>Totalt</i>		<i>34 650 000,-</i>

5.2 Avlastning av terreng

Kostnadsoverslag for avlastning av terreng er gjengitt i Tabell 5 og Tabell 6. Det er ikke vurdert avlastning i profil E2. Det er derfor gitt kostnadsoverslag for avlastning i område D kombinert med enten motfylling eller kalksementpeler i område E.

Tabell 5 Estimerte kostnader ved avlastning av terreng i område D, og motfylling i område E

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D		
Motfylling i elva	46 000	13 800 000,-
Motfylling på land	7 000	2 100 000,-
Fjerning av masser	8 000	1 200 000,-
Profil E2		
Motfylling i elva	40 000	12 000 000,-
Motfylling på land	3 000	900 000,-
<i>Totalt</i>		<i>30 000 000,-</i>

Tabell 6 Estimerte kostnader ved avlastning av terreng i område D, og kalksementpeling i område E

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D		
Motfylling i elva	46 000	13 800 000,-
Motfylling på land	7 000	2 100 000,-
Fjerning av masser	8 000	1 200 000,-
Profil E2		
Motfylling i elva	19 500	5 850 000,-
Motfylling på land	2 500	750 000,-
Kalksementpeling	6 500	2 275 000,-
<i>Totalt</i>		<i>25 975 000,-</i>

I tillegg kommer omlegging av veg og vannledning, samt arondering av arealet. Det må vurderes i felt om tiltaket kommer i konflikt med bebyggelsen.

5.3 Masseutskifting med lette fyllmasser

Tabell 7 og Tabell 8 viser kostnadsoverslaget for motfylling i elva og masseutskifting som beskrevet i alternativ 2 under avsnitt 4.2.2. Det er ikke vurdert masseutskifting i profil E2. Det er derfor gitt kostnadsoverslag for masseutskifting i område D kombinert med enten motfylling eller kalksementpeler i område E.

Tabell 7 Estimerte kostnader ved masseutskifting i område D, og motfylling i område E.

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D		
Motfylling i elva	46 000	13 800 000,-
Motfylling på land	7 000	2 100 000,-
Fjerning av gravemasser	9 000	1 350 000,-
Leca lettklinker	9 000	3 150 000,-
Profil E2		
Motfylling i elva	40 000	12 000 000,-
Motfylling på land (fra område D)	3 000	105 000,-
Fjerning av overskuddsmasser	4 000	600 000,-
Totalt		33 105 000,-

Tabell 8 Estimerte kostnader ved masseutskifting i område D, og kalksementpeling i område E.

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D		
Motfylling	46 000	13 800 000,-
Motfylling på land	7 000	2 100 000,-
Fjerning av gravemasser	9 000	1 350 000,-
Leca lettklinker	9 000	3 150 000,-
Profil E2		
Motfylling i elva	19 500	5 850 000,-
Motfylling på land (fra område D)	2 500	88 000,-
Fjerning av overskuddsmasser	4 500	675 000,-
Kalksementpeling	6 500	2 275 000,-
Totalt		29 288 000,-

I tillegg kommer omlegging av veg og vannledning, samt arondering av arealet. Det må vurderes i felt om tiltaket kommer i konflikt med bebyggelsen.

5.4 Kalksementpeler

For å oppnå tilfredstillende sikkerhet under anleggsfasen, må sikkerheten økes i forkant av kalksementpelingen. Dette innebærer at det må legges ut motfylling i elva i forkant av kalksementpelingen. I tillegg må det legges ut en motfylling av sand i foten av område D for få en tilstrekkelig økning av sikkerheten. Denne motfyllingen må bestå av sand for at riggen skal kunne bore gjennom den.

Tabell 9 Estimerte kostnader ved kalksementpeling

	Volum (m ³)	Kostnadsoverslag (kr eks.mva.)
Profil D		
Motfylling i elva	46 000	13 800 000,-
Motfylling på land (sand)	7 000	2 100 000,-
Kalksementpeling	8 000	2 800 000,-
Profil E2		
Motfylling i elva	19 500	5 850 000,-
Motfylling på land	2 500	750 000,-
Kalksementpeling	6 500	2 275 000,-
<i>Totalt</i>		<i>27 575 000,-</i>

Kostnadsoverslaget inkluderer ikke installering av poretrykksmålere, prosjektering av kalksementpelingen, eller kostnader i forbindelse med oppfølging under anelgsfasen.

6 Konklusjoner

6.1 Valg av sikkerhetsnivå

Kravene til forbedret beregningsmessig sikkerhet i NVE's retningslinjer nr. 1/2007 skal oppfylles når det iverksettes tiltak innenfor kvikkleiresoner. Det foreligger ingen retningslinjer for nødvendig prosentvis økning i skråninger med eksisterende bebyggelse. Dette forutsettes vurdert i hvert enkelt tilfelle.

I NGI-rapport nr. 20011544-1, ref. /1/, er den beregningsmessige sikkerheten for profil D økt med 7 %. Dimensjonene på motfyllingene blir vesentlig større ved å tilfredsstillere kravene om "forbedring" og "vesentlig forbedring", se tegning 103.

Forbedringen av den beregningsmessige sikkerheten som oppnås ved "forbedring" gir rom for å utføre tiltak som er av begrenset omfang, og må ikke forringe stabiliteten. Det understrekes at motfyllingen som skissert i denne rapporten ikke gir rom for tiltak som innebærer tilflytting av mennesker, eller utbygging med viktige samfunnsfunksjoner. Dette innebærer boliger, institusjoner, næringsbygg, skoler, toglinjer, sentralt kraftnett o.l.

Med en "vesentlig forbedring" av den beregningsmessige sikkerheten kan det tillates tiltak som innebærer tilflytting av mennesker, og bygging av bygninger og infrastruktur med viktige samfunnsfunksjoner.

Eventuell utbygging i området må ikke forringe stabiliteten i området.

6.2 Valg av tiltak

Ved å øke sikkerheten i henhold til ”vesentlig forbedring” økes dimensjonen på motfyllingen betraktelig i forhold til krav om ”forbedring”. Dette vil føre til økte kostnader, samt stor motfylling i elva og på land. For å unngå at terrenget på land skal endres så drastisk kan man velge masseutskifting, eller kalksementpeling. Dette medfører en motfylling i elva, og redusert motfylling på land. Motfyllingen langs elvebredden kan benyttes som turvei om fyllingen heves over vannflaten.

Motfylling dimensjonert i henhold til krav om ”forbedring” vil være langt billigere enn motfylling dimensjonert i henhold til krav om ”vesentlig forbedring”.

Det billigste alternativet for å oppnå en heving av sikkerheten i henhold til krav om ”vesentlig forbedring”, er avlastning av terreng i område D kombinert med kalksementpeling i område E. Det er ikke medregnet kostnader omlegging av veg og vannledning, eller arondering av terrenget etter at arbeidene med de stabiliserende tiltakene er avsluttet.

Det er forbundet risiko med utgraving i de bløte massene og kalksementpeling. Motfylling er den tryggeste metoden for å sikre området. Alle sikringstiltak må følges opp av geotekniker.

7 Referanser

- /1/ Norges Geotekniske Institutt (2003)
Skienselva. Risiko for kvikkleireskred. Grunnundersøkelser, stabilitetsanalyser og forslag til sikringstiltak.
Rapport nr. 20011544-1, datert 14. februar 2003
- /2/ Norges Vassdrags- og Energidirektorat (2007)
Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag.
Retningslinjer nr. 1 2007
- /3/ Scandiaconsult (2002)
Skienselva i Skien og Porsgrunn – Grunnundersøkelser datarapport
Rapport nr. 6202207A-1, datert 4. oktober 2002
- /4/ Leca (2002)
Leca lett fyllmasse
Leca 12.100 – 2002
- /5/ Eggestad, A. og Sem, H. (1976).
Stability of excavations improved by salt diffusion from deep wells.
Sixth European conference on soil mechanics and foundation



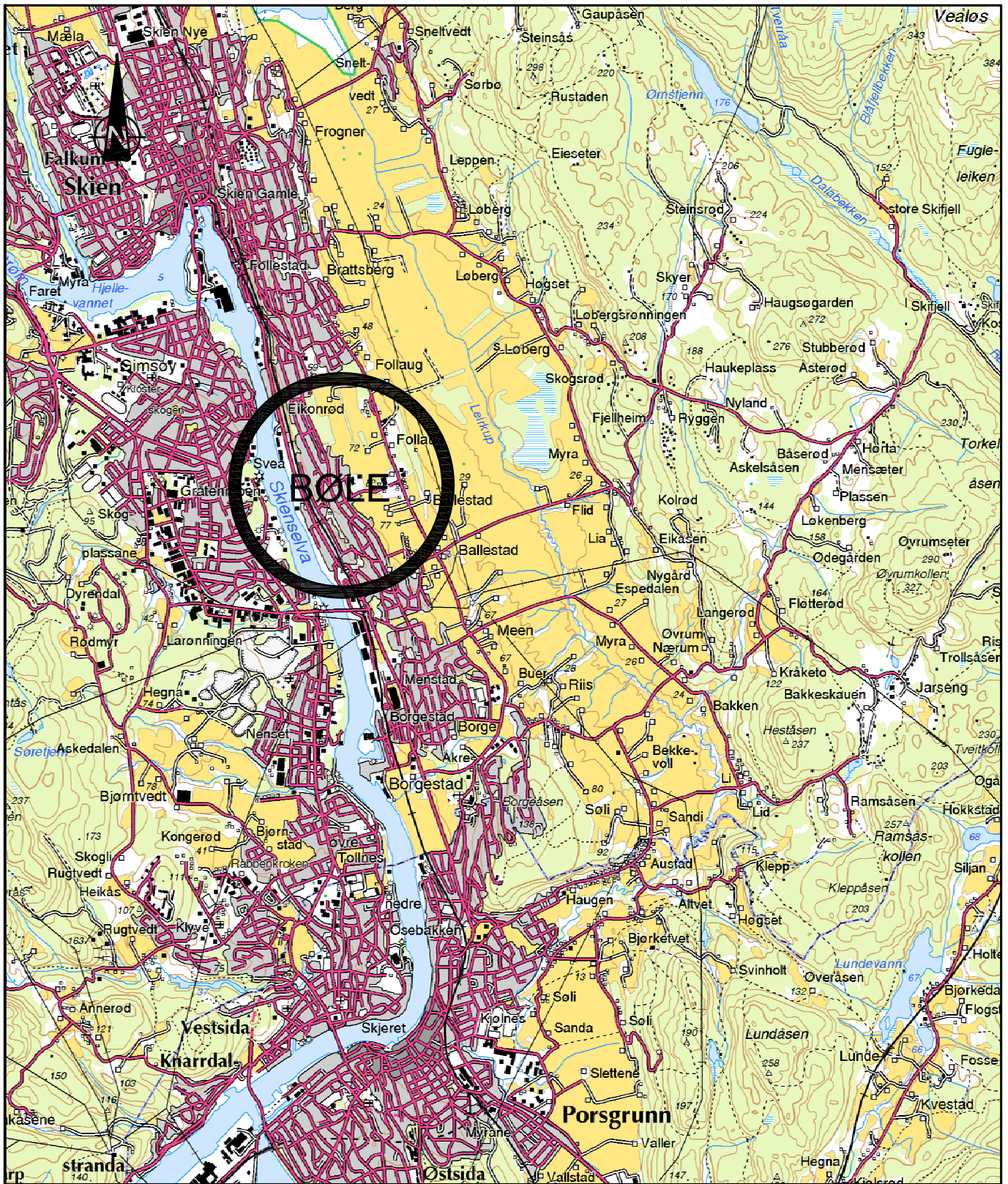
Rapport nr.: 20011544-3
Dato: 2008-04-21
Rev. dato: 2008-08-08
Side: 20 / Rev.: 1

engineering – Deep foundations and deep excavations. Proceedings,
Vienna 22nd to 24th March 1976, Volume 1.1. s. 211-216



Rapport nr.: 20011544-3
Dato: 2007-11-16
Rev. dato: 2008-08-08
Side:
Rev.: 1

Tegninger



NVE REGION SØR

SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKKLEIRESKRED

Bøle, Skien kommune
Oversiktskart

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato
05.11.2007

Oppdragsnr.

20011544

Konstr./Tegnet
TEH

Tegningsnr.

001

Status

Original format

A-4

Tegningens filnavn

autograf.rif\rapp3\001.dwg

Målestokk

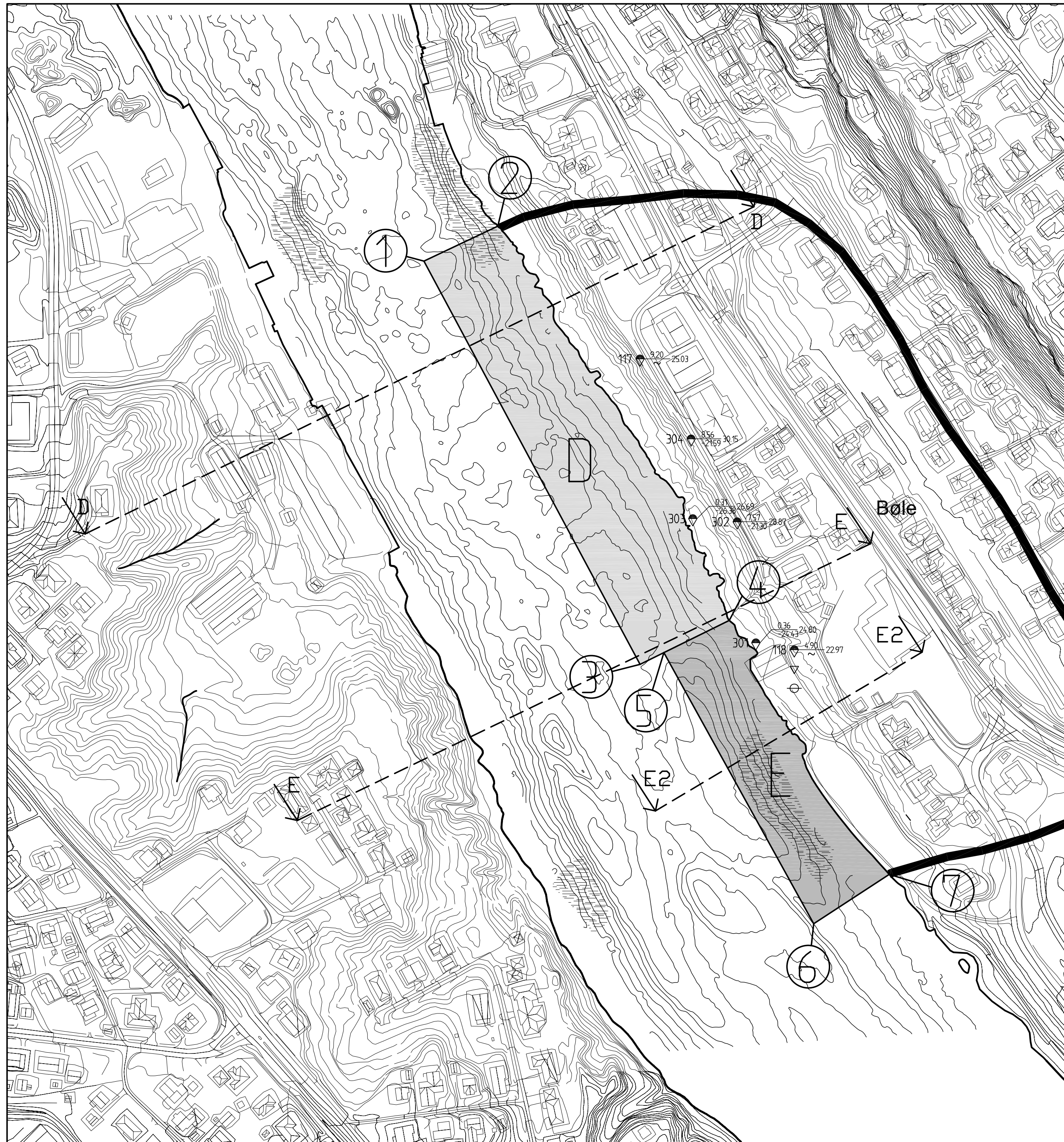
1:50000



Kontrollert
OG

Rev.

Godkjent
OG



TEGNFORKLARING :

- Dreiesondring
- Enkel sondring
- ▽ Trykksondring
- ★ Fjellkontrollboring
- ◆ Dreietrykksondring
- Totalsondring
- ⊙ Prøveserie
- Prøvegrop
- + Vingeboring
- ⊖ Poretrykksmåling
- ⋈ Fjell i dagen

Borhull nr. $\frac{\text{Terreng kote}}{\text{Antall fjellkote}}$ Boret dybde + (boret i fjell)

////// Erosjon/Utdypning (forskjell mellom dybdemålinger fra 1985 og 2002)

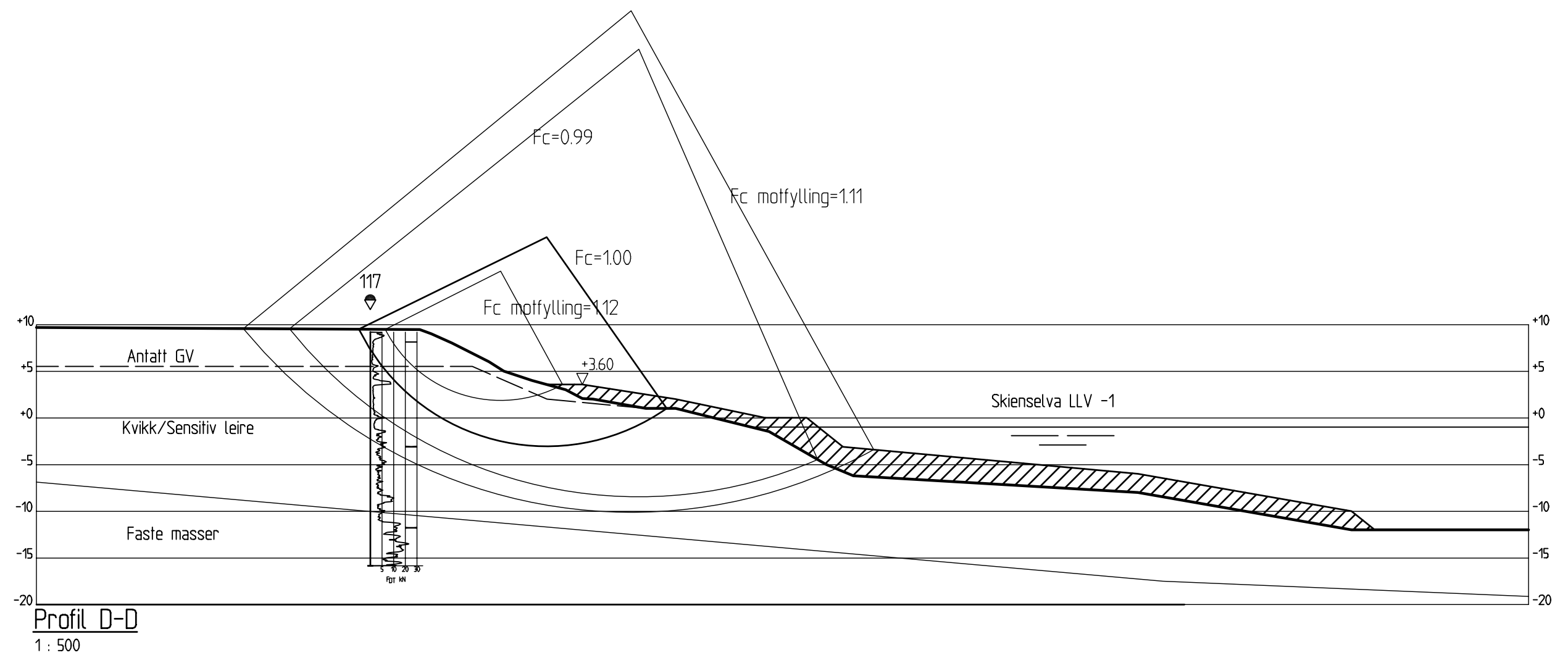
Koordinater knekkpunkter utfylling i elv

- ① X 6560395 Y 535920
- ② X 6560420 Y 535972
- ③ X 6560112 Y 536072
- ④ X 6560120 Y 536088
- ⑤ X 6560121 Y 536088
- ⑥ X 6559930 Y 536194
- ⑦ X 6559965 Y 536247

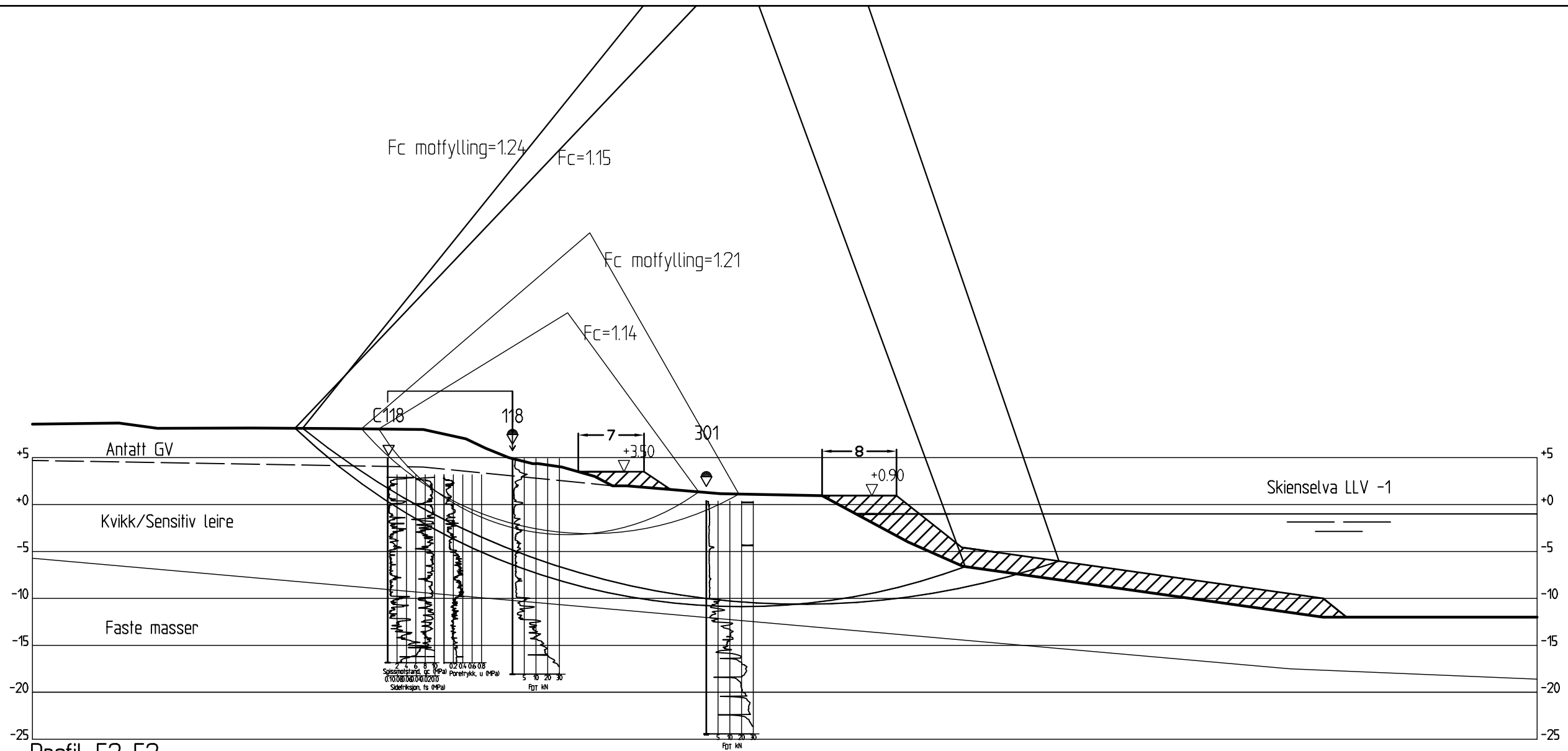
Utfyllingsvolum område D 51480m³
 Utfyllingsvolum område E 24690m³



NVE REGION SØR SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKLEIRESKRED		Status	
		Original format	A-2
Bøle, Skien kommune Borplan og stabiliserende tiltak i henhold til krav om "forbedring"		Tegningens filnavn	
		Autograf.rvt\rapp3\010.dwg	
Norges Geotekniske Institutt Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48 www.ngi.no		Målestokk	12000
Dato		Konstr./Tegnet	Kontrollert
13.11.2007			
Oppdragsnr.		Tegningsnr.	Rev.
20011544		010	

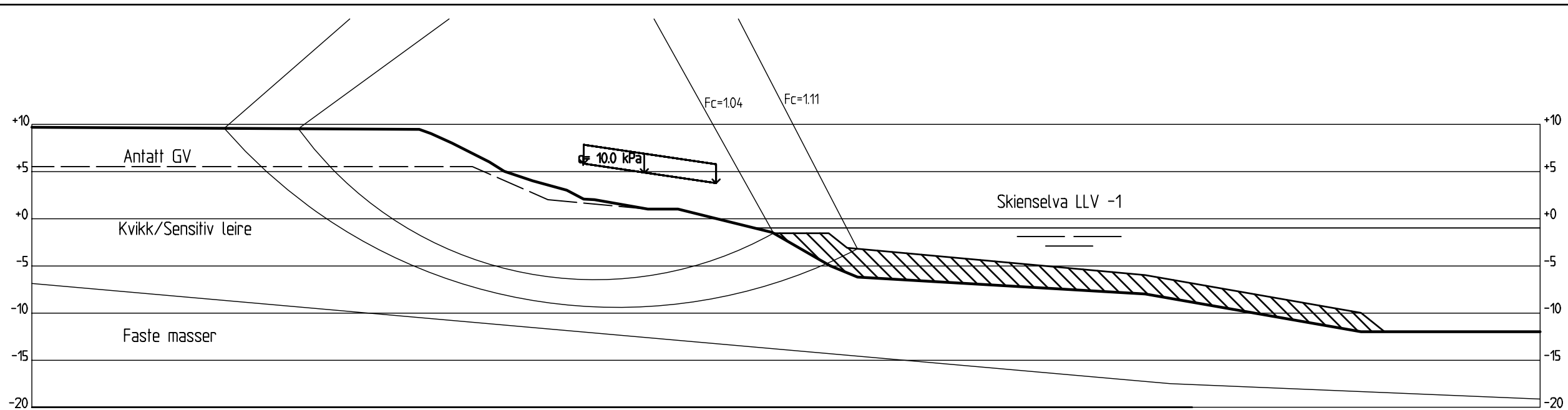


Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
		Status			
		Original format A-3			
		Tegningens filnavn Autograf.rit\rapp 3\100.dwg			
		Målestokk			
		1:500			
NVE REGION SØR SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKKLEIRESKRED		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Bøle, Skien kommune Profil D-D - Stabiliserende tiltak i henhold til krav om "forbedring"		06.11.2007			
Norges Geotekniske Institutt Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48 www.ngi.no		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20011544	100		



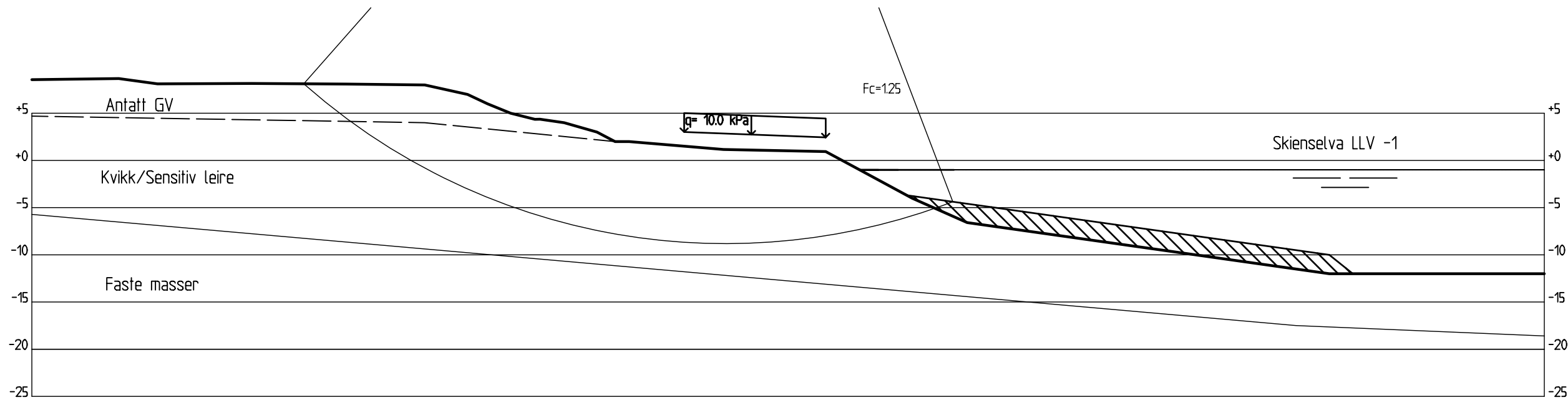
Profil E2-E2
1 : 500

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.
		Status			
		Original format			
		A-3			
		Tegningens filnavn			
		Autograf.rit\rappp 3\101.dwg			
		Målestokk			
		1:500			
NVE REGION SØR SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKKLEIRESKRED Bøle, Skien kommune Profil E2-E2 - Stabiliserende tiltak i henhold til krav om "forbedring"		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48 www.ngi.no		05.11.2007			
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20011544	101		



Profil D-D

1 : 500



Profil E2-E2

1 : 500

NVE REGION SØR
SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKKLEIRESKRED

Bøle, Skien kommune
Minimum fylling lagt ut fra lekter

Status
Original format
A-3
Tegningens filnavn
Autograf.rit\rapp 3\102.dwg
Målestokk

1:500



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato
05.11.2007

Konstr./Tegnet

Kontrollert

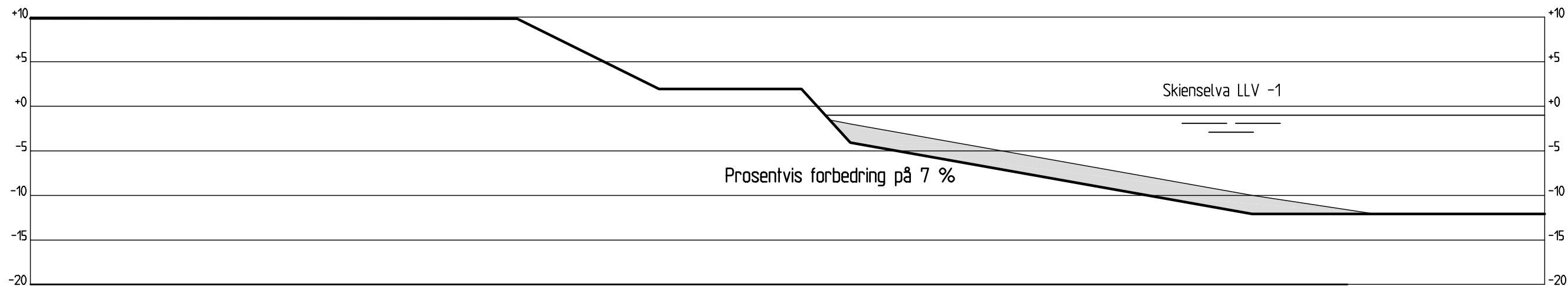
Godkjent

Oppdragsnr.
20011544

Tegningsnr.

102

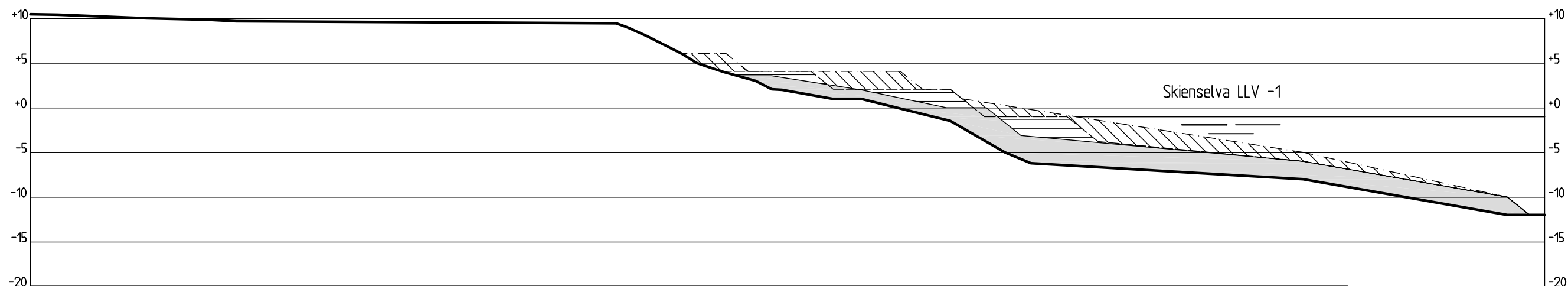
Rev.



Profil D-D - NGI-rapport 20011544-1, datert 14.02.2003

1 : 500

q= 20.0 kPa (bebyggelse og vesentlig forbedring)



Profil D-D

1 : 500

-  Forbedring
-  Vesentlig forbedring
-  Vesentlig forbedring med terrenglast 20 kPa

NVE REGION SØR
SKIENSELVEN RISIKO FOR KVIKKLEIRESKRED

Bøle, Skien kommune
Sammenligning av motfylling for ulike sikkerhetsnivåer

Status
Original format
A-3
Tegningens filnavn
autograf_rif\rap3\103.dwg
Målestokk

1:500



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Fax: 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato
07.11.2007

Konstr./Tegnet

Kontrollert

Godkjent

Oppdragsnr.
20011544

Tegningsnr.

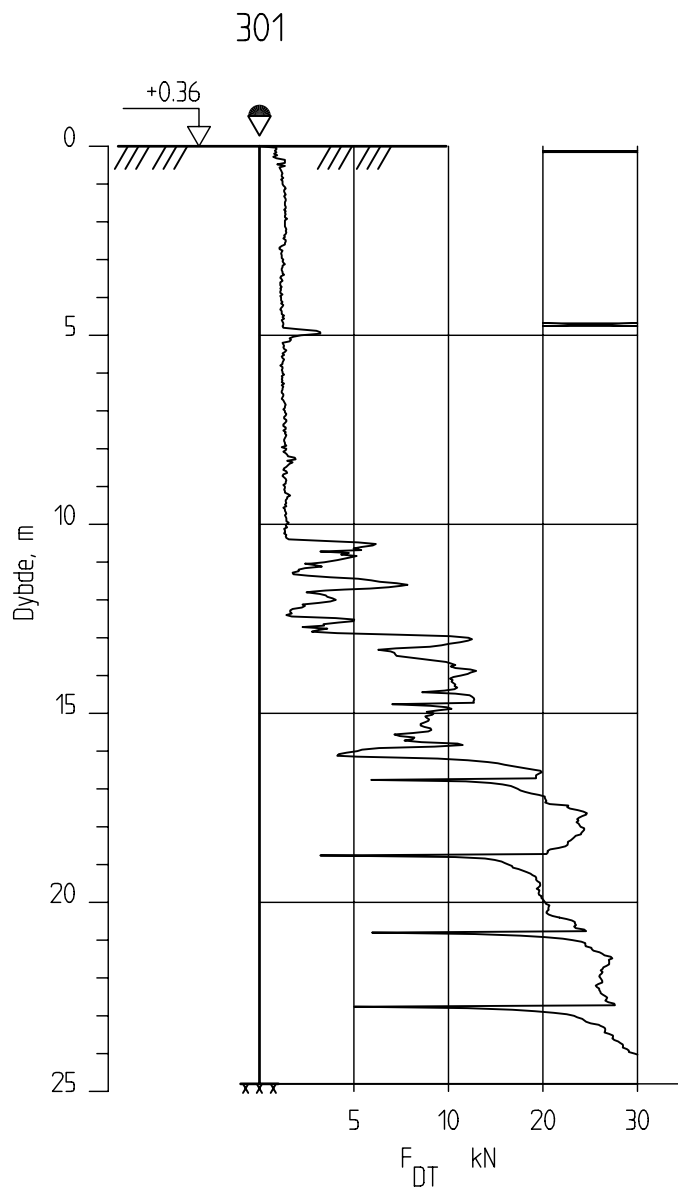
103

Rev.



Rapport nr.: 20011544-3
Dato: 2007-11-16
Rev. dato: 2008-08-08
Side: A1
Rev.: 1

Vedlegg A - Grunnundersøkelser



Skienelven Risiko for kvikkleireskred

Rapport nr.
20011544-3

Figur nr.
A.1

Dreietrykkssondering
M = 1 : 200

Tegner

Dato:
16.11.07

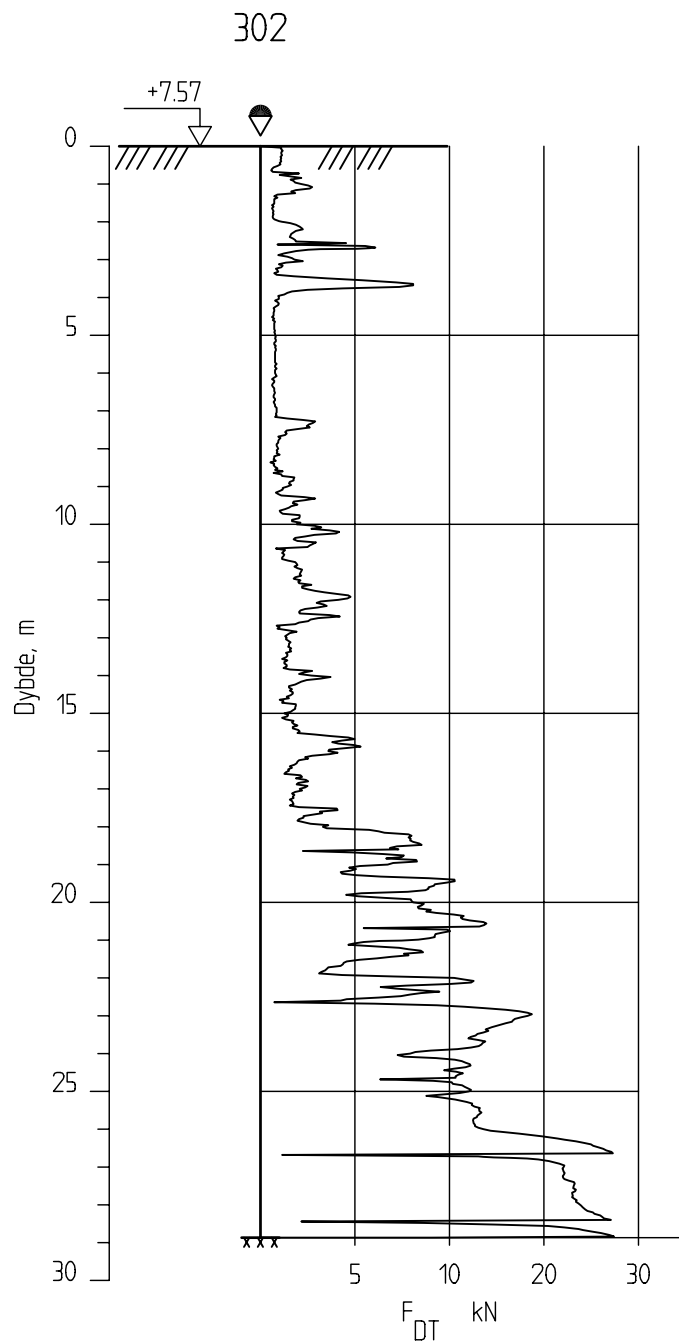
Borhull 301
Posisjon: X 6560127.60 Y 536152.94

Forsök nr. :
Sonde nr. :
Dato boret :20.06.2007

Kontrollert

Godkjent





Skienaselven Risiko for kvikkleireskred

Rapport nr.
20011544-3

Figur nr.
A.2

Dreietrykkssondering
M = 1 : 200

Tegner

Dato:
16.11.07

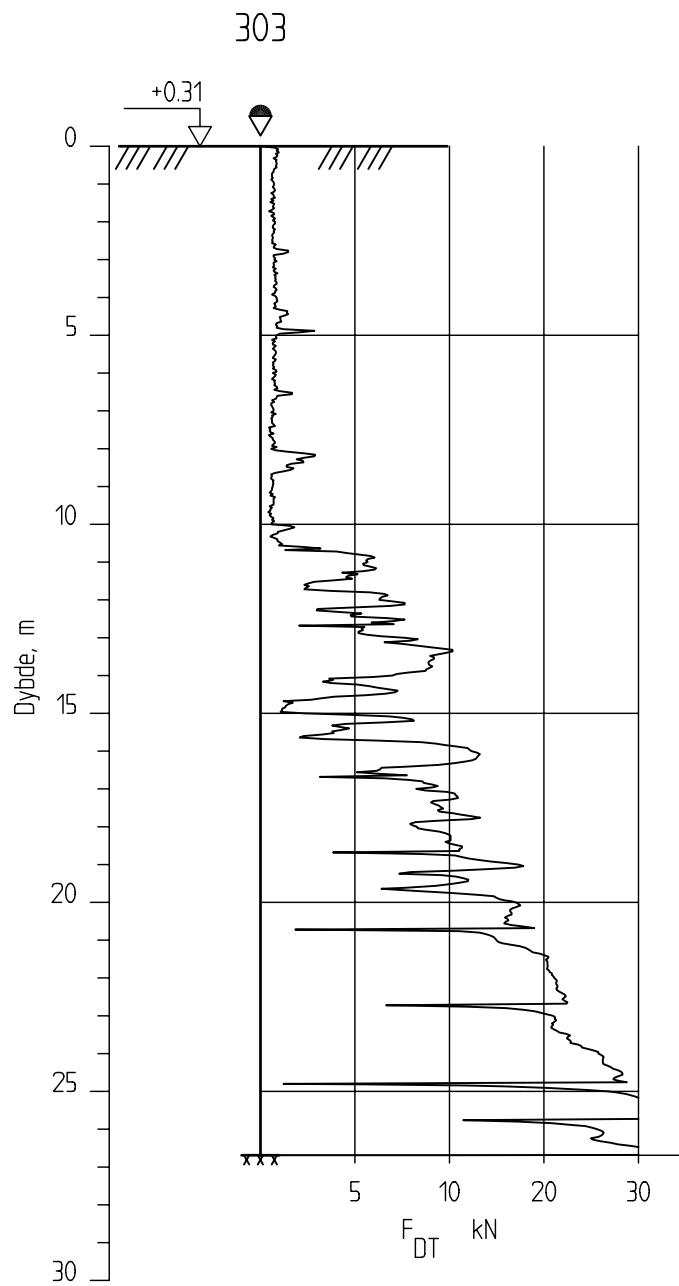
Borhull 302
Posisjon: X 6560212.54 Y 536139.84

Forsök nr. :
Sonde nr. :
Dato boret :20.06.2007

Kontrollert

Godkjent





Skienelven Risiko for kvikkleireskred

Rapport nr.
20011544-3

Figur nr.
A.3

Dreietrykkssondering
M = 1 : 200

Tegner

Dato:
16.11.07

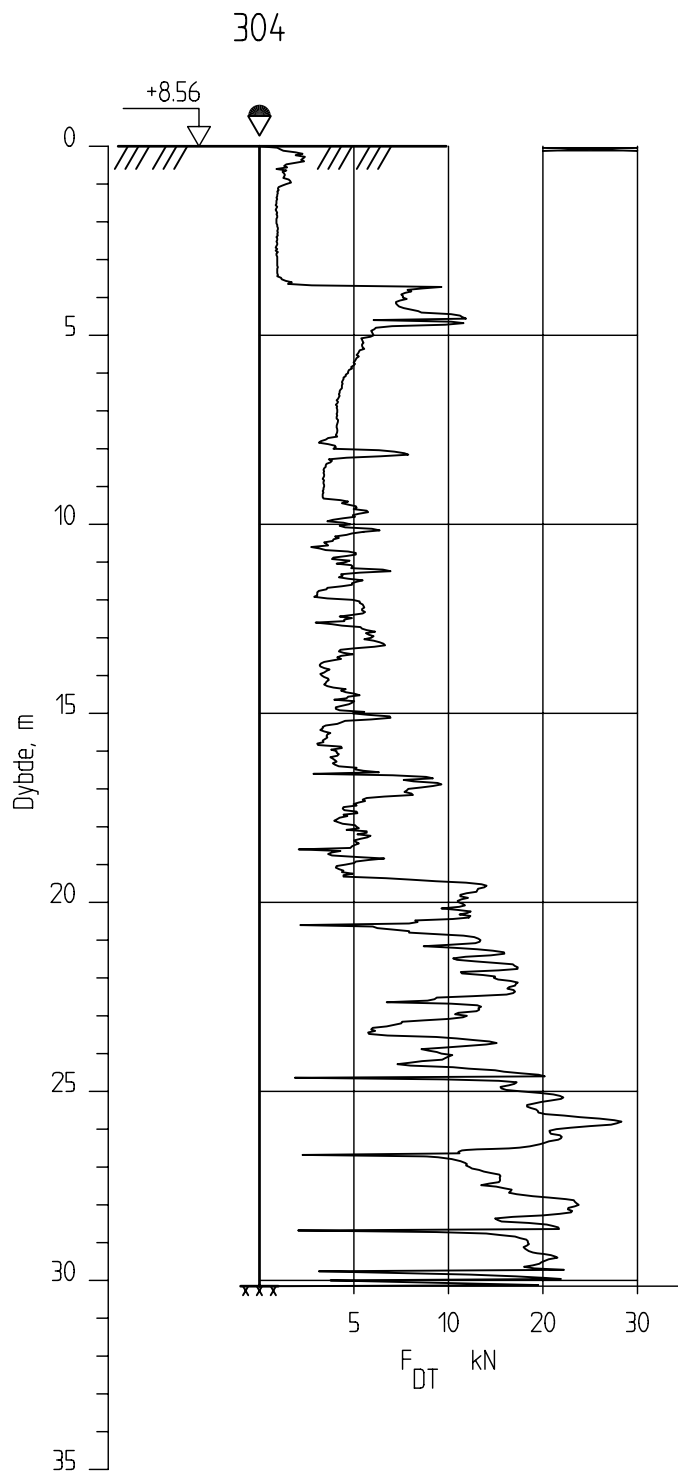
Borhull 303
Posisjon: X 6560214.77 Y 536108.70

Forsök nr. :
Sonde nr. :
Dato boret :20.06.2007

Kontrollert

Godkjent





Skienelven Risiko for kvikkleireskred

Rapport nr.
20011544-3

Figur nr.
A.4

Dreietrykkssondering
M = 1 : 200

Tegner

Dato:
16.11.07

Borhull 304
Posisjon: X 6560270.72 Y 536107.49

Forsök nr. :
Sonde nr. :
Dato boret :20.06.2007

Kontrollert

Godkjent



Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Program for økt sikkerhet mot leirskred			Dokument nr/Document No. 20011544-3		
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution		Dato/Date	
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited		16. november 2007	
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited		Rev.nr./Rev.No.	
		<input type="checkbox"/> Ingen/None		1 8. august 2008	
Oppdragsgiver/Client NVE Region Sør					
Emneord/Keywords quick clay, slope stability, risk assessment					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Telemark			Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality Skien			Feltnavn/Field name		
Sted/Location Bøle			Sted/Location		
Kartblad/Map 1713 II			Felt, blokknr./Field, Block No.		
UTM-koordinater/UTM-coordinates 32VNL360605					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	TEH	OG		
1		TEH	OG		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date		Sign. Prosjektleder/Project Manager	
				Odd Gregersen	

NGI er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

NGI arbeider i følgende markeder: olje og gass, bygg og anlegg, samferdsel, naturskade og miljøteknologi.

NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002, og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI is a leading international centre for research and consulting in the geosciences.

NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the environment, installations and structures.

NGI works within the oil and gas, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA. NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002, and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirseneteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

