

Til: Lillestrøm Kommune
v/ Kjersti Mikalsen, Solveig Tveter Bratlie
Kopi til:
Dato: 2024-02-15
Rev.nr. / Rev.dato: 2 / 2024-11-15
Dokumentnr.: 20230480-02-TN
Prosjekt: Utredning av skredfare for Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner)
Prosjektleder: Laura Rødvand
Utarbeidet av: Laura Rødvand
Kontrollert av: Håkon Heyerdahl

Utredning av skredfare for Tømmereggen (Frogner)

Innhold

1	Innledning	3
2	Regelverk og krav	4
3	Grunnlag	4
3.1	Tidligere utførte grunnundersøkelser	4
3.2	Geologiske og topografiske kart	5
3.3	Tidligere kartlagte kvikkleirefaresoner	7
3.4	Vernede raviner	7
4	Befaring	8
5	Grunnundersøkelser	9
6	Kritiske beregningssnitt og aktuelle skredmekanismer	9
7	Materialparametere	11
7.1	Poretrykksforhold	11
7.2	Beregningsparametere	12
8	Stabilitetsberegninger: dagens situasjon	14
8.1	Utførte beregninger	14
8.2	Drenert sikkerhet	15
8.3	Udrenert sikkerhet	16
9	Vurdering av dagens situasjon	16
9.1	Drenerte brudd	16
9.2	Udrenerte brudd	16
9.3	Bakovergripende (retrogressiv) bruddutvikling	17
9.4	Grunne glidninger	17
10	Ny kvikkleirefaresone	17
10.1	Avgrensning av løsneområdet	17
10.2	Avgrensning av utløpsområdet	18
10.3	Klassifisering av kvikkleirefaresone	18

11	Mulige sikringstiltak	18
11.1	Unngå forverring av skråningsstabiliteten	19
11.2	Forbedring av skråningsstabiliteten ved topografiske endringer	19
11.3	Forbedring av skråningsstabiliteten ved kontroll av grunnvannstand	22
11.4	Forbedring av datagrunnlaget	26
11.5	Andre sikringstiltak	27
12	Sammendrag og konklusjoner	27
13	Referanser	30

Tegninger

Tegning nr. 020	Plantegning, plassering profiler og borpunkt
Tegning nr. 021	Lagdeling Profil T1
Tegning nr. 022	Lagdeling Profil T1
Tegning nr. 023	Lagdeling Profil T3
Tegning nr. 024	Lagdeling Profil T4

Vedlegg

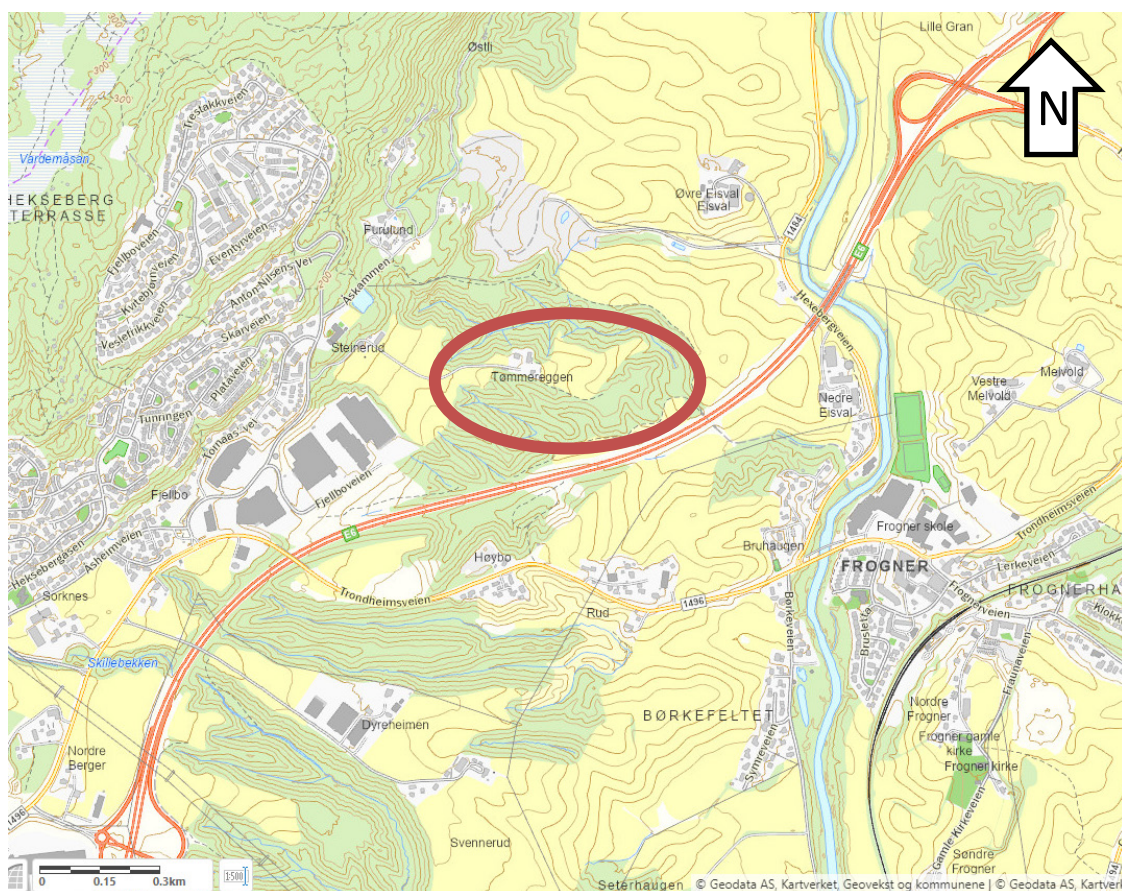
Vedlegg A	Oppsummering av feltbefaringen
Vedlegg B	Tolkede aktive udrenerte skjærfasthetsprofiler fra CPTu-sonderinger
Vedlegg C	Stabilitetsberegninger
Vedlegg D	Kart med løsneområdet og utløpsområdet
Vedlegg E	Klassifisering av faresone

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Tømmereggen er en løsmasserygg omgitt av høye og til dels bratte leirskråninger. Det ligger en stor og dyp ravine med bekk nord for ryggen, og sør for løsmasseryggen finnes det også flere raviner. Ravinebunnen faller i østlig retning, mot E6. Beliggenhet av Tømmereggen er vist på Figur 1-1. Bebyggelsen på Tømmereggen består av to bolighus og en låve, pluss noen mindre gårdsbygg. Grunneierne har sendt bekymringsmelding til kommunen etter at en sprekk i grunnen på toppen av skråningen ble observert i skråningen mot nord.

NGI er engasjert av Lillestrøm kommune for å vurdere grunnforholdene ved Tømmereggen, regne på skråningsstabilitet og vurdere skredfaren for området, basert på nye geotekniske grunnundersøkelser. Det er også gitt en vurdering av behovet for sikring, samt hvilke (realistiske) muligheter det er for sikring av bygningene. I foreliggende rapport (rev. 1) er tolkning av bergoverflate fra ERT-målinger inkludert, og det er utført stabilitetsberegninger for stabiliserende tiltak. Det er også gitt en mer utfyllende beskrivelse av resultatene for dagens situasjon.



Figur 1-1. Beliggenhet av Tømmereggen

Revisjon 2 av dette notatet er utgitt etter uavhengig kvalitetssikring av notatet, utført av Romerike Geoteknikk (ref. /16/), og gir utdypning av noen detaljer ang. tolkning av bergoverflate fra ERT-målinger, valg av poretrykksparametere og valg av udrenert styrkeprofil. Det er ingen endringer i stabilitetsberegningene, foreslåtte tiltak eller i konklusjonene.

2 Regelverk og krav

Dette notatet gir en vurdering av skråningsstabilitet og skredfare for eksisterende bebyggelse på Tømmereggen. Sikkerhetskrav i lovverket som stilles ved bygging av nye bolighus er gitt som referanse, men disse kravene gjelder ikke for eldre, eksisterende bebyggelse.

- Krav om lokalstabilitet iht. Eurokode 7: Materialfaktor for stabilitet av løsmasseskråninger skal være minimum $\gamma_m=1,25$ for effektivspenningsanalyser (drenert tilstand, dvs. langtidstilstand) og $\gamma_m=1,4$ for totalspenningsanalyser (udrenert tilstand, dvs. korttidstilstand).
- Krav om områdestabilitet iht. TEK17 med veiledning, jfr. NVEs kvikkleireveileder 1/2019 (ref. /6): Bygging av inntil to nye boligenheter innenfor en kvikkleiresone faller under tiltakskategori K3, hvor det stilles følgende sikkerhetskrav:
 - «Hvis tiltaket forverrer stabiliteten skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$, hvor f_s er sprøhetsforholdet som korrigerer for sprøbruddeffekt (=1,15) i de udrenerte beregningene...».
 - «For tiltak som ikke forverrer stabiliteten er kravet til sikkerhet $F_{cu} \geq 1,40$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$. Ved lavere sikkerhet må F_{cu} og $F_{c\phi}$ økes prosentvis...»

«For skråninger i faresonen som ligger utenfor influensområdet til tiltaket, gjelder krav til sikkerhet $F_{c\phi} \geq 1,25$, samt krav til robusthet $F_{cu} \geq 1,20$. Ved lavere sikkerhet og/eller robusthet skal $F_{c\phi}$ og F_{cu} økes prosentvis...»

3 Grunnlag

3.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser

Det er tidligere utført grunnundersøkelser i området ved to anledninger:

- Løvlien, 2008 ref. /1/: Disse grunnundersøkelsene består hovedsakelig av totalsonderinger pluss en prøveserie på Tømmereggen.
- Løvlien, 2015 ref. /2/: Grunnundersøkelser nordvest for Tømmereggen: Total- og CPTu-sonderinger, samt prøvetaking og poretrykksmålere.

Løvlien har vurdert stabilitet ved Tømmereggen (ref. /3/ og /4/) ifm. planlagt utbygging av Frogner Næringspark. Stabiliteten for daværende situasjon (dvs. uten utbygging av næringsparken) var beregningsmessig lav, med sikkerhetsfaktor ned mot 1,0. Nærings-

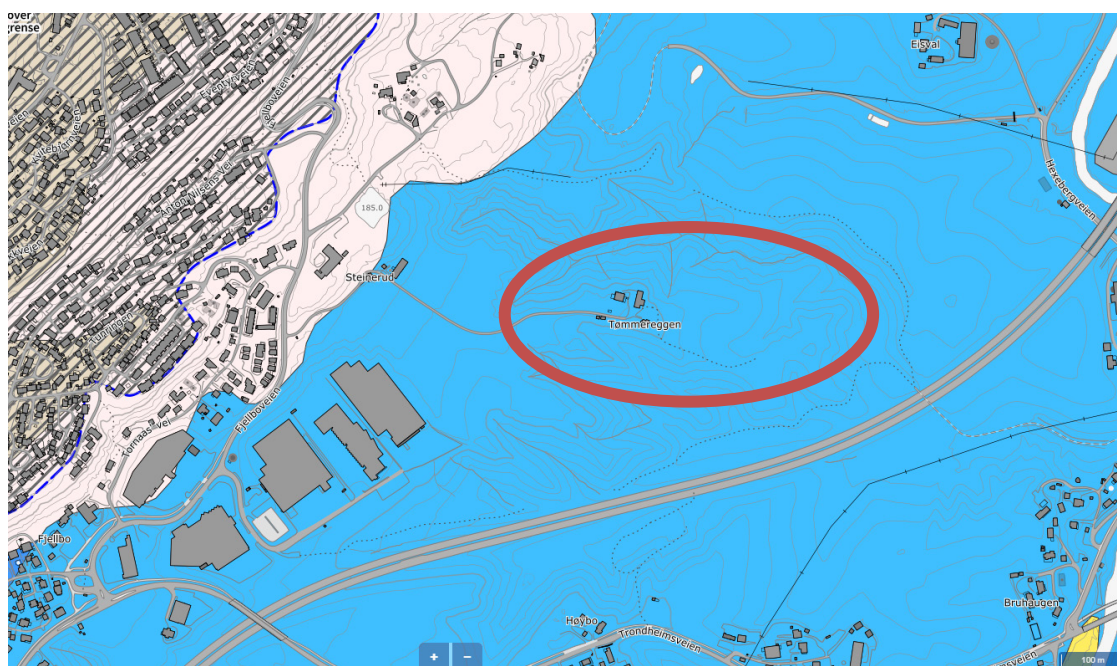
parken er ikke realisert ennå, og stabilitetsforholdene antas uendret siden vurderingene ble utført. Løvlien (ref. /4/) har videre vurdert områdestabilitet, der det er konkludert:

«Områdestabiliteten vurderes som tilfredsstillende for Vollen med nåværende grunnlag. Det må utføres supplerende grunnundersøkelser for å verifisere dette.»

«Vollen» er navnet gitt til det planlagte næringsarealet sør for Tømmereggen (vest for E6).

3.2 Geologiske og topografiske kart

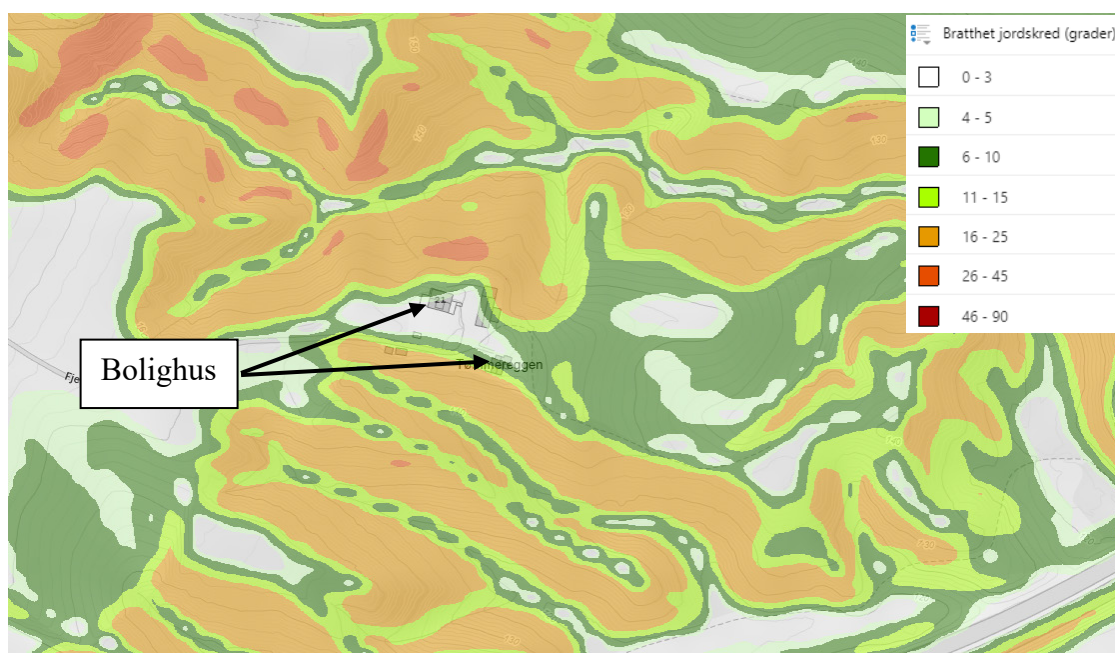
Løsmassekartet indikerer at hele Tømmereggen er dekket av hav- og fjordavsetninger (Figur 3-1), som normalt vil bestå av finkornige sedimenter (silt og leire). Basert på tidligere grunnundersøkelser (ref. /1/ og /2/), består løsmassene av et (eventuelt) topplag av tørrskorpe/planert materiale, med underliggende tykke avsetninger av uforvitret marin leire. Tykkelsen på tørrskorpelaget vil normalt øke mot toppen av skråningen, men det er ikke utført grunnundersøkelser nede i ravinene som kan bekrefte dette. Det er generelt dypt til berg, og ingen av totalsonderingene traff (antatt) berg under grunnundersøkelsene ved Tømmereggen (boringer er utført ned til 30 m dybde).



Figur 3-1. Løsmassekart fra www.ngu.no. Blått indikerer «Hav- og fjordavsetninger», dvs. finkornige sedimenter som silt og leire, med antatt stor mektighet. Grå-rosa indikerer berg i dagen eller antatt liten løsmasseoverdekning. Blå stiplet linje viser marin grense (dvs. øverste nivå havoverflaten har stått under siste istid), mens grått skravert område ligger over marin grense.

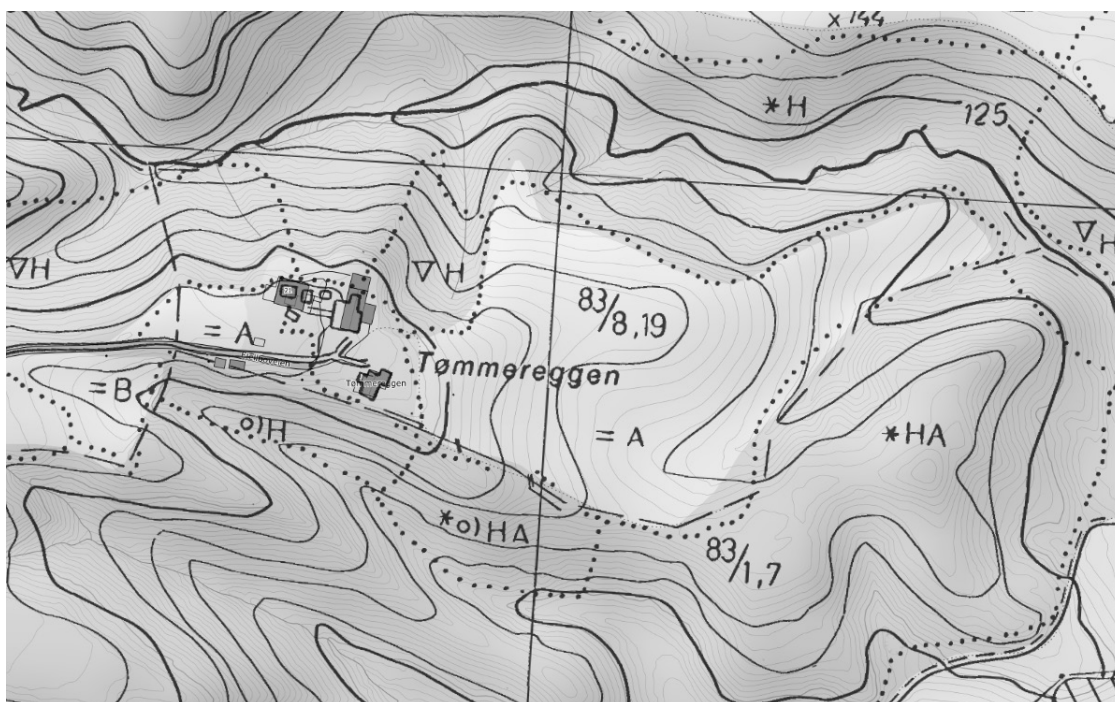
Hele Tømmereggen er omgitt av bratte skråninger som går ned i omliggende raviner. En terrenganalyse av skråningshelning er vist i Figur 3-2. Den antatt mest kritiske skråningen (kalt Profil T1 senere i rapporten) ligger rett nord for bolighuset. Her er skråningshøyden fra Tømmereggen og ned i ravinen ca. 30 m, og skråningshelningen opp mot 28° grader (ca. 1:2). Den øvre delen av skråningen, nærmest bebyggelsen, er brattest.

Øst for bolighusene er det en planert åker som heller svakt østover, slik at høyden av skråningen ned mot bekken i nord gradvis avtar mot øst. Bekken faller imidlertid også i østlig retning, slik at bunnen av ravinen gradvis ligger dypere østover i retning E6. Sør for bolighusene er terrenget mer kupert, med flere raviner (retning nordvest mot sørøst); skråningshøyden rett sør for boligbebyggelsen er ca. 18 m, med skråningshelning ca. 23°.



Figur 3-2. Skråningshelning i ravinene rundt Tømmereggen (www.atlas.nve.no)

Eldre økonomisk kart (Figur 3-3) indikerer at forskjellen på terrenget mellom år 1974 og dagens terreng ikke er veldig stor, men at det mest sannsynlig er fylt ut noe på toppen av skråningene på åkeren øst for husene. Slike fyllinger kan ha en negativ påvirkning på skråningsstabiliteten. Kartet er imidlertid ikke nøyaktig nok til å gjøre detaljerte vurderinger, og viser bare 5 m koter, som trolig er håndtegnet basert på luftfotografier.



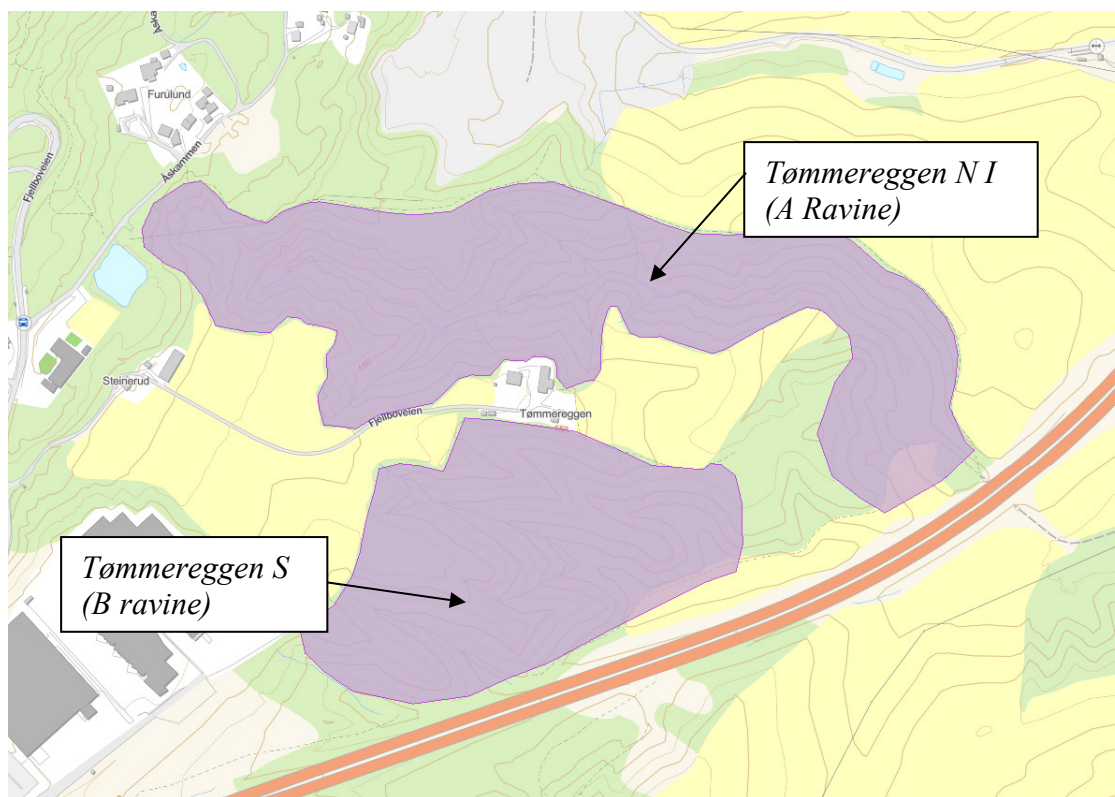
Figur 3-3. Økonomisk kart fra 1974 overlatt dagens topografiske kart (www.kilden.nibio.no). Det eldste kartet har 5 m ekvidistanse, mens dagens kart har 1 m ekvidistanse.

3.3 Tidligere kartlagte kvikkleirefaresoner

Tømmereggen er ikke tidligere kartlagt som kvikkleirefaresone, men i flere totalsonderinger utført av Løvlien (ref. /1/) kan det tolkes mulige lag med kvikkleire. Ca. 350m sørøst for boligene på Tømmereggen ble det funnet sprøbruddmateriale i borer utført ved E6 (ref. /4/). Nord for Tømmereggen, på nordre side av bekken, er det en eksisterende kvikkleirefaresone «74 Eidsvoll». Det er påvist kvikkleire og sprøbruddmateriale i et borhull innenfor denne kvikkleirefaresonen (punkt 22 mellom kote +120 og +108), jfr. ref. /1/. Videre mot nord fra denne sonen er det store, sammenhengende områder med kvikkleirefaresoner helt til Nannestad.

3.4 Vernede raviner

Lillestrøm kommune har kartlagt og verdsatt ravinedaler i kommunen (Figur 3-4). Skråningene nord og sør for Tømmereggen er klassifisert henholdsvis som A-ravine og B-ravine, se lokaliteter 56 Tømmereggen N I og 55 Tømmereggen S i rapport laget av BioFokus (ref. /5/).



Figur 3-4. Lilla område er vernede raviner (<https://lillestroem.kommunegis.no/>).

4 Befaring

En befaring på Tømmereggen ble utført 28. september 2023. Med på befaringen var Lillestrøm kommune v/Kjersti Mikalsen, Ketil Matvik Foldal og Solveig Tveter Bratlie, og NGI v/Laura Rødvand. Grunneierne var også til stede. Detaljer fra befaringen, inkludert kart over det befarte området og befaringsbilder, finnes i Vedlegg A. Hovedfunn (med betydning for skredfare og geotekniske forhold) fra befaringen var observasjon av pågående erosjon langs bekken i ravinen nord for Tømmereggen. Erosjon er klassifisert som «noe erosjon» iht. NVE ekstern rapport 9/2020 (ref. /15/).

Ny befaring ble utført 9. april 2024 for å vurdere adkomst til ravinene for boreriggene, og lokasjon av supplerende undersøkelser. Til stede var Lillestrøm kommune v/Solveig Tveter Bratlie, NGI v/Laura Rødvand og Don Terje Christiansen, og grunneierne.

5 Grunnundersøkelser

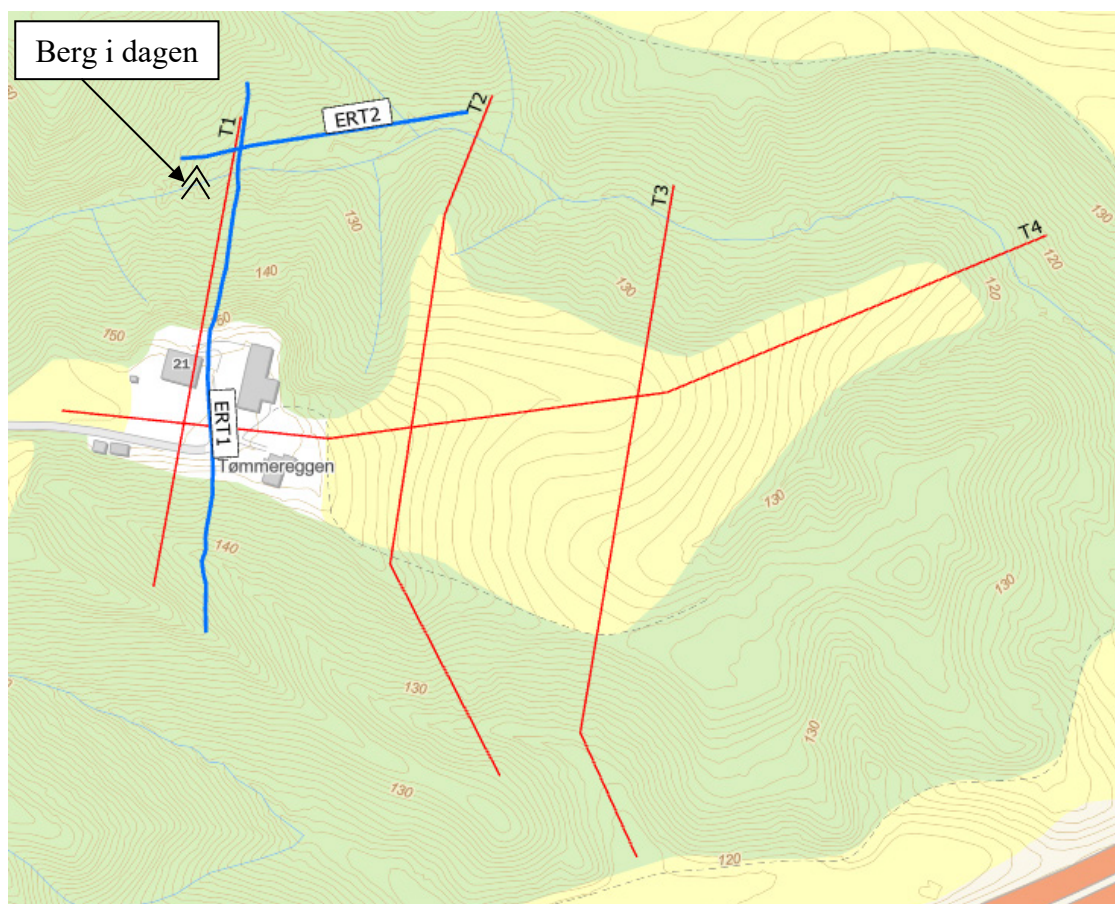
Det er utført nye grunnundersøkelser i forbindelse med dette prosjektet, hovedsakelig for å kartlegge grunnens styrkeegenskaper og for å bekrefte/avkrefte forekomst av sprøbruddmateriale/kvikkleire. Borplan for de nye grunnundersøkelsene er utarbeidet av NGI i dialog med Lillestrøm kommune. Grunnundersøkelsene i felt og laboratorium ble utført av NGI. Resultatene er presentert i egen datarapport: ref. /7/.

For å optimalisere undersøkelsene, er det i hovedsak utført nye CPTu-sonderinger ved tidligere totalsonderinger utført av Løvlien (ref. /1/) samt prøvetaking på utvalgte steder. Borhullene oppført av Løvlien har prefix «LG08-». To nye borhuller er plassert i nærheten av bolighusene på Tømmereggen, da det er vurdert viktigst å kartlegge grunnforholdene der folk bor. Disse nye borhullene har prefix «NG23-».

Etter at rev. 0 av dette notatet ble ferdigstilt, ble det bestemt å utføre elektrisk resistivitetstomografi (ERT) langs to utvalgte profiler, da adkomst med borerigg i skråningen ikke var mulig. ERT er en geofysisk metode som injiserer strøm i bakken gjennom elektroder, og som måler den elektriske motstanden/resistivitet i bakken. Den elektriske resistiviteten brukes til å tolke dybde til berg, og kan også gi indikasjon på om kvikkleire er til stede, basert på korrelasjoner mellom elektrisk resistivitet og saltinnhold i porevannet i leira. Saltinnholdet i porevannet i leira påvirker leiras omrørte skjærfasthet (ref. /9/). Beliggenhet av ERT-profilene er vist i Figur 6-1. Resultatene er presentert i en egen datarapport fra ERT-undersøkelsene (ref. /8/).

6 Kritiske beregningssnitt og aktuelle skredmekanismer

Det er valgt ut fire terrengprofiler for å vurdere lagdelingen og stabilitetsforholdene av antatt kritiske skråninger ved Tømmereggen. Beliggenhet av profilene er vist på Figur 6-1 og Tegning 020. Profilene med lagdeling er presentert på tegningene 021-024. Merk at de fleste boringer er utført på toppen av løsmasseryggen, fordi adkomst med borerigg til ravinene ikke var praktisk gjennomførbar uten betydelige tiltak (omfattende hogst osv.). Ved tolkning av lagdeling er det tatt utgangspunkt i tolkning av boringer utført på høyere nivå, og basert på dette konservativt antatt et sammenhengende kvikkleirelag med horisontal utbredelse under hele løsmasseryggen og bort til bekken i ravinen nord for Tømmereggen.



Figur 6-1. Beliggenhet av terrengprofilene (røde linjer), ERT-profilene (blå linjer) og berg i dagen.

Profil T1: Dette profilet krysser Tømmereggen ved det vestligste bolighuset (Fjellboveien 21), og går i sør-nord-retning. Skråningen ned i ravinen mot nord fra bebyggelsen er den bratteste og høyeste skråningen på Tømmereggen, og sprekken som var meldt inn av grunneierne er observert i dette området. Lagdeling: Tynt lag tørrskorpe (< 2 m) over uforvitret leire til stor dybde, evt. noe fyllmasse på gårdsplass osv. Det er antatt at kvikkleire ligger ca. på nivå med bekken i bunnen av ravinen (basert på borhull LG08-13 og LG08-14), og at kvikkleirelaget fortsetter i samme kotenivå langs hele profilet. Berg i dagen er observert i ravinebunnen rett nord for bolighuset (Fjellboveien 21) og ERT profiler 1 og 2 indikerer at berg ligger grunnere enn 5 m dybde for skråningen nord for huset. For tolkning av bergnivået i Profil T1, er det valgt en konservativ tilnærming, og det er dermed brukt det nederste bergnivået i usikkerhetsintervallet for bergoverflaten (større bergdybde gir dårligere udrenert sikkerhet).

Et evt. skred som utløses kan gå ned i kvikkleire, men selv om retrogressivt skred antas å kunne skje i materiale med $s_{ur} < 0,69$ kPa, vil størrelsen av løснеområdet begrenses av at kvikkleirelaget ligger dypt i skråningen og at det er grunt til berg ved skråningsfoten. Aktuell skredmekanisme er derfor vurdert å være rotasjonsskred.

Profil T2: Profilet ligger ca. 100 m øst for Profil T1, og går på tvers av åkeren og ned i ravinene på både nord- og sørsiden. Dette profilet har mindre skråningshøyde mot bekken i nord, og større skråningshøyde mot ravinen i sør. Lagdelingen består av tørrskorpe over leire og kvikkleire. Kvikkleire er påvist i prøver tatt opp ved borpunkt LG08-13, og kvikkleirelaget er antatt å fortsette lateralt gjennom hele profilet. Et evt. skred som utløses kan involvere kvikkleire, men selv om retrogressivt skred antas å kunne skje i materiale med $s_{ur} < 0,69$ kPa, vil størrelsen av løseområdet begrenses av at kvikkleirelaget ligger dypt i skråningen. Aktuell skredmekanisme er vurdert å være rotasjonsskred.

Profil T3: Dette profilet ligger ca. 100 m øst for Profil T2, og går på tvers av åkeren. Prøvetaking ved LG08-11 viser at det ikke finnes kvikkleire i de øverste 17 m av løsmassene oppe på åkeren, men det kan ikke utelukkes dypere liggende lag med kvikkleire. Det er således antatt et lag av kvikkleire med overkant ca. på nivå med bekken. Aktuell skredmekanisme er vurdert å være rotasjonsskred.

Profil T4: Profilet følger midten av Tømmereggen, i retning vest-øst. Det er påvist sprøbruddmateriale i prøver tatt opp i borpunkt LG08-14, og det er antatt et sammenhengende lag kvikkleire under hele løsmasseryggen. Toppen av kvikkleirelaget antas å ligge ved kote +123 i nordre delen av profilet og +113 i østre delen av profilet. Et evt. skred som utløses ved bekken kan gå ned i sprøbruddmateriale, og aktuell skredmekanisme er vurdert å være rotasjonsskred eller flakskred.

7 Materialparametere

7.1 Poretrykksforhold

Grunnvannsnivå og poretrykksforhold har generelt stor betydning for stabilitetsforhold, men krever samtidig betydelige ressurser for en detaljert kartlegging. Det er så langt ikke installert nye poretrykksmålere i dette prosjektet, men resultatene fra tidligere installert poretrykksmåler LG15-204 (ref. /2/) er brukt. I dette punktet ble grunnvannstand målt til å ligge ca. 4,2 m under terreng (basert på måler med spiss ved 8 m dybde). Borhull LG15-204 ligger på en skråningstopp ca. 200 m vest for bolighusene. Grunnvannstanden tolkes her å ligge i underkant av tørrskorpelaget, og det er antatt en økning av poretrykk med dybden tilsvarende 7 kPa/m i skråningen over bekkenivå. Tilsvarende poretrykksforhold er brukt ved stabilitetsberegninger på Tømmereggen. Antagelsen er også basert på at Tømmereggen er en høy og smal løsmasserygg, og ute på «eggen» er det ingen tilførsel av overvann fra høyere terreng. Grunnvann kan i noen grad strømme inn fra ovenforliggende terreng, men vil ha gradient mot ravineskråningene og gi lavere forventet poretrykk i løsmasseryggen hvor Tømmereggen ligger. Korngradering av leira er også avgjørende, samt evt. siltlag som kan bidra til utdrenering av poretrykk.

Poretrykksøkningen fra ravinebunn og videre i dybden er antatt å være større enn på platået, dvs. det er antatt poreovertrykk, med poretrykksøkning med dybden på 12 kPa/m

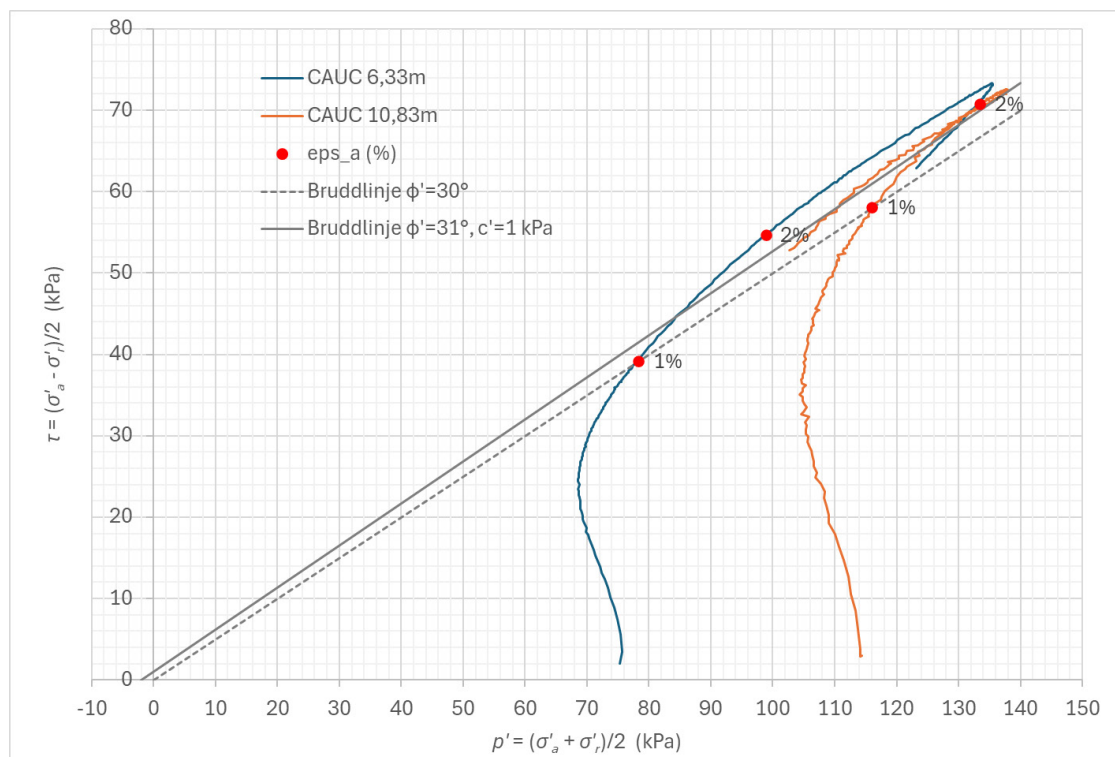
(ikke bekreftet ved målinger). Bruk av poreovertrykk i ravinebunn er basert på erfaring, spesielt her der det er grunt til berg i ravinebunnen.

7.2 Beregningsparametere

Material- og styrkeparametere benyttet i stabilitetsberegninger er oppsummert i Tabell 7-1. Romvekt er bestemt ut fra laboratorieforsøk på opptatte prøver (leire og kvikkleire), eller basert på erfaring (tørreskorpeleire). Drenerte styrkeparametere for leire er basert på treaksialforsøk, jfr. Figur 7-1. Kvaliteten på utførte treaksialforsøk er vurdert til å være hhv. *god* og *meget god* iht. ref. /14/.

Tabell 7-1. Oppsummering av materialparametere anvendt i stabilitetsberegningene

Materiale	Romvekt (kN/m ³)	Friksjon-vinkel ϕ (°)	Kohesjon c' (kPa)	Udrenert skjærfasthet $s_{u,A}$ (kPa)	Anisotropifaktorer		
					A	D	P
Tørreskorpe	19	32	0	-	-	-	-
Leire	19	31	1	Vedlegg B	1	0,67	0,38
Kvikkleire	18,5	31	1	Vedlegg B	1	0,63	0,35



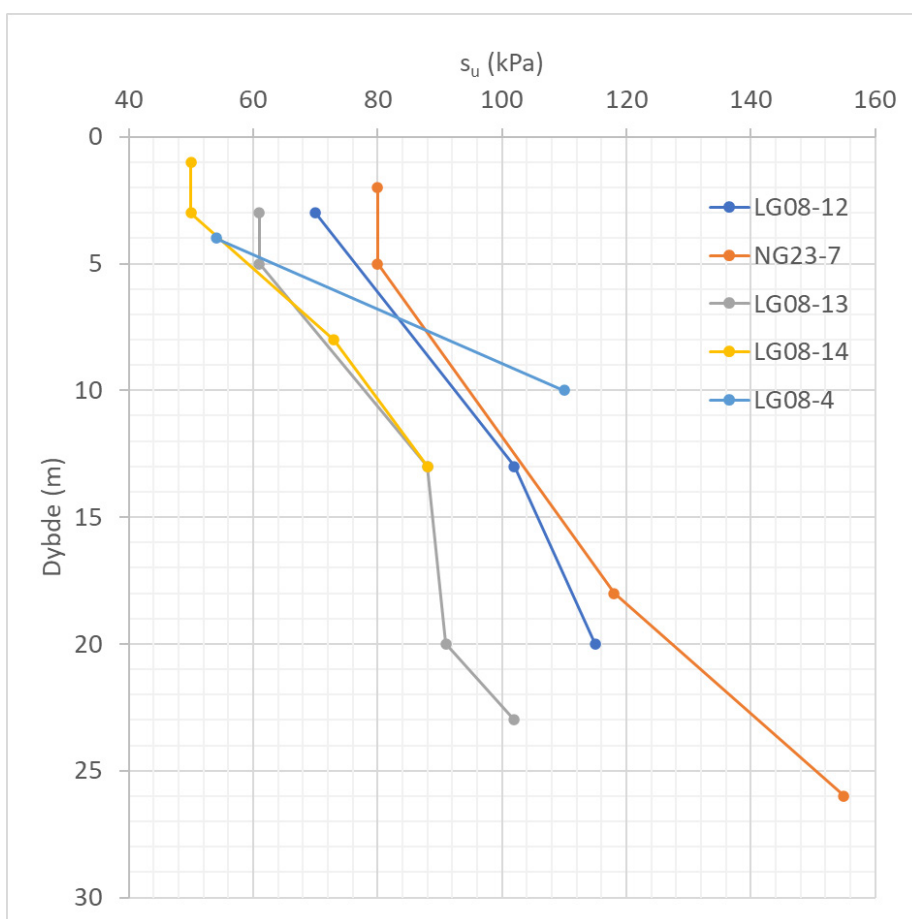
Figur 7-1. Tolkning av drenerte styrkeparametere i leire fra treaksialforsøk på prøver fra borpunkt NG23-7 på Tømmereggen (ref. /7/).

Udrenert skjærfasthet for leire/kvikkleire er tolket ut fra CPTu-sonderingene (korrelasjoner fra ref. /10/ og /11/), basert på laboratorieforsøk utført på opptatte prøver og antatt

poretrykksfordeling, som er vurdert for hva som er mest passende ut fra borpunktets plassering i terrenget. Tolkede aktive skjærfasthetsprofiler er vist i Vedlegg B for alle CPTu-sonderinger. Figur 7-2 gir en sammenstilling av tolket aktiv udrenert skjærfasthet mot dybde for samtlige CPTu-sonderinger.

Merknader for tolking av CPTu-sonderingene:

- Høye nullpunktsavvik i flere sonderinger øker usikkerhet i tolkning av disse sonderingene:
 - LG08-12: poretrykk utenfor anvendelsesklasse 4
 - LG08-13: stort helningsavvik (20° mot slutten av sonderingen)
- LG08-4 er sannsynligvis boret gjennom fylling, lagt ut i forbindelse med bygging av veien (dagens E6).



Figur 7-2. Sammenstilling av udrenert aktiv skjærstyrke, s_u^A , tolket fra CPTu-sonderinger utført på Tømmereggen. Sonderingene er plottet mot dybde, men utført på forskjellig terrengnivå.

Det var ikke mulig å utføre CPTu-sonderinger nede i ravinen, på grunn av vanskelig adkomst for borerigg (dette ville krevet store inngrep med hogst og tiltak for adkomst). Derfor er SHANSEP-prinsippet (ref. /12/) benyttet for å estimere udrenert skjærfasthet av antatt overkonsolidert leire ved skråningsfoten. Tolkningen er basert på udrenert skjærfasthet tolket fra CPTu-sonderinger på toppen av skråningen. Metoden tar hensyn

til antatt overlaging fra tidligere terreng over dagens terrengnivå (spenningshistorie, overkonsolidering), antatte poretrykksforhold i dagens situasjon og romvekt av leira.

Udrenert aktiv skjærfasthet anslås således som følger:

$$s_{u,A} = \alpha \cdot OCR^m \cdot \sigma'_{v0}$$

der:

$s_{u,A}$ = udrenert aktiv skjærfasthet (kPa)

α = normalisert styrke for $OCR = 1$ (valgt lik 0,3)

OCR = overkonsolideringsgrad, dvs. forholdet mellom tidligere og nåværende effektiv vertikalspenning i aktuell dybde

m = eksponent (valgt lik 0,8)

σ'_{v0} = vertikal effektivpenning i aktuell dybde

Leiras udrenerte skjærstyrke varierer med retning på skjærplanet. I stabilitetsanalysene er anisotropifaktorer benyttet (som vist i

Tabell 7-1) ved udrenert analyse av skjærflater gjennom lag med leire/kvikkleire, iht. NIFS anbefalinger (ref. /13/).

8 Stabilitetsberegninger: dagens situasjon

8.1 Utførte beregninger

Stabilitetsberegninger for dagens situasjon er utført for to av profilene presentert foran, hhv. T1 og T2. Det geotekniske beregningsverktøyet GeoSuite Stability (Version 24.0.8.0) er brukt til stabilitetsberegningene.

Stabilitetsberegningene for dagens situasjon er presentert i Vedlegg C1-C4, og beregningsresultatene er oppsummert i Tabell 8-1. Sikkerhetsfaktorer er regnet for to tilstander, nemlig *udrenert* og *drenert*.

- Udrenert tilstand er representativ for korttidssituasjon (der grunnen består av finkornige jordarter, som silt og leire), dvs. for raske belastninger/ spenningsendringer; for eksempel utlegging av fyllmateriale, graving i skråningståen, mindre utglidninger som følge av erosjon osv.
- Drenerte tilstand er representativ for langtidssituasjonen for alle typer grunn, og beskriver den permanente situasjonen hvor skråningen ikke utsettes for raske belastningsendringer. Den drenerte stabiliteten vil imidlertid påvirkes av endringer i grunnvannsnivå og poretrykksendringer. Drenert sikkerhet vil påvirkes negativt av økninger i poretrykk, som eksempelvis kan forekomme etter mye/langvarig nedbør eller snøsmelting.

Det er ikke tatt hensyn til 3D-effekter i stabilitetsberegningene. Slike effekter er usikre av flere årsaker, og antas å ha liten betydning for skråninger med noenlunde konstant topografi over en stor bredde (langsetter toppen av skråningen). Også for fremstikkende

løsmasserygger, som i liten grad tilsier sideveis innspenning, er det vanskelig å argumentere for vesentlig 3D-effekt på stabiliteten, selv om geometrieffekter kan ha betydning. Usikkerhetene i datagrunnlaget vurderes å være større enn disse effektene, og evt. stabiliserende 3D-effekter er derfor ikke inkludert i beregningene.

Tabell 8-1. Sikkerhetsfaktorer for stabilitetsanalyse av dagens situasjon (sikkerhetsfaktor representerer mest kritiske skjærsirkel funnet i hver stabilitetsberegning)

Profil	Beskrivelse av beregning	Sikkerhetsfaktor	
		Udrenert	Drenert
T1	Skråning mot nord	1.22	0.97
	Skråning mot sør	1.75	1.19
T2	Skråning mot nord	1.58	1.01
	Skråning mot sør	1.07	1.08

Laveste beregnede sikkerhetsfaktor er funnet for profilet T1, dvs. beregningsprofilet som går opp skråningen fra ravinen nord for bebyggelsen på Tømmereggen, men beregnet sikkerhet er også lav for profil T2.

8.2 Drenert sikkerhet

Analysene viser at den drenerte sikkerhetsfaktoren beregningsmessig er lavest. De kritiske drenerte glideflatene (dvs. glideflatene med lavest sikkerhetsfaktor) er for begge profilene T1 og T2 ca. 1.0, evt. litt over 1.0.

Dårlig drenert sikkerhet indikerer mulighet for brudd i skråningen for dagens situasjon, typisk i perioder med langvarig nedbør eller snøsmelting. Den drenerte glideflaten med lavest sikkerhet ligger i den bratte øvre delen av skråningen mot nord i profil T1, og kritisk glideflate skjærer ikke ned i kvikkleirelaget. Det er dermed lite sannsynlig at en glidning av denne typen vil kunne utløse et stort kvikkleireskred. Bakkanten av glideflaten vil gå inn på plataet på toppen av skråningen, i retning bebyggelsen, men ut fra beregningene, vil en slik utglidning ikke direkte berøre bebyggelsen.

En lang, drenert glideflate, som berører hele skråningen fra bekken og opp til bebyggelsen, har imidlertid også marginal sikkerhet mot brudd (drenert sikkerhetsfaktor = 1.02). Dersom beregningsforutsetningene stemmer noenlunde, skal det små endringer i negativ retning til for at en slik glideflate skal løsne. Det er usikkert om denne glideflaten vil gå ned i kvikkleirelaget, da grunnundersøkelser ikke er utført i ravinen.

Merk at drenert sikkerhetsfaktor er direkte avhengig av poretrykksforhold og grunnvannstand, som ikke er målt i dette profilet, og da spesielt ikke nede i ravinen (målinger i ravinen er som nevnt foran heller ikke utført i andre profiler).

8.3 Udrenert sikkerhet

Udrenert analyse gir noe sikkerhetsmargin for de analyserte skråningene (beregnet sikkerhetsfaktor 1.22 og 1.07 for hhv. profil T1 mot nord og profil T2 mot sør). Beregningene er noe usikre, som resultat av at grunnundersøkelser ikke er utført i ravinene, og bergnivå er basert kun på ERT-tolkninger.

Erosjon i bekken vil over tid forverre stabiliteten av skråningen. Dette vil kunne utløse udrenerte brudd, og i verste fall resultere i et brudd med en potensiell glideflate som starter ved bekken og når opp på plataået, med bakkant i nærheten av bolighuset.

Dybden til kvikkleirelaget i bunnen av ravinen er ukjent, men den kritiske glideflaten går dypt, og må antas å ville skjære ned i kvikkleirelaget, dersom kvikkleirelaget strekker seg fram til bunnen av ravinen.

9 Vurdering av dagens situasjon

9.1 Drenerte brudd

Beregningsmessig er drenerte glideflater kritiske, også for glideflater fra plataået og ned til ravinebunn. Den reelle sikkerheten er direkte avhengig av hydrogeologiske forhold, dvs. grunnvannsnivå og poretrykksforhold, som i hovedsak er ukjent. Før man konkluderer med at drenert stabilitet er kritisk, bør poretrykksforhold kartlegges bedre.

9.2 Udrenerte brudd

Udrenert analyse gir noe høyere beregnet sikkerhetsfaktor enn drenert analyse, men beregnede sikkerhetsfaktorer er fortsatt lave, og under sikkerhetskravene som stilles til nye boliger.

Siden det ikke er planlagt byggetiltak på Tømmereggen ifm. dette prosjektet (ingen endring i lastene eller tomtebruk), kan «robusthetskrav» på 1.20 i NVEs kvikkleireveiledning 1/2019 (ref. /6/) være en fornuftig referanse. I dette tilfellet vil udrenert sikkerhet ved bolighusene (profil T1) da tilfredsstille krav til udrenert sikkerhetsfaktor, men ikke profil T2 som krysser åkeren øst for husene.

I profil T1 går den kritiske udrenerte glideflaten ned til antatt bergnivå og kommer opp ved bekken i bunnen av ravinen. Glideflaten skjærer ned i antatt kvikkleirelag. Et skred av denne typen kan i teorien utløses av plutselig (udrenert) belastning på toppen av skråningen (som oppfylling), eller som resultat av erosjon/initialskred langs bekken. Dette vil kunne skje uavhengig av om kvikkleire er involvert i bruddet.

I profil T2 er det skråningen mot sør som ut fra beregningene er mest kritisk stabilitetsmessig, og også her går kritisk udrenert glideflate ned i kvikkleirelaget. Merk at

beregningsresultatene i stor grad avhenger av tolkninger basert på boringer utført oppe på plataet.

9.3 Bakovergripende (retrogressiv) bruddutvikling

Selv om de udrenerte glideflatene går ned i kvikkleire, er aktuell skredmekanisme vurdert å være «rotasjonsskred», noe som vil være typisk for situasjoner hvor kvikkleira ligger dypt og hvor et evt. skred antas å involvere forholdsvis lite kvikkleire (ref. NVEs kvikkleireveiledning 1/2019 (ref. /6/)). Basert på foreliggende datagrunnlag, ligger kvikkleira under Tømmereggen dypt, og har dermed begrenset (liten) effekt på skredmekanismen og skråningsstabiliteten. Potensielle brudd forventes da å opptre som enkeltvis glideflater, uten retrogressiv bruddutvikling. De beregnede kritiske udrenerte glideflatene går likevel så langt innover plataet at bebyggelsen er direkte truet dersom ordinære rotasjonsbrudd av denne typen skulle inntreffe i skråningen, også uten retrogressiv bruddutvikling.

9.4 Grunne glidninger

I bratte skråninger som skråningene ved Tømmereggen, er sesongavhengige, naturlige prosesser nær overflaten viktige, og man kan typisk få grunne brudd og terrengsig som resultat av infiltrasjon ved nedbør og snøsmelting. Infiltrasjon av vann gir redusert skjærfasthet i øvre jordlag (umettet sone). Samtidig vil vegetasjon ha stabiliserende effekt (fuktopptak og forankring med røtter), mens belastning fra store trær også kan være destabiliserende. Grunne brudd av denne type er som regel lokale, og truer normalt ikke hele skråningens stabilitet. Samtidig som prosesser i overflaten kan gi grunne brudd, vil nedbør og snøsmelting over lengre tid også være koblet til poretrykksøkning i dybden, som har betydning for stabiliteten til større bruddflater. Grunne brudd er også medvirkende i erosjonsprosessen, og det er påvist flere lokale glidninger ned mot bekken. Slike brudd skjer som resultat av infiltrasjon, grunnvannstrømning og erosjon i skråningsfoten (langs bekken).

10 Ny kvikkleirefaresone

10.1 Avgrensning av løsneområdet

Selv om det er påvist kvikkleire med omrørt udrenert skjærfasthet $s_{ur} < 0,69$ kPa ved borhull LG08-13, ligger kvikkleirelaget lavt i skråningen, og dermed er størrelsen av løsneområdet begrenset: Skredmekanisme er vurdert til «rotasjonsskred» iht. NVEs kvikkleireveiledning 1/2019 (ref. /6/). Selv om det her er vurdert at aktuell bruddmekanisme er rotasjonsskred, vil løsneområdet likevel berøre hele løsmasse-ryggen. Løsneområdet er skissert på kart i Vedlegg D.

10.2 Avgrensning av utløpsområdet

Aktuell skredmekanisme ved Tømmereggen er vurdert å være rotasjonsskred som iht. NVE veileder 1/2019 (ref. /6/) setter maksimal størrelse av utløpsområdet til $L_u = 0,5L$, hvor L er løseområdet lengde og L_u er lengden av utløpsområdet. Fordi kvikkleire/-sprøbruddmateriale ligger lavt i skråningen, består mesteparten av skredmassene av lite sensitive materialer. Disse lite sensitive materialene vil sannsynligvis ligge igjen i skredgropa etter et evt. skred og demme seg opp i ravinene. Eventuelle kvikkleiremasser som blir mobilisert antas å bevege seg over noe lengre avstand (kan evt. skvises ut under fastere masser og strømme ned ravinene), men antas å ville stoppe opp i området nord for veifyllingen til E6. Antatt utløpsområdet vises på kart i Vedlegg D. Anslag for utløpsområder er alltid usikre, da hendelsesforløp (hvor starter et skred) vil ha stor betydning, og topografiske forhold og lagdeling (som delvis er ukjent) har innvirkning. Man kan derfor ikke se helt bort fra at større blokker av ikke-sensitiv leire ved et skred kan transporteres nedover ravinene, oppå underliggende omrørte kvikkleiremasser. Dette vil i så fall ha betydning for videre utvikling av skredet.

10.3 Klassifisering av kvikkleirefaresone

Klassifisering av kvikkleirefaresonen, hhv. faregrad, konsekvens og risiko, er utført iht. NVE Ekstern rapport 9/2020 (ref. /15/). Vurderingene er vist i detalj i Vedlegg E. Resulterende klassifisering som følger:

- Faregradklasse: Lav
- Konsekvensklasse: Alvorlig
- Risikoklasse: 2

11 Mulige sikringstiltak

Nedenfor gis en innledende vurdering av mulige sikringstiltak som kan forbedre stabilitetsforholdene ved Tømmereggen. Hensikten ved slike tiltak vil være å forebygge utløsning av skred og/eller å forbedre skråningsstabiliteten.

For fysiske sikringstiltak, kan det skilles mellom to prinsipielt forskjellige sikringsstrategier:

1. Unngå (forhindre) forverring av skråningsstabiliteten.
2. Forbedring av skråningsstabiliteten.

Siden skråningene har liten, til dels ingen, beregningsmessig sikkerhetsmargin i dagens tilstand, har kommunen etterspurt beregninger for også å indikere mulig omfang av stabilitetsforbedrende tiltak (hvor beregnet sikkerhetsfaktor forbedres reelt).

11.1 Unngå forverring av skråningsstabiliteten

Mulige tiltak for å unngå, eller forhindre, forverring av skråningsstabiliteten:

- erosjonssikre bekken,
- unngå belastning på toppen av skråningene (dvs. ikke legge ut masser mot skråningskanter),
- unngå graving i ravinene og skråningsfot (derunder grøftegraving i forbindelse med rørlegging o.l.).

Under befaringen ble det observert erosjon langs bekken. Erosjon i skråningsfoten vil over tid forverre stabiliteten av skråningen, og kan forårsake utløsning av skred. Det er vanskelig å vite hastighet og omfanget av pågående erosjon. Kartlegging/overvåkning av erosjon/endringer i terrenget i ravinebunn for eksempel med Lidar kan gi bedre grunnlag for vurdering av erosjon, hvis ikke erosjonssikring utføres.

Erosjonssikring vil ikke gi forbedring av skråningsstabiliteten som slår vesentlig ut beregningsmessig, men vil, dersom utført riktig, forhindre at stabilitetsforholdene gradvis blir verre. Erosjonssikring er det vanligste tiltaket i områder med eksisterende bebyggelse for å hindre naturlig utløsning av kvikkleireskred.

For eldre bebyggelse er det ikke eksplisitte krav til sikkerhet mot naturfarer, derunder krav til sikkerhet mot kvikkleireskred og skråningsstabilitet (se avsnitt 2). Hvis man tar utgangspunkt i NVE kvikkleireveileder 1/2019 (ref. /6/) med tiltakskategori *K3* og *lav faregrad*, er kravet til sikkerhetsfaktor «ikke forverring», dvs. at dagens stabilitetsforhold ikke må forringes. Forverrende faktorer vil her representeres ved gradvis erosjon langs bekker, som over tid vil gi økt skråningshøyde og brattere skråning. For å oppnå kravet om «ikke forverring» anbefaler NGI etablering av **erosjonssikring (steinplastring) i ravinen** nord for Tømmereggen. Erosjonssikring kan også etableres i ravinen sør for Tømmereggen, men behovet vurderes ikke å være like kritisk.

Tilleggsbelastninger på toppen av skråninger der stabilitetsforholdene allerede er beregningsmessig dårlige, frarådes sterkt. Graving langs skråningsfot, eller i ravinebunn, forverrer stabilitetsforholdene og vil kunne fremprovosere utglidninger. Lokale glidninger i nedre del av skråningen, kan i neste omgang være utløsende for større brudd i skråningen. Der kvikkleira ligger grunt, vil man også kunne forårsake omrøring av sensitive leirmasser.

For skråninger med pågående erosjon i et område med antatt grunt beliggende kvikkleire, vil det være hensiktsmessig med erosjonssikring av bekken som «konserverende tiltak», dvs. tiltak for å unngå forverring av stabilitetsforholdene.

11.2 Forbedring av skråningsstabiliteten ved topografiske endringer

Konvensjonelle tiltak for å forbedre stabilitetsforholdene, vil typiske innebære å endre topografien på terrenget, enten ved avlastning på toppen, eller oppfylling i bunn av

skråningen. Størrelse/omfang av tiltakene vil være avhengig av ønsket forbedring av skråningsstabiliteten. Det er ikke eksplisitte lovpålagte krav til skråningssikkerhet for eldre eksisterende bebyggelse, og sikringsmål for en evt. stabilitetsforbedring må derfor fastsettes av kommunen.

Et teknisk sett enkelt tiltak ville være å forbedre stabilitetsforholdene ved en mindre oppfylling, inkludert erosjonssikring (som også forhindrer forverring av stabilitetsforholdene), i bunn av ravineskråningene. Stabilitetsforbedring ved avlastning på toppen av skråningen vil også være et effektivt tiltak (men forhindrer ikke erosjon langs skråningsfot). Skisse med plassering av mulige sikringstiltak vises i Figur 11-1. Avlastning og motfylling kan utføres hver for seg, eller i kombinasjon for størst mulig økning i sikkerhetsfaktor.

Det er utført stabilitetsberegninger for å sjekke effekt av avlastning på platået. Senkning av terrenget med ca. 1 m på platået med bolighusene og gårdsbygninger vil hovedsakelig forbedre den udrenerte tilstanden, jfr. beregningsresultater oppsummert i Tabell 11-1. Beregningene med avlastning på toppen av skråningen er vist i Vedlegg C5. Større avlastning vil gi større forbedring av skråningsstabiliteten, men må tilpasses eksisterende bebyggelse.

Tabell 11-1. Beregningsprofil T1. Sikkerhetsfaktor for kritiske glideflater før og etter 1 m avlastning oppe på platået.

Beskrivelse av beregning	Sikkerhetsfaktor				% forbedring	
	Dagens situasjon		Med avlastning (vedlegg C5)			
	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert
Skråning mot nord*	1.22	0.97	1.25	0.99	2.5 %	2.1 %
Skråning mot sør*	1.75	1.19	1.89	1.19	8.0 %	0 %
Merknader: * Kritisk glideflate for hver tilstand						

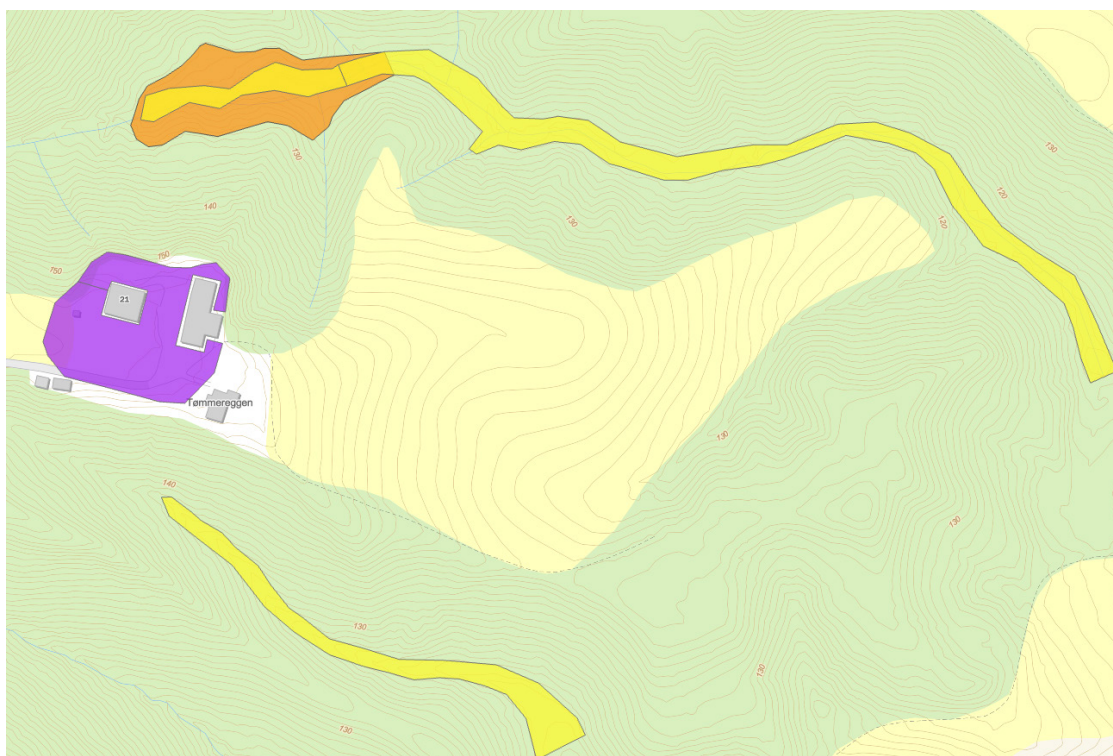
For å oppnå tilsvarende forbedring (som for 1 m avlastning) av udrenert stabilitet ved utlegging av motfylling i ravinebunnen, må motfyllingen være betydelig, se Vedlegg C6. Resultater fra stabilitetsanalyser for dette tiltaket er oppsummert i Tabell 11-2. Det er skissert en oppfylling av bekken kombinert med fylling et stykke oppover skråningen mot bebyggelsen (1,5 m tykk motfylling, total bredde av motfyllingen på tvers av ravinen er ca. 30 m). En større motfylling vil forbedre beregningsmessig sikkerhet ytterligere. Heving av bekken vil kreve nærmere vurdering av bl.a. strømningsforhold oppstrøms/nedstrøms.

En alternativ måte å avlaste skråningen på, vil være å slake ut den bratte, øvre delen av skråningen, som diskutert nedenfor i forbindelse med grunne glidninger. Et slikt tiltak vil gi redusert fare for lokale utglidninger langs skråningskanten som følge av nedbør mv., selv om fjerning av vegetasjon vil fjerne den stabiliserende effekten av røtter og

fuktopptak fra planter i en midlertidig fase. Tiltaket vil imidlertid også bidra til forbedret stabilitet for dypere glideflater (effekt avhengig av omfanget). Utslaking av skråningen kan kombineres med avlastning på platået. En nærmere vurdering kan gjøres under detaljutforming/-prosjektering av tiltak, dersom stabiliserende tiltak blir aktuelt.

Tabell 11-2. Beregningsprofil T1. Sikkerhetsfaktor for kritiske glideflater før og etter oppfylling i ravinen.

Beskrivelse av beregning	Sikkerhetsfaktor				% forbedring	
	Dagens situasjon		Med motfylling (vedlegg C6)			
	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert
Skråning mot nord *	1.22	0.97	1.25	0.97	2.5 %	0 %
Skråning mot nord-stor sirkel †	-	1.02	-	1,18	-	15.7 %
Merknader: * Kritisk glideflate for hver tilstand † Samme glideflate vurdert før og etter tiltak						

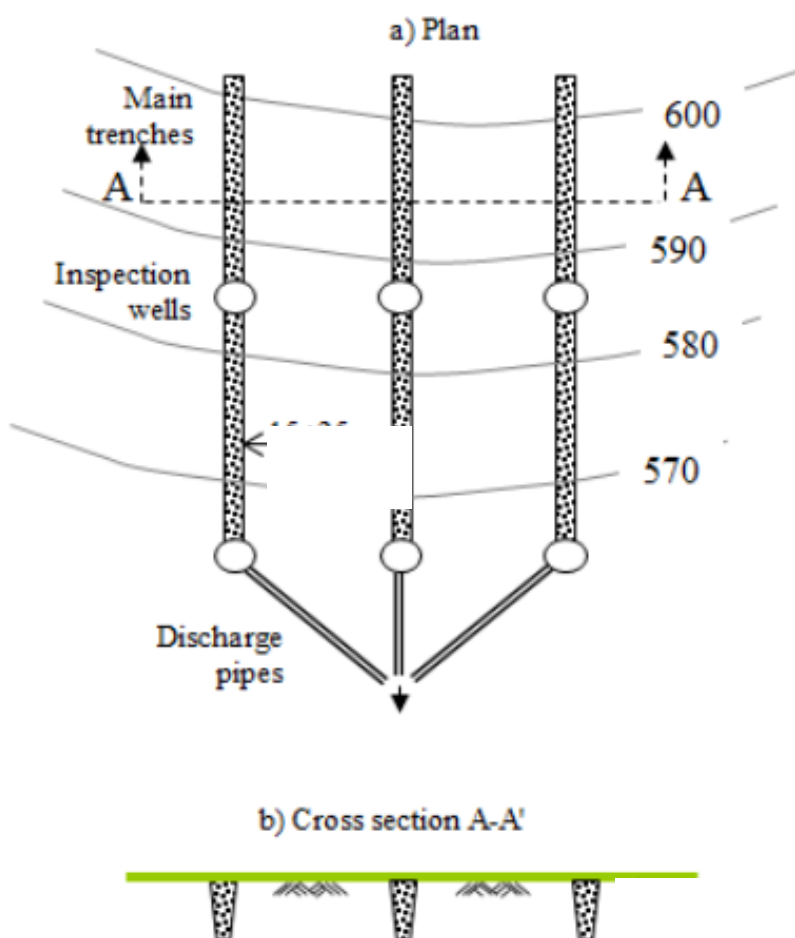


11.3 Forbedring av skråningsstabiliteten ved kontroll av grunnvannstand

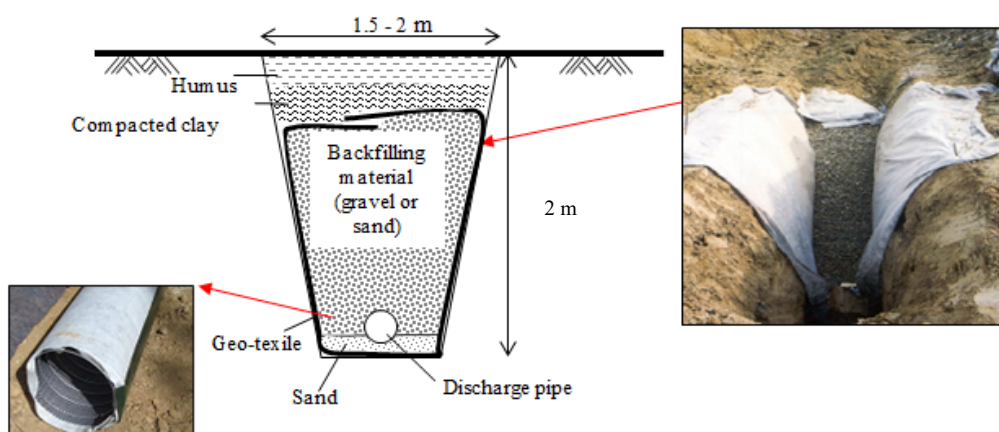
Beregningene for dagens situasjon indikerer at drenert stabilitet er mest kritisk. Dybden til grunnvannsnivået og poretrykksfordelingen i dybden er viktige faktorer for denne type bruddmekanisme. Etablering av dreneringsgrøfter i skråningen, vil kunne kontrollere grunnvannsnivået og forhindre grunne overflateskred. Slike skred utløses typisk av infiltrasjon fra nedbør og snøsmelting (merk: overflatedrenering antas ikke å ha noen stor effekt på udrenert sikkerhetsfaktor, da poretrykket i større dybder ikke antas å ville påvirkes).

Skråningene er høye og bratte, og det vil være et omfattende tiltak å drenere skråningene nord og sør for boligene på platået. Etablering av drensledninger vil kreve fjerning av en del eksisterende vegetasjon i ravinen, og graving av grøfter i til dels bratte skråninger. Gjennomføring av et slikt tiltak må planlegges nøye, slik at stabilitetsforholdene ikke forverres midlertidig i anleggsfasen. Dette må vurderes i detaljprosjekteringsfasen, og også inkluderes i en evt. entreprise. Erosjonssikring av bekken bør utføres samtidig, særlig der vann fra drensledninger slippes ut i bekken, og skaper erosjon. Noen skisser av dreneringsløsninger er gitt i Figur 11-2 og Figur 11-3.

Tiltaket må detaljprosjekteres dersom løsningen blir aktuell.



Figur 11-2 Eksempel på grunne dreneringsgrøfter: a) plan, b) snitt A-A'. På Tømmereggen er det vurdert å bruke 2 m dype grøfter for å oppnå ønsket forbedring av stabilitetsforholdene.



Figur 11-3 Skisse av en grunn dreneringsgrøft med perforert drensledning. På Tømmereggen er det vurdert å bruke 2 m dype grøfter for å oppnå ønsket forbedring av stabilitetsforholdene.

For profil T1, ved bolighuset på Tømmereggen, er det utført stabilitetsberegninger for sikringstiltak i form av senkning av grunnvannstanden i skråningene. Det er i tillegg antatt utslaking av skråningskanten mot nord og foreslått erosjonssikring av bekken i ravinen nord for Tømmereggen. Resultatene er presentert i Vedlegg C7-C8. «Krav» til sikkerhetsfaktor og beregningsresultater med og uten tiltak er oppsummert i Tabell 11-3. Plassering av tiltaket er skissert i Figur 11-4. Stabiliserende tiltak er dimensjonert slik at *drenerte* sikkerhetsfaktorer økes prosentvis i henhold til kravet om «forbedring» i NVE kvikkleireveileder 1/2019 (ref. /6/). Økning i udrenert sikkerhetsfaktor er ikke dimensjonerende, da dagens sikkerhetsfaktor for udrenert tilstand i profil T1 er høyere en «robusthetskravet» for områder uten nye byggetiltak.

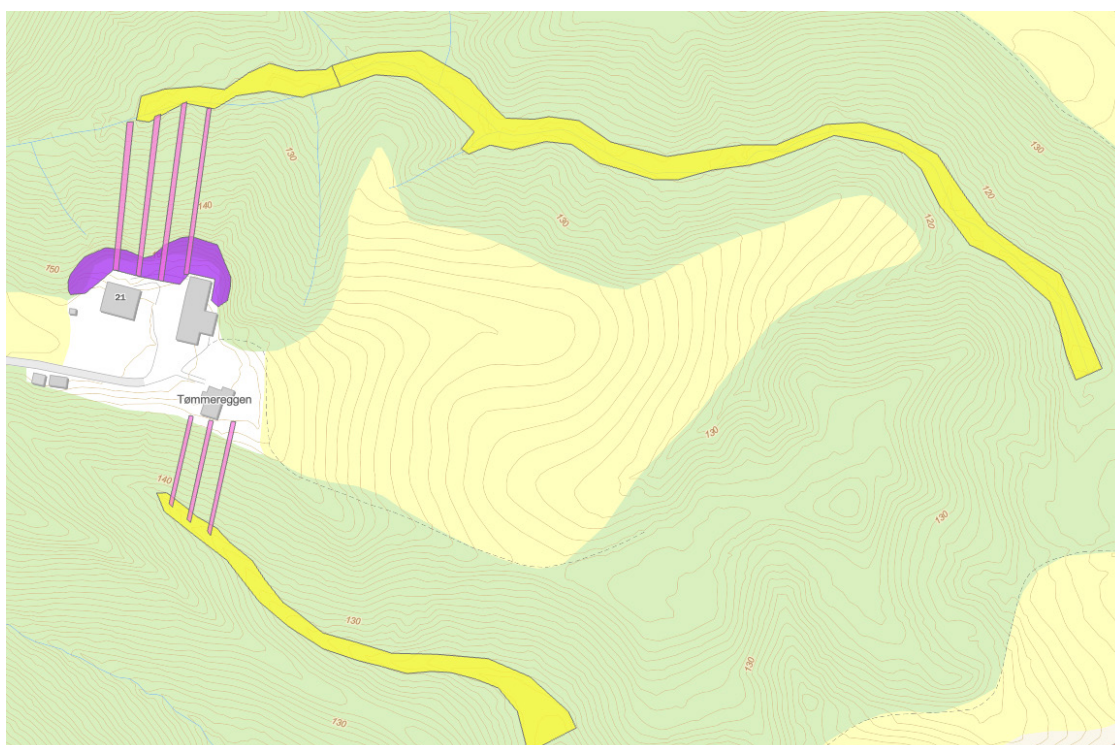
Beregningene indikerer at senkning av grunnvannstanden er et effektivt tiltak mot drenerte brudd. I tillegg er skråningskanten i nord avlastet/flatet ut noe for å fjerne den bratteste delen ved skråningstoppen. Erosjonssikring i bunnen av ravinene vil forhindre erosjon og forverring av situasjonen, og anbefales utført samtidig som skråningsdreneringen. Senkning av grunnvannstand til 2 m dybde er ut fra beregningene tilstrekkelig til å øke drenert stabilitet iht. NVEs krav til «forbedring».

Drenering av skråningen nord for Tømmereggen prioriteres over drenering av skråningen mot sør av følgende årsaker:

- Skråningen mot nord har lavere beregnet sikkerhetsfaktor.
- Det renner vann i bekken nord for Tømmereggen hele året, men kun under snøsmelting i ravinen sør for Tømmereggen (ifølge grunneierne).
- I ravinen sør for Tømmereggen ligger kvikkleire godt under skråningståen (basert på tilgjengelige grunnundersøkelser), dvs. det eroderes ikke i kvikkleire. (merk: pågående erosjon er ikke vurdert i ravinen rett sør for bolighusene da ravinebunn var dekket av snø under befaring i april 2024. Det ble imidlertid registrert en flombekk under snødekket, og vannet i bekken lenger nedstrøms var grått).

Tabell 11-3. Beregningsprofil T1, tiltak: senkning av grunnvannstand. Dagens stabilitetsforhold, krav for å oppnå «forbedring» av sikkerhetsfaktor iht. NVE veileder 1/2019 og resulterende sikkerhet med tiltak.

Beskrivelse av beregning	Sikkerhetsfaktor					
	Dagens situasjon		Krav «forbedring» iht. NVE-veiledn.		Med tiltak (vedlegg C7/C8)	
	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert	Udrenert	Drenert
Skråning mot nord-kritisk før tiltak	1.22*	0.97	≥ 1.20	1.07	1.23*	1.08
Skråning mot nord-stor sirkel	-	1.02	-	1.11	-	1.11
Skråning mot nord-kritisk sirkel etter tiltak					1.23*	1.07
Skråning mot sør-kritisk før tiltak	1.75*	1.19	≥ 1.20	1.25	1.76*	1.36*
Skråning mot sør-kritisk etter tiltak	-	-	-	-	1.76	1.29*
Merknader: * Krav om absolutt sikkerhet er oppfylt, dvs. $F_{c\phi} \geq 1.25$ (drenert) eller $F_{cu} \geq 1.20$ (udrenert)						



Figur 11-4. Prinsippskisse av mulige sikringstiltak-senkning av grunnvannstand og erosjonssikring. Lilla: utslaking av skråningskanten, gul: erosjonssikring av bekk, rosa: drenggrøfter i skråningen. Eventuelle tiltak må detaljprosjekteres, og konfigurasjon av grøfter er kun ment for illustrasjon.

11.4 Forbedring av datagrunnlaget

Før detaljprosjektering og utførelse av stabiliserende tiltak, bør det utføres supplerende grunnundersøkelser, dvs. sonderinger og prøvetaking/laboratorieundersøkelser, denne gangen i ravinebunn, samt installasjon av poretrykksmålere.

Grunnundersøkelser på toppen av skråningen er uproblematisk, men utførelse av grunnundersøkelser i ravinene er krevende på flere måter. Bratte skråninger fører til at boreriggen enten må vinsjes ned. Mye vegetasjon og veltede trær vil også hindre adkomst, og må ryddes unna (noe som er tidskrevende). Under befaringen var markdekket veldig bløtt og leirig. Topplaget kan også bli skadet selv om boreriggen kjører på belter.

11.4.1 Ravinebunn/skråningsfot

Nye grunnundersøkelser anbefales for å undersøke lagdeling og styrkeegenskaper i ravinene / ved skråningsfoten.

Ideelt sett burde det utføres totalsonderinger, CPTu-sonderinger, installering av poretrykksmålere og prøvetaking i ravinene nord og sør for Tømmereggen. Adkomst til disse ravinene er imidlertid vanskelig og tidkrevende, og muligens i konflikt med ravinens klassifisering som A-ravine. Behov for ytterligere data kan evt. vurderes i detaljprosjekteringsfasen.

Boringer i ravinebunn nord for Fjellboveien 21 med håndholdt utstyr er også et alternativ, noe som krever mindre ressurser, men som likevel kan gi en del viktig data. Boringer ved bekken kan ha følgende formål:

- Bestemme minimum løsmassemektighet (sikker bergkontroll kan ikke utføres).
- Bekrefte forekomst av og dybde til evt. kvikkleire ved å ta opp prøver (omrørt skjærstyrke kan måles i laboratoriet, selv om prøvene vil være forstyrret dersom håndholdt utstyr brukes til prøvetakingen).

Hvis det ikke blir påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale i bunn av ravinen, evt. at kvikkleire ligger så dypt at denne ikke utgjør noen fare, kan behovet for opprettelse av en kvikkleirefaresone på Tømmereggen revurderes.

Det bemerkes at nye data i ravinebunnen ikke nødvendigvis vil føre til at beregnet sikkerhetsfaktor for skråningen øker. Det må antas at stabiliteten fra Tømmereggen og ned i ravinen (særlig mot nord) fortsatt vil vurderes å være relativt dårlig, også om det ikke påvises i kvikkleire i ravinen. Det kan gå skred også i ikke-kvikke masser, og bygningsmassen på toppen av skråningen ligger innenfor kritisk udrenert glideflate, basert på utførte stabilitetsanalyser.

11.4.2 Poretrykksmålinger

I leirskråninger er det vanligvis langsomme og relativt begrensede poretrykksendringer gjennom året, men forholdene styres av en rekke faktorer som det er vanskelig å gjøre

gode antakelser for. Innmating av vann i grunnen gjennom underliggende berg kan ha stor betydning for poretrykksfordelingen, og det samme gjelder lagdeling, korngradering og andre forhold. Uten målinger in situ (i grunnen), vil det knyttes usikkerhet til poretrykksforholdene. Installasjon av nye piezometere vil gi bedre oversikt over grunnvannsregimet i Tømmereggen, og muligens gjøre det mulig å bruke mindre konservative poretrykksantagelser, noe som igjen kan resultere i høyere sikkerhetsfaktorer.

Det er stor usikkerhet om dagens vannstand og poretrykksregime ved Tømmereggen, da det ikke er installert poretrykksmålere ved Tømmereggen. Det anbefales nærmere kartlegging av poretrykksregimet før stabiliserende tiltak utføres, da særlig i skråningen og nede ved ravinen.

11.5 Andre sikringstiltak

Det finnes andre typer sikringstiltak enn de som er nevnt foran, og som kan benyttes for sikring av skråninger, også i kvikkleire. Slike tiltak omfatter veletablerte metoder som grunnforsterkning med KS-peler og vertikaldrenering med forbelastning, i tillegg til installasjon av saltkolonner (p.t. på forsøksstadiet) osv. Slike metoder er ikke vurdert nærmere for Tømmereggen, fordi disse vil være svært kostbare, kompliserte å utføre for de rådende forhold, og generelt mindre skånsomme for ravinen enn tiltakene diskutert foran (topografiske endringer, erosjonssikring og skråningsdrenering).

12 Sammendrag og konklusjoner

Basert på data fra nye geotekniske og geofysiske grunnundersøkelser (grunnboringer og ERT-målinger) er skråningsstabilitet og skredfare vurdert for bebyggelsen på Tømmereggen.

Kvikkleiresone

Basert på grunnundersøkelsene, foreslås det å opprette en ny kvikkleiresone på Tømmereggen. Denne sonen er klassifisert til å ligge i faregradklasse *Lav*, konsekvensklasse *Alvorlig* og risikoklasse 2. Det er påvist kvikkleire i opptatte prøver. Basert på boringer på toppen av skråningene, er overkant av kvikkleirelaget antatt å ligge ca. på nivå med bekken i bunnen av ravinen nord for Tømmereggen.

Fordi kvikkleira ligger dypt, er aktuell skredmekanisme vurdert å være rotasjonsskred, dvs. at bruddmekanismen i liten grad antas å ville påvirkes av kvikkleira. Bebyggelsen på Tømmereggen vil likevel ligge innenfor sonens løsneområde.

Skråningsstabilitet

For dagens situasjon er stabiliteten av drenerte glideflater i skråningene ved bolighusene vurdert som beregningsmessig marginal (sikkerhetsfaktor rundt 1.0). De udrenerte sikkerhetsfaktorene i skråningene nedenfor bolighusene er noe høyere, og tilfredsstillende krav for områder der det ikke er planlagt utbygging. Merk at udrenerte sikkerhetsfaktorer

ligger under krav til ny bebyggelse generelt. Det er i tillegg observert overflateglidninger på befaringen, og pågående erosjon i bekken i ravinen nord for Tømmereggen.

Hvis erosjonen i ravinen får fortsette, vil skråningsstabiliteten gradvis forverres, og må forventes til å til slutt utløse et skred som vil kunne ha en bruddflate som omfatter skråningen fra ravinen og opp til plataået med bebyggelsen. Merk at stabilitet av skråningene beregningsmessig er dårlig også uten grunt beliggende kvikkleire i ravinen.

Sikringstiltak

Det er vurdert flere alternativer for sikring av Tømmereggen. Alternativene har forskjellige omfang, lokasjon og effekt på sikkerhetsfaktorer (drenerte og udrenerte). Tiltakene kan også kombineres, og skaleres i størrelse avhengig av ønsket totaleffekt (økning i sikkerhetsfaktor eller resulterende sikkerhetsfaktor).

1. Erosjonssikring av bekker.

For å forhindre gradvis forverring av skråningsstabiliteten, anbefales etablering av erosjonssikring for bekken i ravinen nord for Tømmereggen. Også i ravinen sør for Tømmereggen bør erosjonssikring vurderes, hvis det installeres drengrofter i skråningene ovenfor, som vil medføre punktvis utslipp av vann til ravinen.

2. Utslaking av skråningskanten.

Lokale bratte partier langs skråningskantene (der det stedvis kan være fylt ut masser tidligere) kan flates ut slik at maks. helning er f.eks. 1V:3H. Dette vil redusere faren for lokale utglidninger på skråningskantene.

3. Avlastning av plataået

Fjerning av jord fra et større område på plataået med bolighusene vil forbedre den udrenerte sikkerheten. Dette er et relativt omfattende tiltak, og må tilpasses eksisterende boliger/bygninger. Tiltaket har liten påvirkning på de vernede ravinene. Massene må kjøres ut av området til deponi.

4. Motfylling i ravinen.

Motfylling i ravinen nord for Tømmereggen vil øke både udrenerte og drenerte sikkerhetsfaktorer, men utgjør et stort inngrep i en vernet ravine.

5. Drenering av skråningene nedenfor bolighusene.

Drenering av skråningene med lukkede drengrofter vil kontrollere grunnvannstanden og gi bedre sikkerhet mot grunne glidninger og drenerte brudd i skråningene. Drenering av skråninger vil medføre store inngrep i de vernete ravinene.

Tiltak som erosjonssikring, motfylling og drenering i ravinene nord og sør for Tømmereggen vil i utgangspunktet forhindres av at ravinene er vernede. Muligheter for å utføre tiltak i ravinene må derfor undersøkes og avklares nærmere.

Supplerende data

Nye grunnundersøkelser nede i ravinene, og poretrykksmålinger spesielt, vil forbedre beregningsgrunnlaget for stabilitetsanalyser og vurderinger. Det er usikkerhet knyttet til lagdeling og jordparameterne nede i ravinene, og generelt for poretrykksregimet på Tømmereggen. Supplerende grunnundersøkelser bør utføres før detaljprosjektering av eventuelle tiltak.

Uavhengig kvalitetskontroll

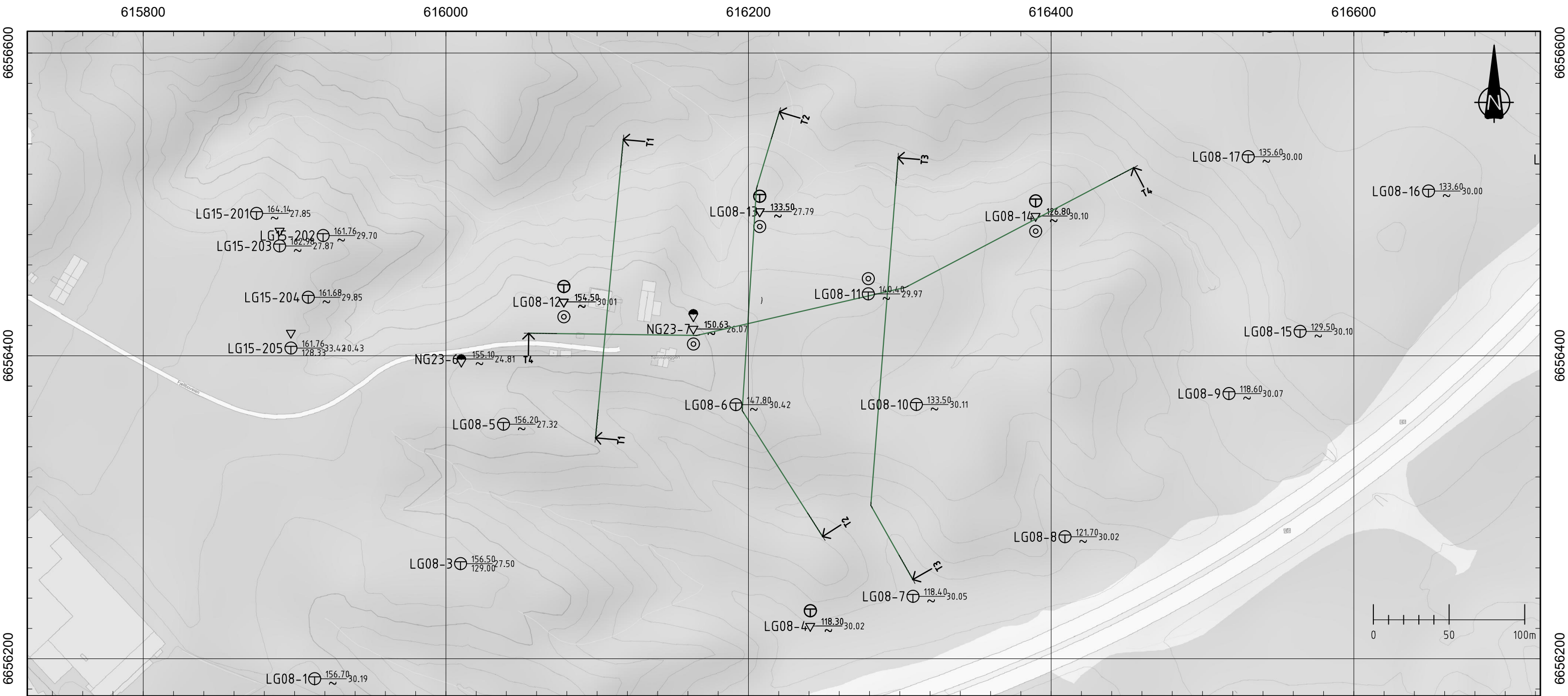
Dette notatet gir en vurdering av områdestabilitet, iht. prosedyre i NVE-veileder 1/2019. Uavhengig kvalitetssikring av dette notatet er utført av Romerike Geoteknikk (ref. /16/).

13 Referanser

- /1/ Løvlien Georåd (2008) Coop Norge, Sørums. Grunnundersøkelse. Geoteknisk rapport 08-214 nr. 1, datert 22/12/2008.
- /2/ Løvlien Georåd (2015) Frogner Næringspark. Stabilitet profil H-H. Notat RIG07. Datert 11.12.2015.
- /3/ Løvlien Georåd (2015) Frogner Næringspark. Geoteknisk rådgivningsrapport. 13241 rapport nr.1 rev01. Datert 03.06.2015
- /4/ Løvlien Georåd (2022) Frogner Næringspark. 13241 Notat RIG13, rev01, Vollen. Datert 13/06/2022.
- /5/ BioFokus (2016) *Ravinekartlegging i Sørums kommune 2014-2015*. Dokumentnr. 2016-1, datert 15.02.2016.
- /6/ NVE (2020) Veileder 1/2019 *Sikkerhet mot kvikkleireskred: vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*.
- /7/ NGI (2023) *Geoteknisk datarapport, Tømmereggen, Frogner*. Doknr. 20230480-02-R, datert 19.12.2023.
- /8/ NGI (2024) *Datarapport ERT, Tømmereggen, Frogner*. Doknr. 20230480-03-R, datert 05.06.2024.
- /9/ Long *et al.* (2017) *Glacio-marine clay resistivity as a proxy for remoulded shear strength: correlations and limitations*. Quarterly J Eng Geol Hydrogeol, 51, p. 63–78.
- /10/ Karlsrud K. (2005). CPTU correlations for clays. International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693-702.
- /11/ Paniagua P. (2019). *CPTU correlations for Norwegian clays: an update*. AIMS Geosciences, 5(2): 82-103.
- /12/ Ladd, C. C., & Foott, R. (1974). *New design procedure for stability of soft clays*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 100(Proc Paper 10064).
- /13/ NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen . (2014). *NIFS 14/2014 En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktoreri prosjektering i norske leirer*.
- /14/ Lunne *et al.* (1997). *Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay*. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Balkema, Rotterdam. S. 81-102.
- /15/ NVE (2020) Ekstern rapport 9/2020: *Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred – Metodebeskrivelse*.
- /16/ Romerike Geoteknikk (2024) Kvalitetssikring iht. NVE-veileder 1/2019: *Vurdering av områdestabilitet Tømmereggen*. Doknr. 50638-01-R, datert 30.09.2024.

Tegninger

Tegning nr. 020	Plantegning, plassering profiler og borpunkt
Tegning nr. 021	Lagdeling Profil T1
Tegning nr. 022	Lagdeling Profil T1
Tegning nr. 023	Lagdeling Profil T3
Tegning nr. 024	Lagdeling Profil T4



FORKLARINGER:

- Dreiesondering

○ Enkel sondering

▽ Trykksondering
- ✱ Fjellkontrollboring

◆ Dreietrykksondering

⊕ Totalsondering
- ⊙ Prøveserie

□ Prøvegrop

+ Vinge-boring
- ⊖ Poretrykksmåling

⋈ Fjell i dagen

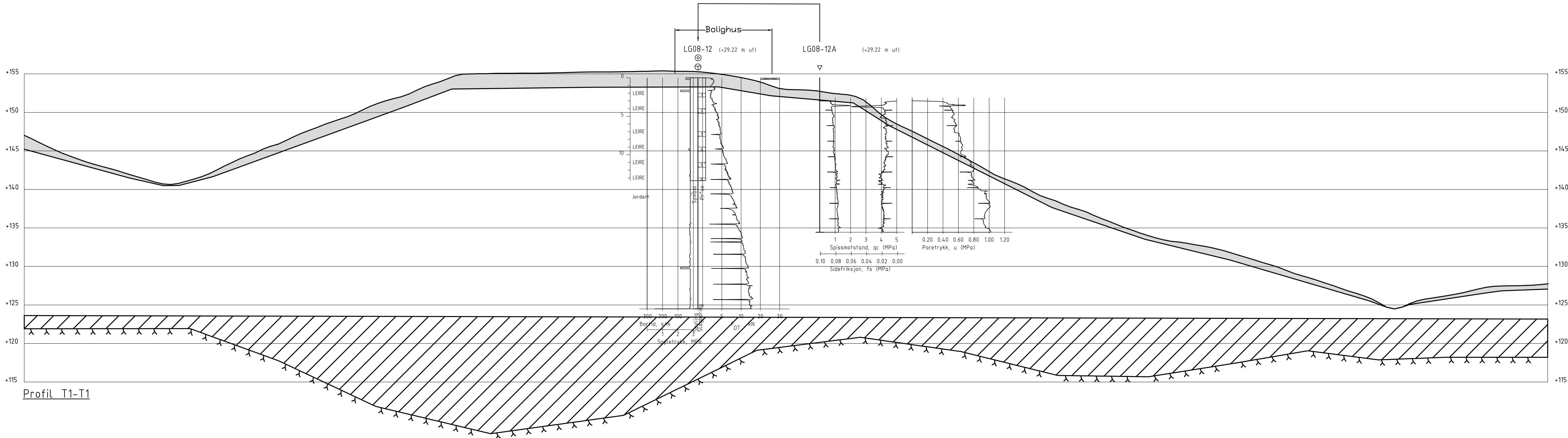
Borhull nr. $\frac{\text{Terreng (bunn) kote}}{\text{Antatt fjellkote}}$ Boret dybde + (boret i fjell)

HENVISNINGER:

Datarapporter:
-Løvlien Georåd (2008) Coop Norge, Sørum. Grunnundersøkelse. Geoteknisk rapport 08-214 nr. 1, datert 22/12/2008.
-Løvlien Georåd (2015) Frogner Næringspark. Stabilitet profil H-H. Notat RIG07. Datert 11.12.2015.
-NGI (2023) Geoteknisk Datarapport, Tømmereggen, Frogner. Doknr. 20230480-02-R, datert 19-12-2023

-	-	-	-	-	-
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Lillestrøm kommune		Status			
		Original format A3			
		Tegningens filsti G:\geoteknisk\20230480\AUTOGRAF.RIT\1.2 - Plantegninger\Borplan\20230480-02-R 1*mmereggen.dwg			
Utredning av skredfare for Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner) Plantegning, plassering profiler og borpunkt		Målestokk 1:2500		NGI	
		Dato 08.02.2024	Konstr./Tegnet Hsk/LaH	Kontrollert HHe	Godkjent LaH
		Oppdragsnr. 20230480	Tegningsnr. 020		Rev. 00

Koordinatsystem: UTM32
Høydemodell: NN2000



Profil T1-T1

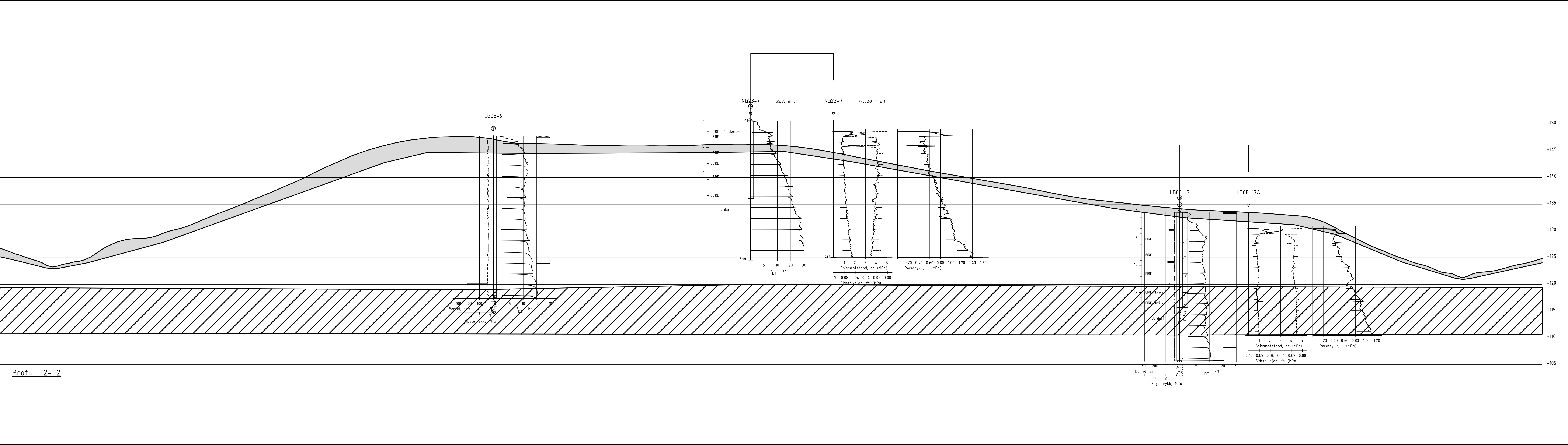
FORKLARINGER:

- Tørskorpe
- Leire
- Kvikkleire

HENVISNINGER:

- Tegning 020 - Plantegning, plassering profiler og borpunkt
- Teknisk notat 20230480-02-TN: Utredning av skredfare for Tømmereggen (Frogner)

01	Endret bergoverflate etter ERT	03.06.2024	LaH	HHe	LaH
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Lillestrøm kommune		Status			
		Original format			
		A30			
		Tegningens filnavn			
Utredning av skredfare for Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner) Lagdeling Profil T1		Profil T1 med ERT.dwg		Målestokk	
		1:250		NGI	
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		03.06.2024	LaH	HHe	LaH
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20230480	021		01



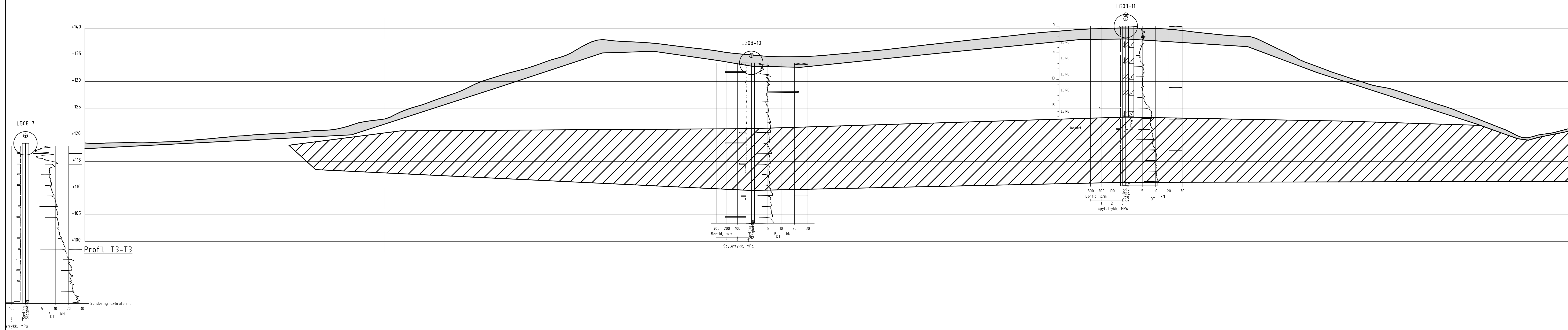
FORKLARINGER:

- Tørrskorpe
- Leire
- Kvikkleire

HENVISNINGER:

- Tegning 020 - Plantegning, plassering profiler og borpunkt
- Teknisk notat 20230480-02-TN: Utredning av skredfare for Tømmereggen (Frogner)

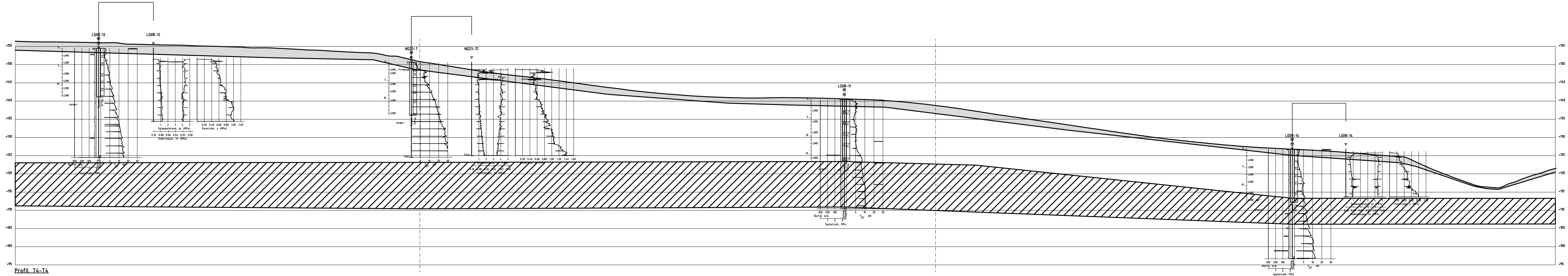
	-	-	-	-	-
Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konfr.	Godkj.	
Lillestrøm kommune	Status				
	Original format				
	A30				
	Tegningens filnavn				
	Profil T2_ny.dwg				
	Målestokk				
Utredning av skredfare for	1:300				
Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner)					
Lagdeling Profil T2					
NGI	Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ulvål Stadion	08.02.2024	LaH	HH	LaH	
NO-0806 Oslo, Norway	Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.	
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48	20230480	022			00
www.ngi.no					



FORKLARINGER:

HENVISNINGER:

[illegible]



FORKLARINGER:

- Tørrskorpe
- Leire
- Kvikkleire

HENVISNINGER:

- Tegning 020 - Plantegning, plassering profiler og borpunkt
- Teknisk notat 20230480-02-TN: Utredning av skredfare for Tømmereggen (Frogner)

	-	-	-	-	-	
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.	
Lillestrøm kommune		Status				
		Original format				
		A30				
		Tegningens filnavn				
Utredning av skredfare for		Profil T4_ny.dwg				
		Målestokk				
Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner)		1:500		NGI		
Lagdeling Profil T4						
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent	
		08.02.2024	LaH	HHe	LaH	
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.	
		20230480	024			00

Vedlegg A

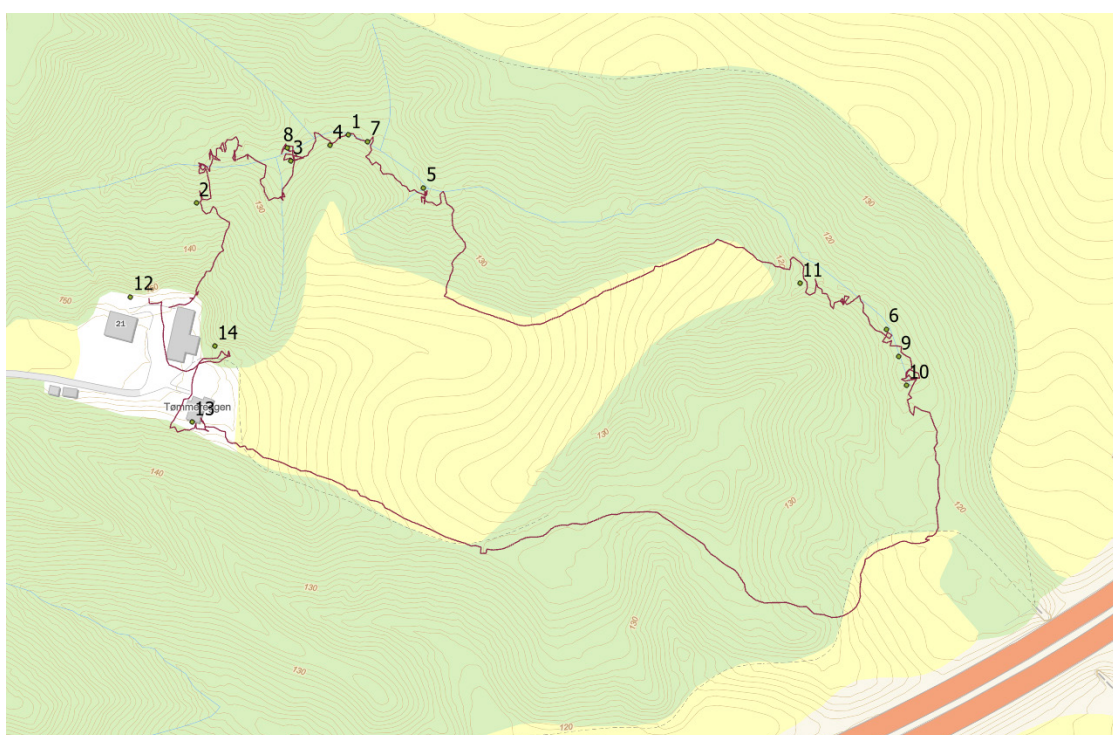
OPPSUMMERING AV FELTBEFARINGEN

Innhold

A1	Innledning	2
A2	Bilder og beskrivelser fra befaring	3
A3	Referanser	5

A1 Innledning

Befaring av Tømmereggen ble utført 28. september 2023 for å kartlegge bl.a. grunnforholdene, tidligere skredaktivitet og pågående erosjon. Område som ble befart er vist i Figur 1. Utvalgte bilder er også presentert (Bilde 1 - Bilde 14). Generelt sett var ravine-terrenget vanskelig å gå i: bratt, bløtt overflate, mange veltede/nedfalte trær. Bekken i ravinen nord for Tømmereggen var misfarget grått, og det var tegn på *noe erosjon* langs hele den befarte strekningen. Klassifisering av erosjon er utført iht. NVE ekstern rapport 9/2020 (ref. /1/).



Figur 1. Kart som viser GPS-sporing av befaring og lokasjon av utvalgte bilder.

A2 Bilder og beskrivelser fra befaring



Bilde 1. Typisk tilstand ved bekken. Erosjon i leire, vannet er misfarget grått/brunt.



Bilde 2. Veltede trær, eksponert leire. Nedre del av skråningen.



Bilde 3. Litt erosjon i leire langs bekken. Tegn på stor variasjon i vannstand i bekken.



Bilde 4. Sig i bakken flere steder (skjeve og bøyde trestammer)



Bilde 5. Mye rot i bekken, som er delvis oppdemmet. Vannet eroderer og finner nye veier rundt trestammer og grener.



Bilde 6. Utglidning på begge sider av bekken (<10m)



Bilde 7. Eldre (og større) skredgrop



Bilde 8. Erosjon/nedgraving av bekken i leire



Bilde 9. Innløpet til kulverten er delvis plastret.



Bilde 10. Innløpet til kulverten under E6 er delvis blokkert av sedimenter og vegetasjon. Meldt inn til SVV.



Bilde 11. (Side)Bekken graver seg ned i leire.



Bilde 12. Huseieren melder at skråningskanten er noen meter nærmere huset (Fjellboveien 21) enn for noen tiår siden.



Bilde 13. Eldre sprekker i grunnmuren (Fjellboveien 19)



Bilde 14. Fylling ved skråningskanten (bør unngås)

A3 Referanser

- /1/ NVE (2020) Ekstern rapport 9/2020: *Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred – Metodebeskrivelse.*

Vedlegg B

TOLKEDE AKTIVE UDRENERTE
SKJÆRFASTHETSPROFILER FRA CPTU-
SONDERINGER

Innhold

B1	Profiler for aktiv udrenert skjærfasthet	2
B2	Referanser	2

Figur

Figur B1 – B28

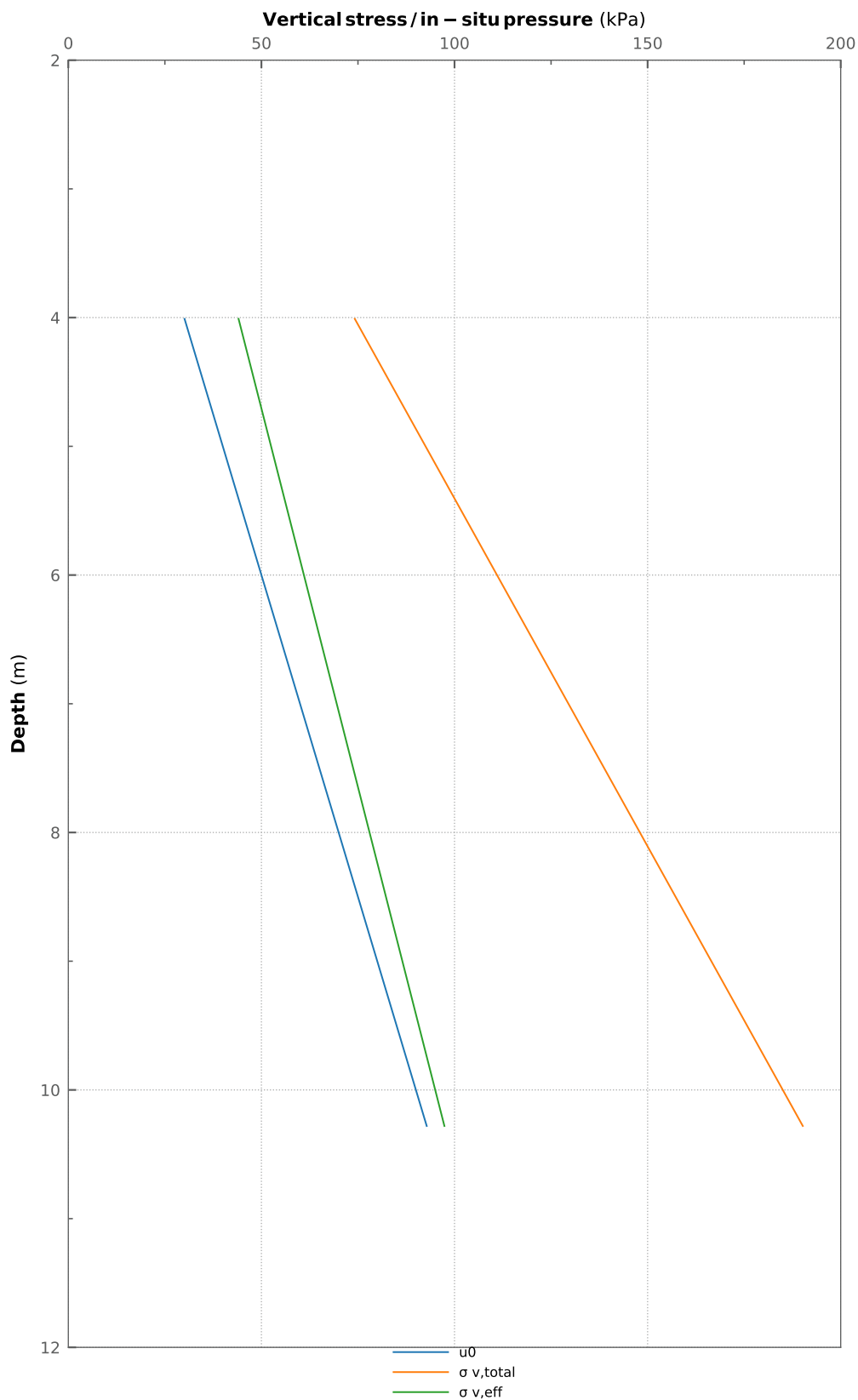
B1 Profiler for aktiv udrenert skjærfasthet

Det er utført tolkning av skjærstyrkeprofiler ved trykksondering (CPTU) iht. korrelasjoner i ref. /B1/. Disse er sammenstilt med laboratorieundersøkelser der det er tilgjengelig, supplert av en linje som viser normalkonsolidert skjærfasthet ("NC"-linje) og tolkning basert på "SHANSEP"-metoden som tar hensyn til tidligere historisk belastning, ref. /B2/.

Med grunnlag i ovennevnte metoder er det valgt en foreslått designlinje for aktiv udrenert skjærstyrke. Resultater er vist i figur B1-B28.

B2 Referanser

- /B1/ Karlstad, K., Lunne, K., Kort, D.A. and Strandvik, S. (2005): CPTU correlations for clays. Prov. 16th ICSMGE, Osaka, pp. 693-702.
- /B2/ Ladd, C. C. and Foott, R. (1974): New design procedure for stability of soft clays. Journal of the geotechnical engineering division, ASCE, Vol. 100, No. GT7, July, pp. 763-786.



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-4

rapportnummer:
20230480-02-TN

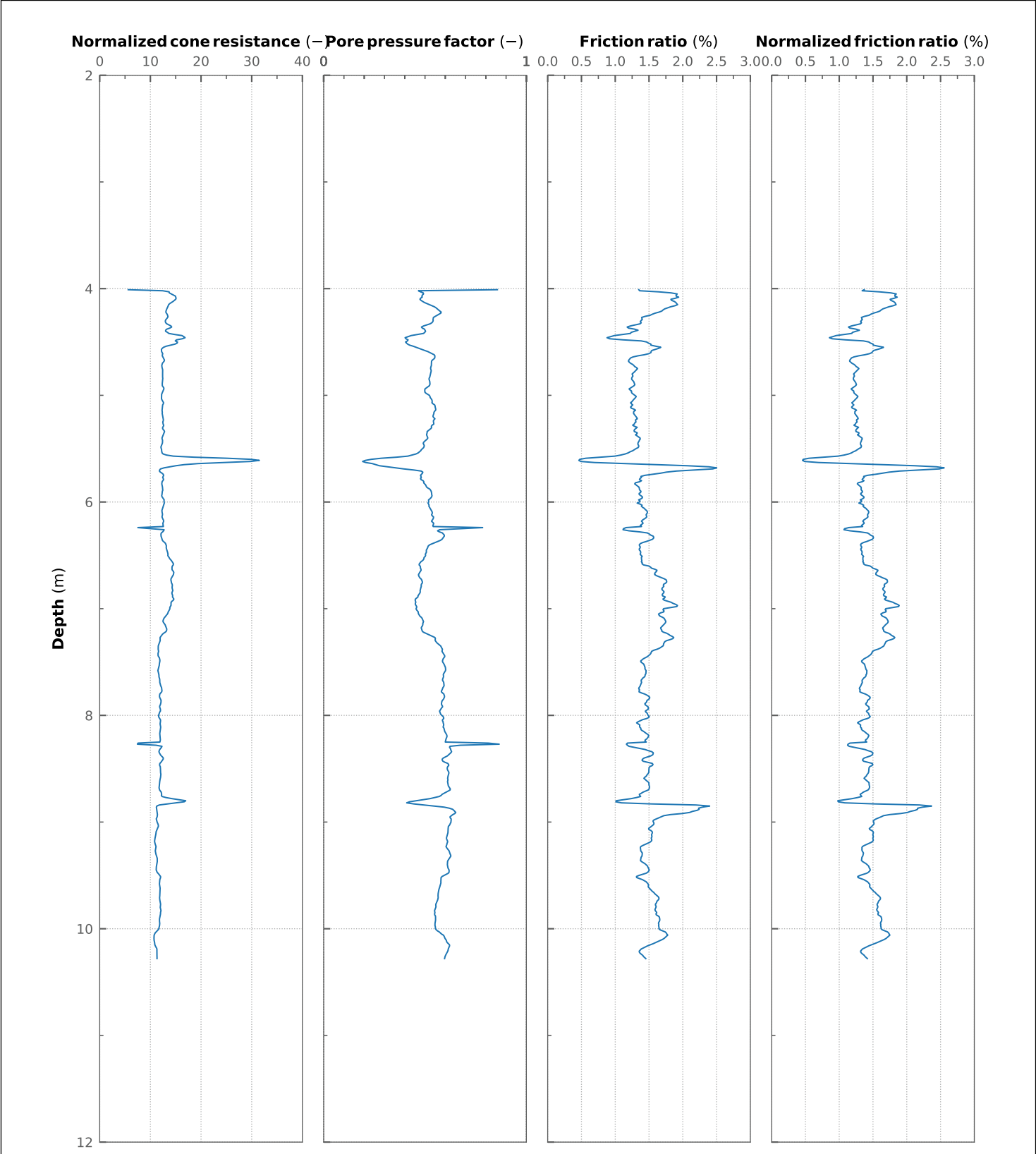
figurnummer:
B1

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

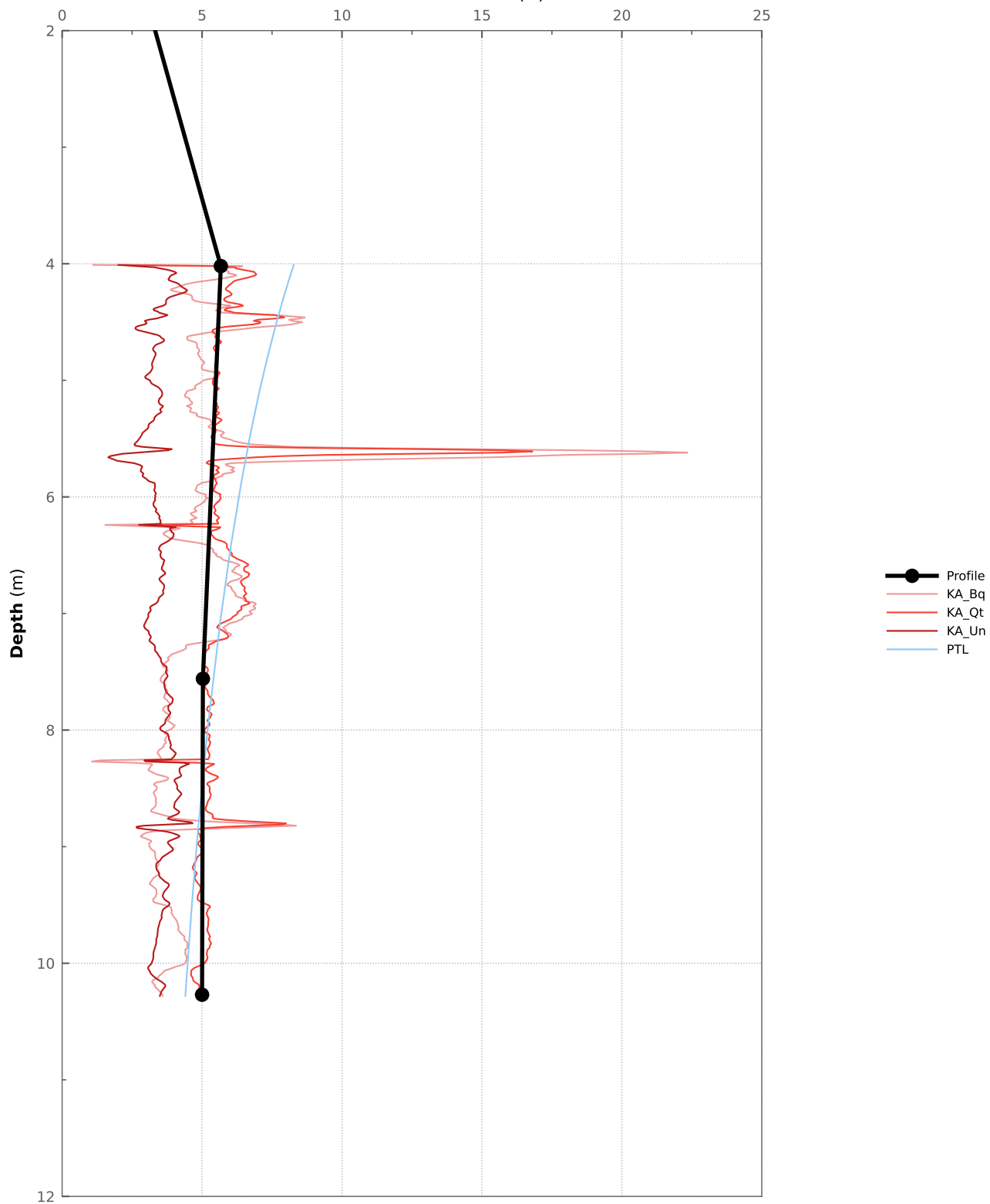
Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-4	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B2	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe
		

Over – consolidation ratio (-)



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-4

rapportnummer:
20230480-02-TN

figurnummer:
B3

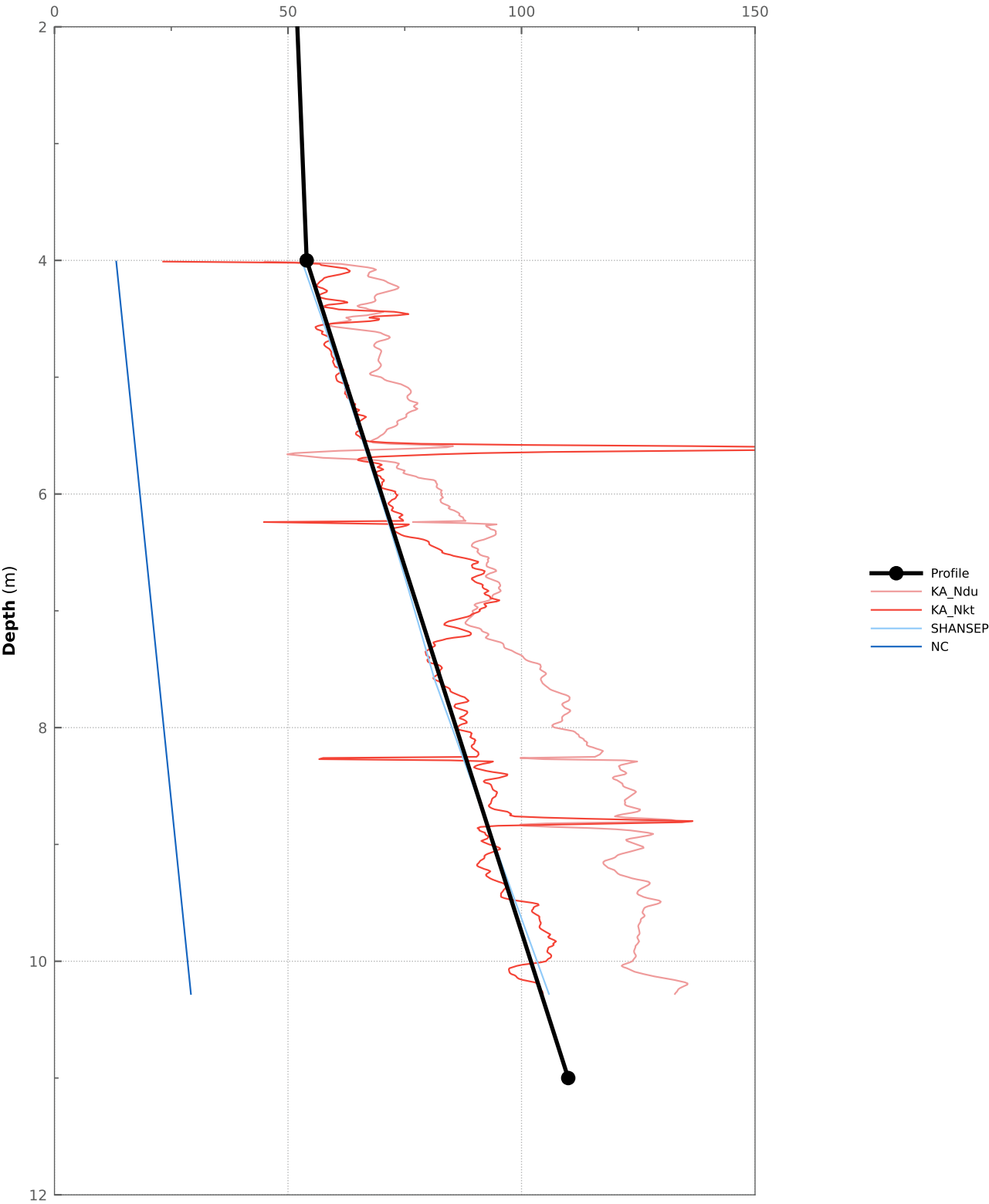
dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe



Undrained shear strength (kPa)



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-4

rapportnummer:
20230480-02-TN

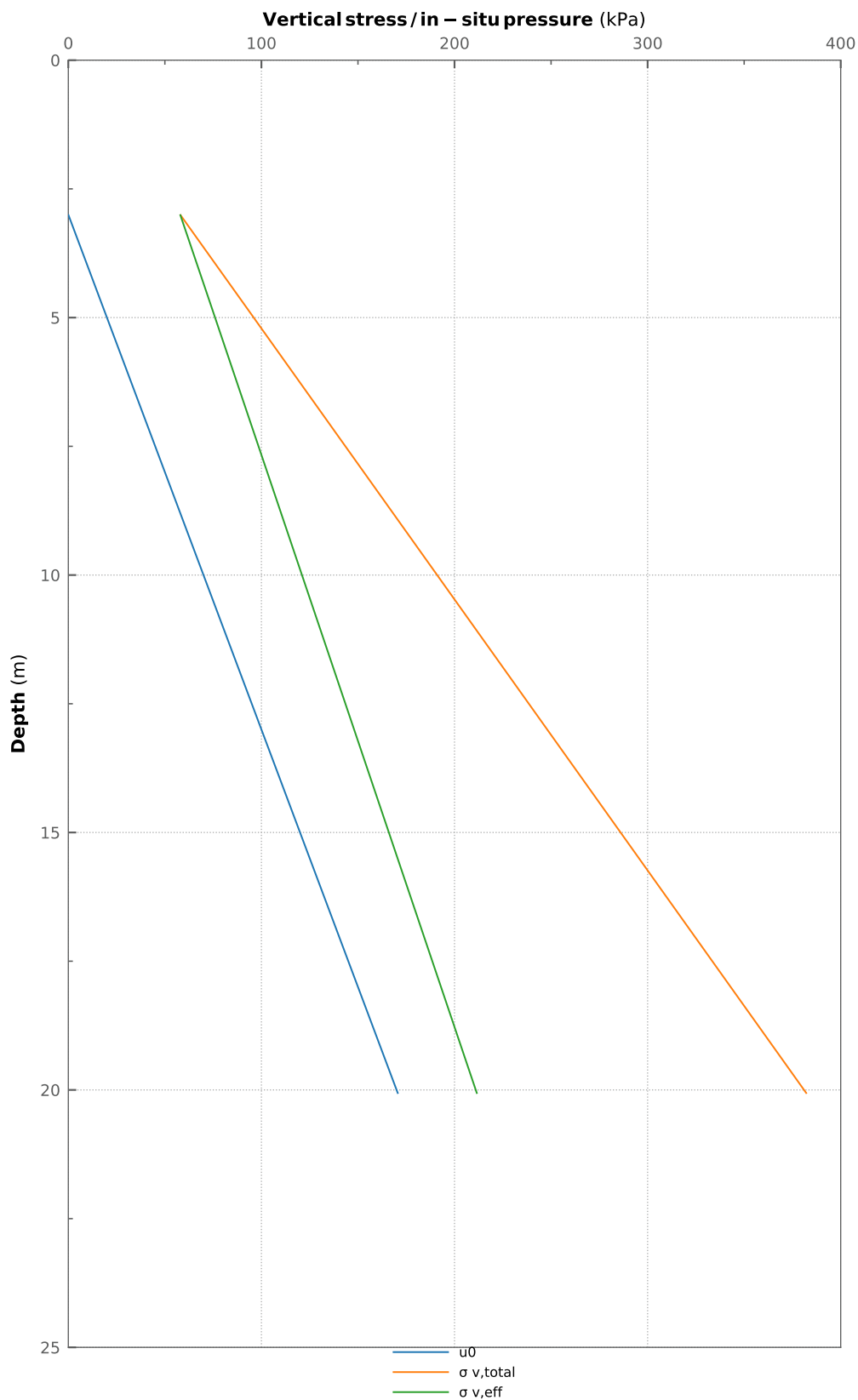
figurnummer:
B4

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-12

rapportnummer:
20230480-02-TN

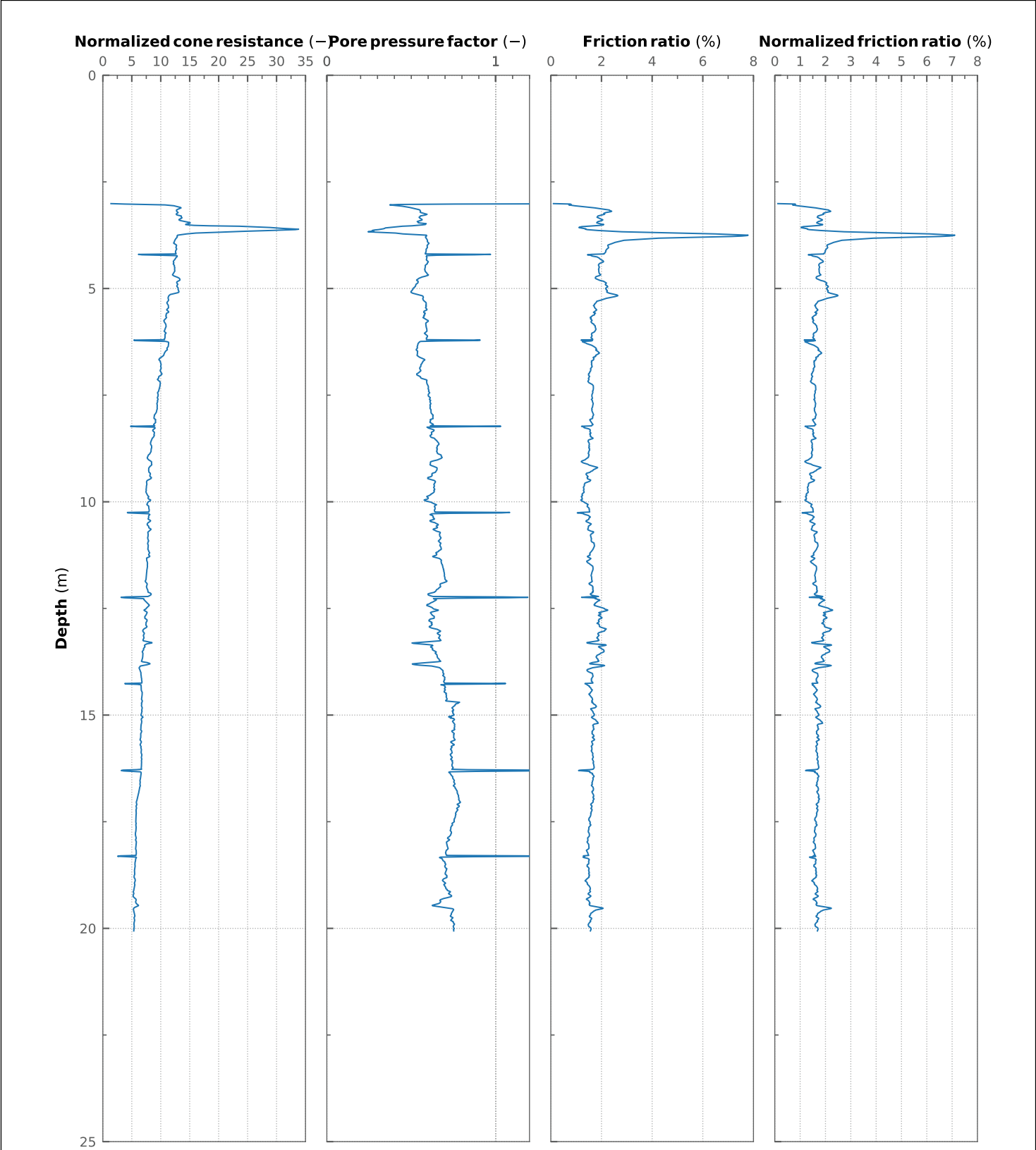
figurnummer:
B5

dato:
2024-02-08

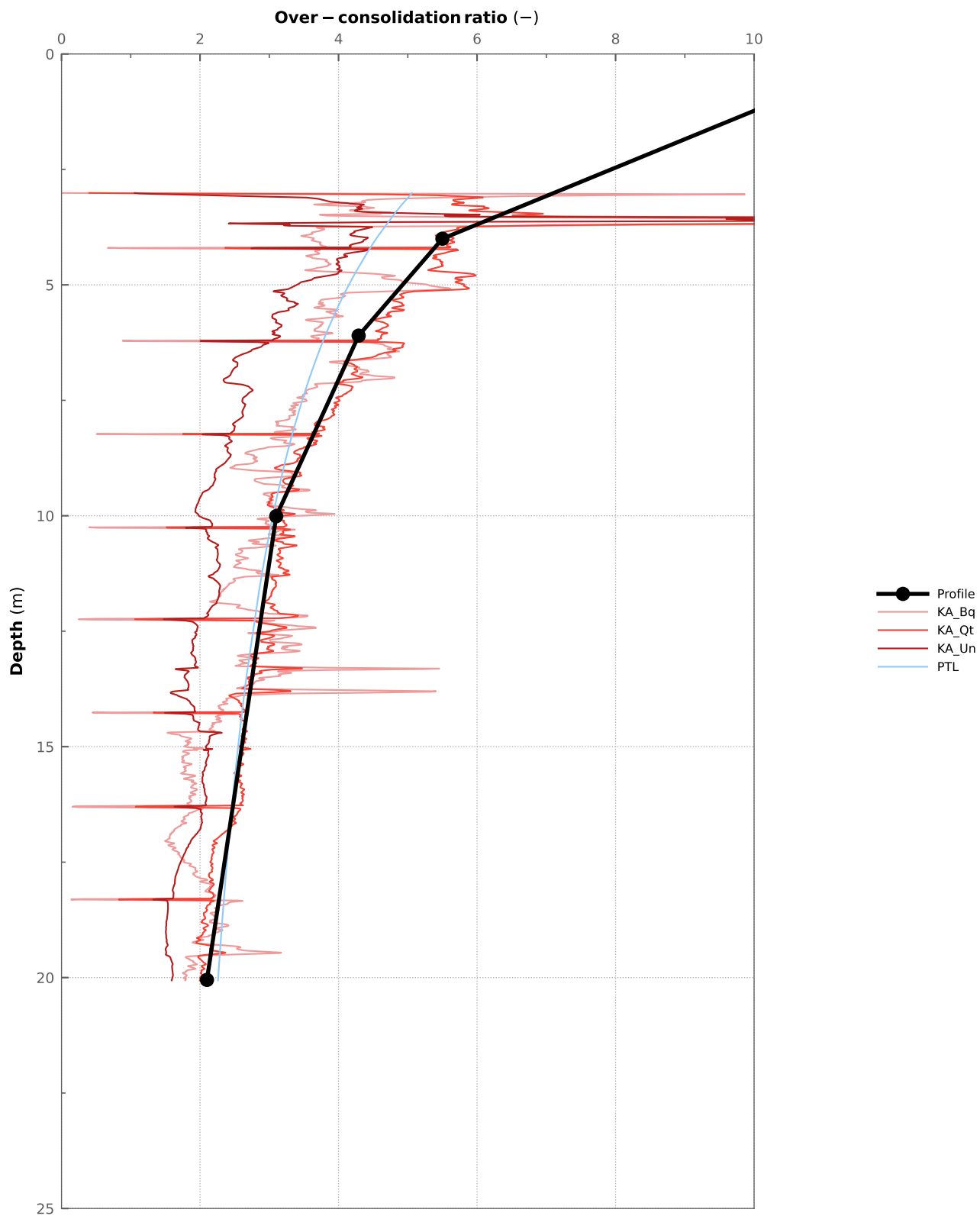
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-12	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B6	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-12

rapportnummer:
20230480-02-TN

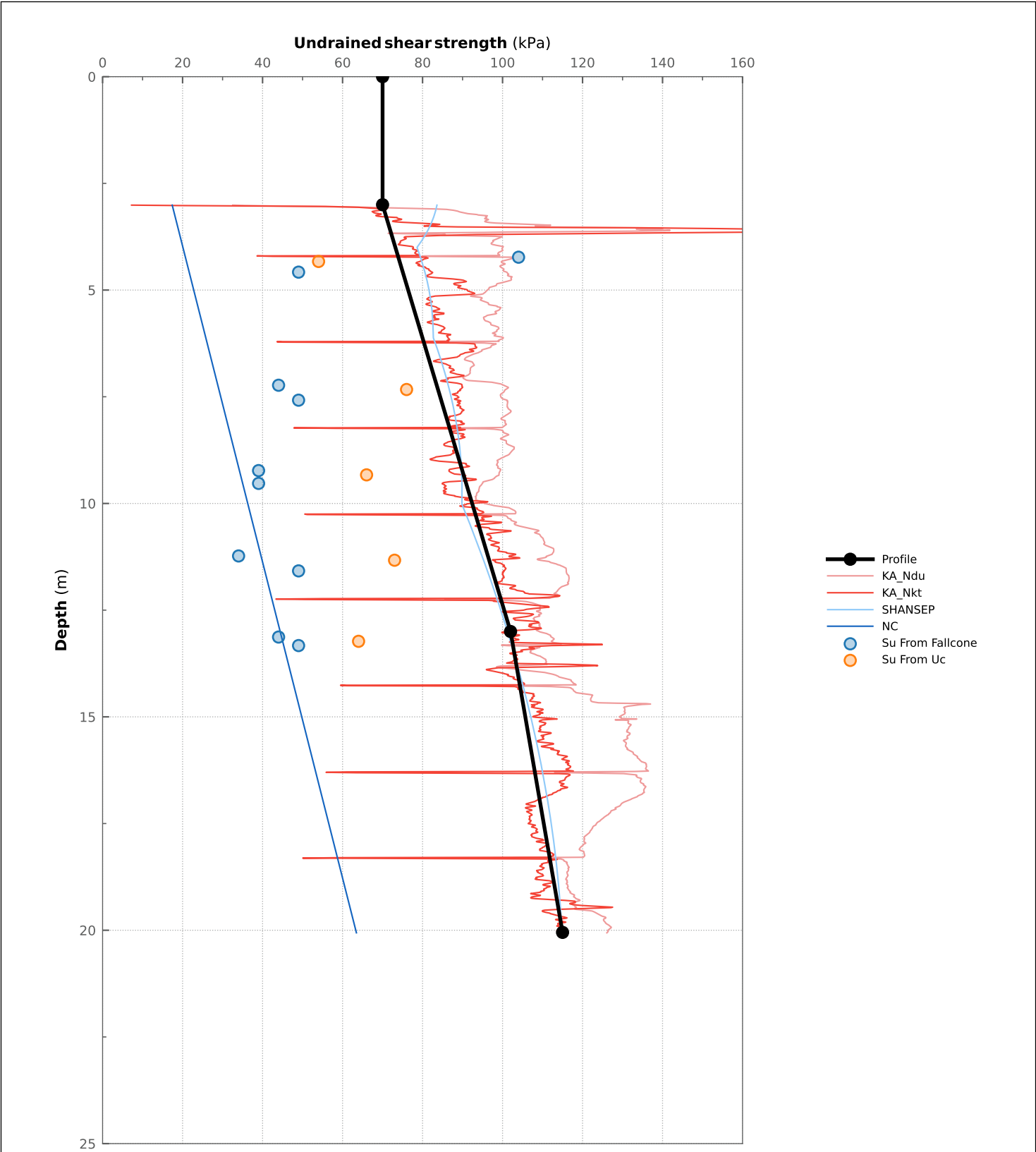
figurnummer:
B7

dato:
2024-02-08

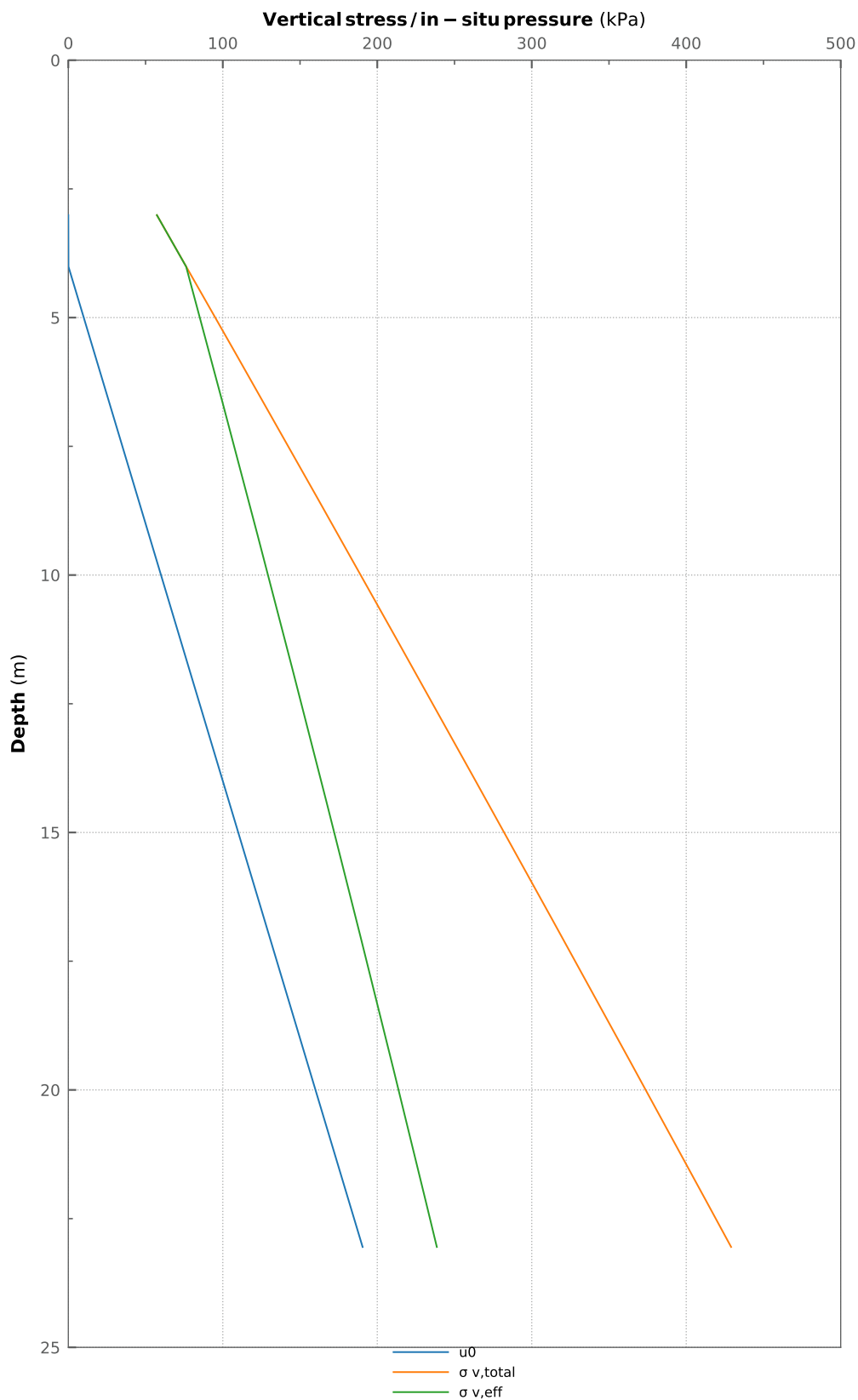
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-12		rapportnummer: 20230480-02-TN	
		figurnummer: B8	dato: 2024-02-08
		tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-13

rapportnummer:
20230480-02-TN

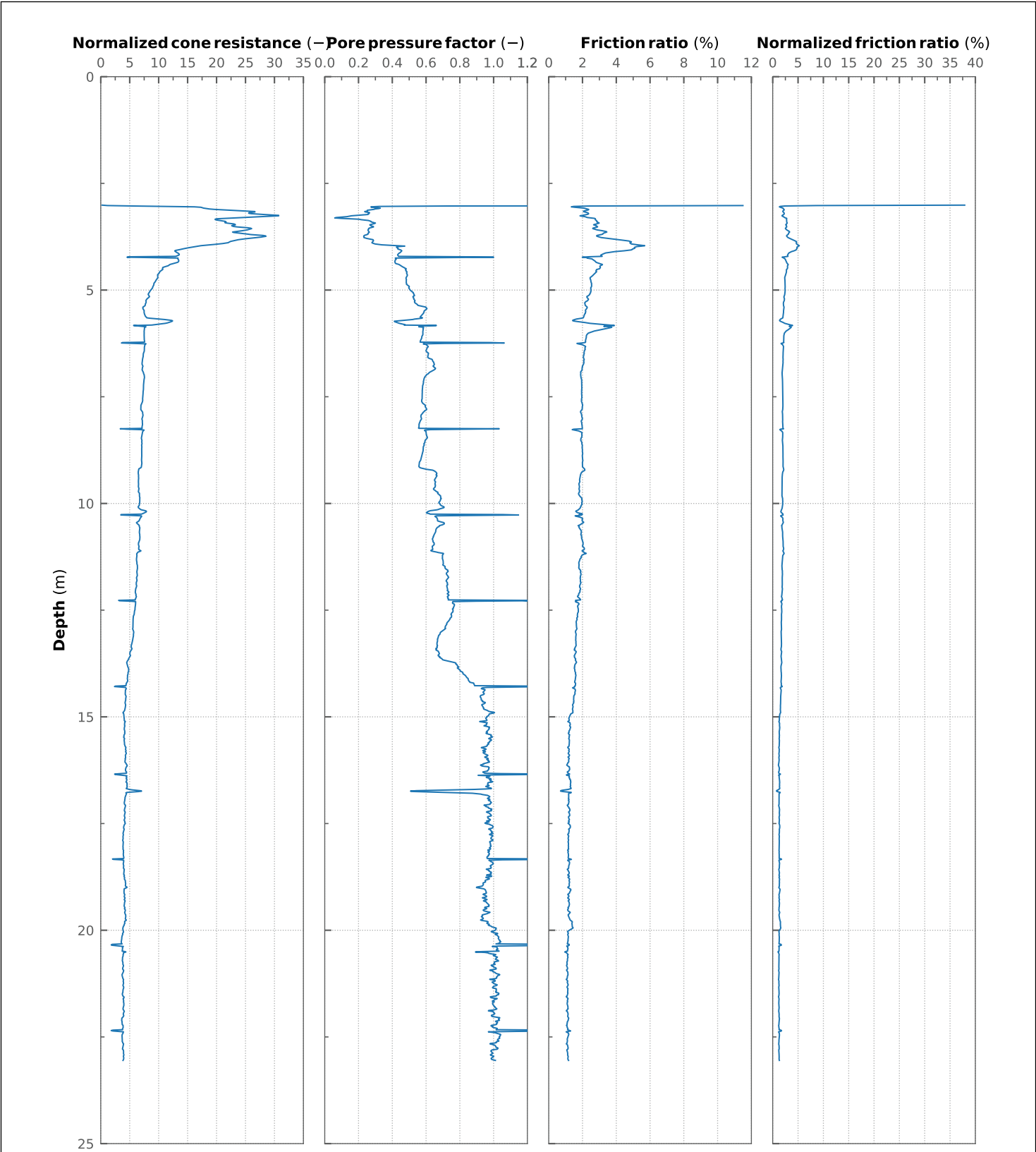
figurnummer:
B9

dato:
2024-02-08

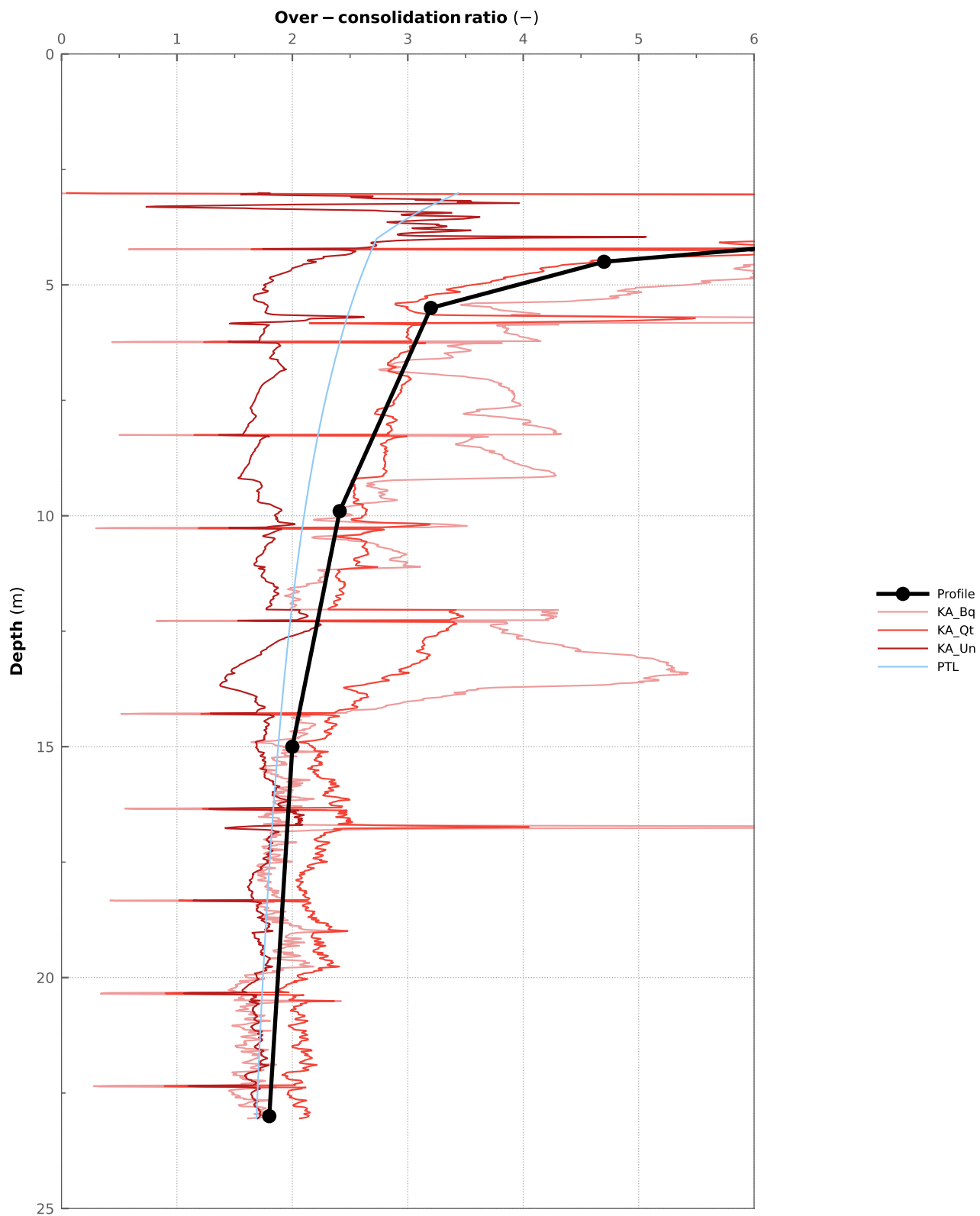
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-13	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B10	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-13

rapportnummer:
20230480-02-TN

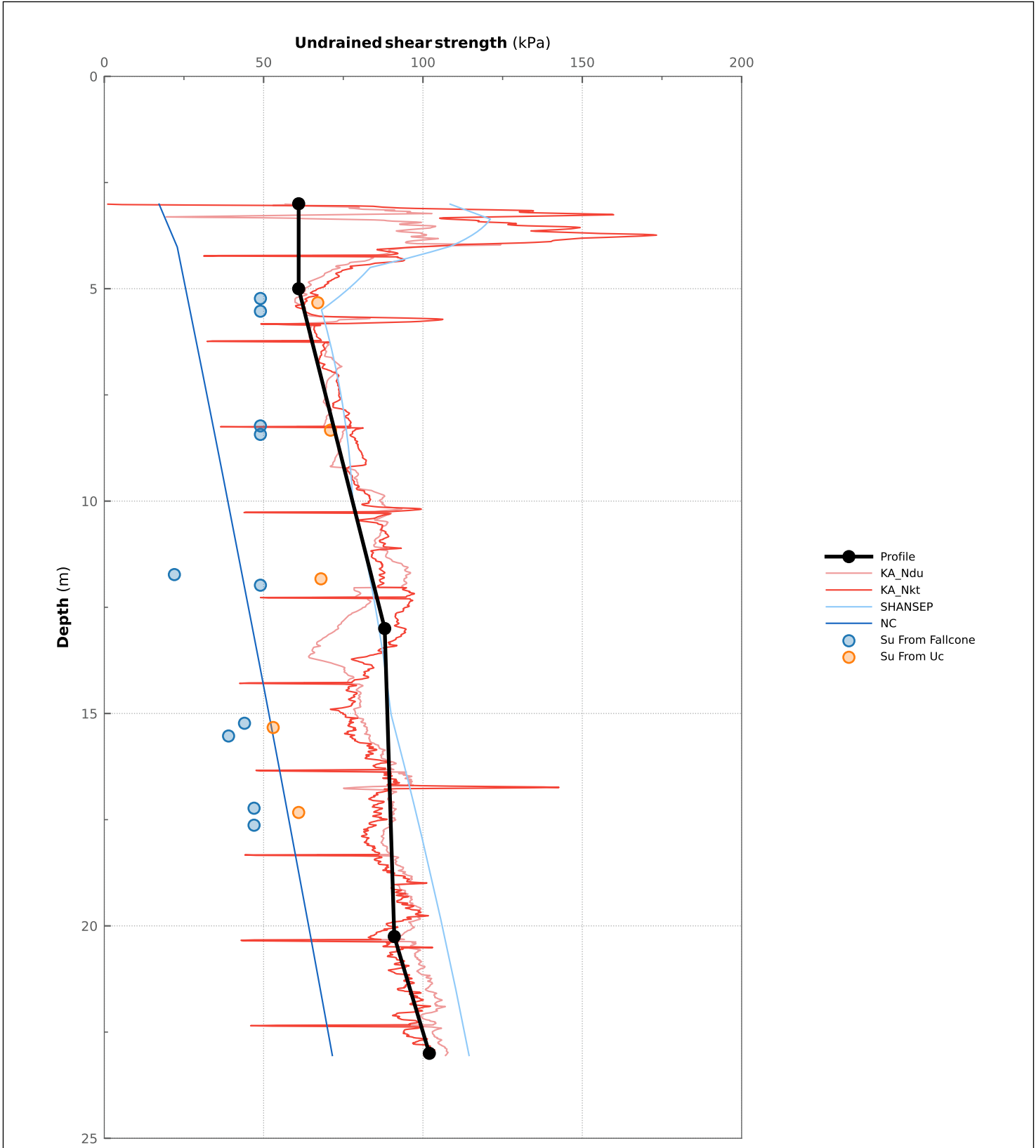
figurnummer:
B11

dato:
2024-02-08

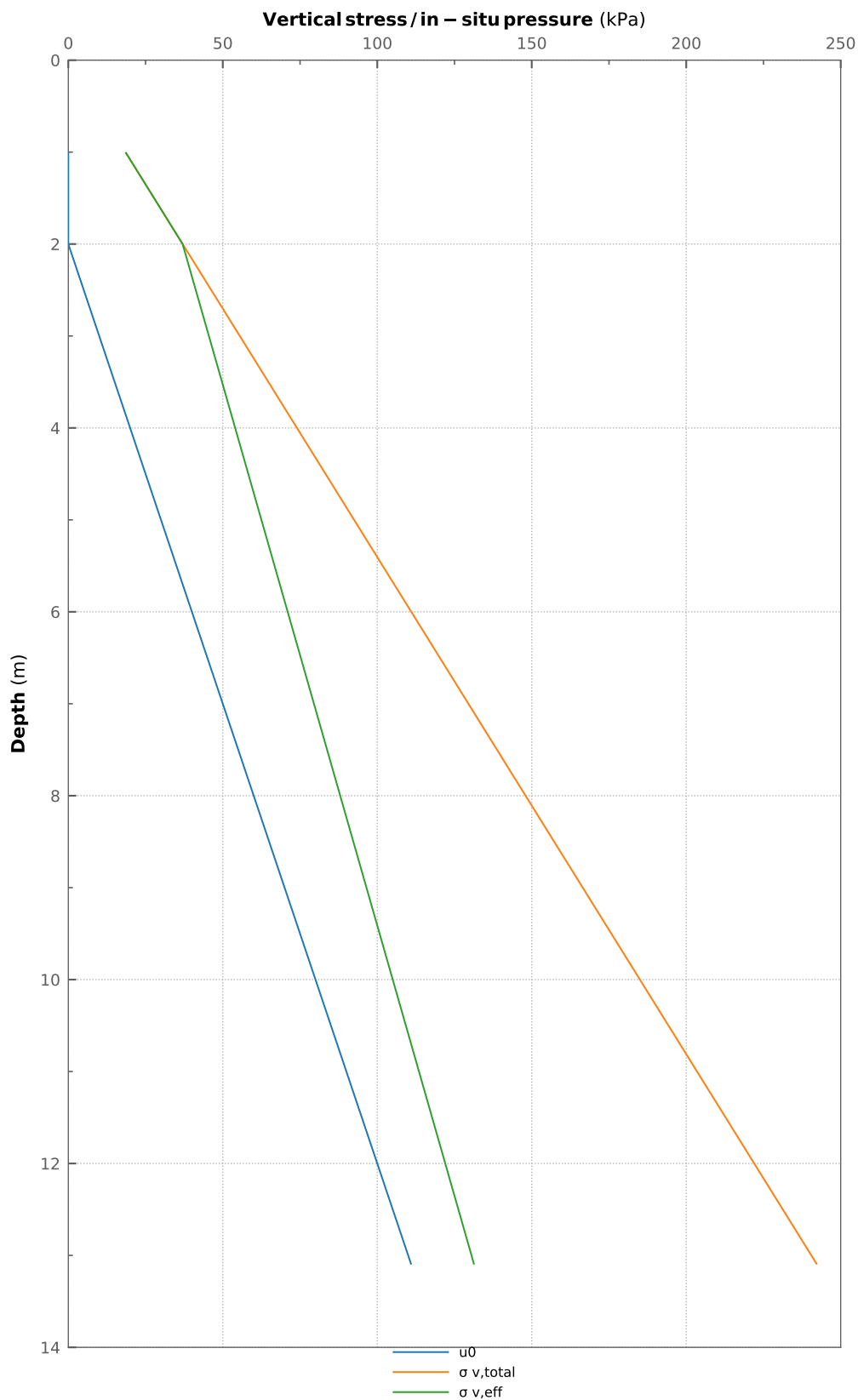
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-13		rapportnummer: 20230480-02-TN	
		figurnummer: B12	dato: 2024-02-08
		tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-14

rapportnummer:
20230480-02-TN

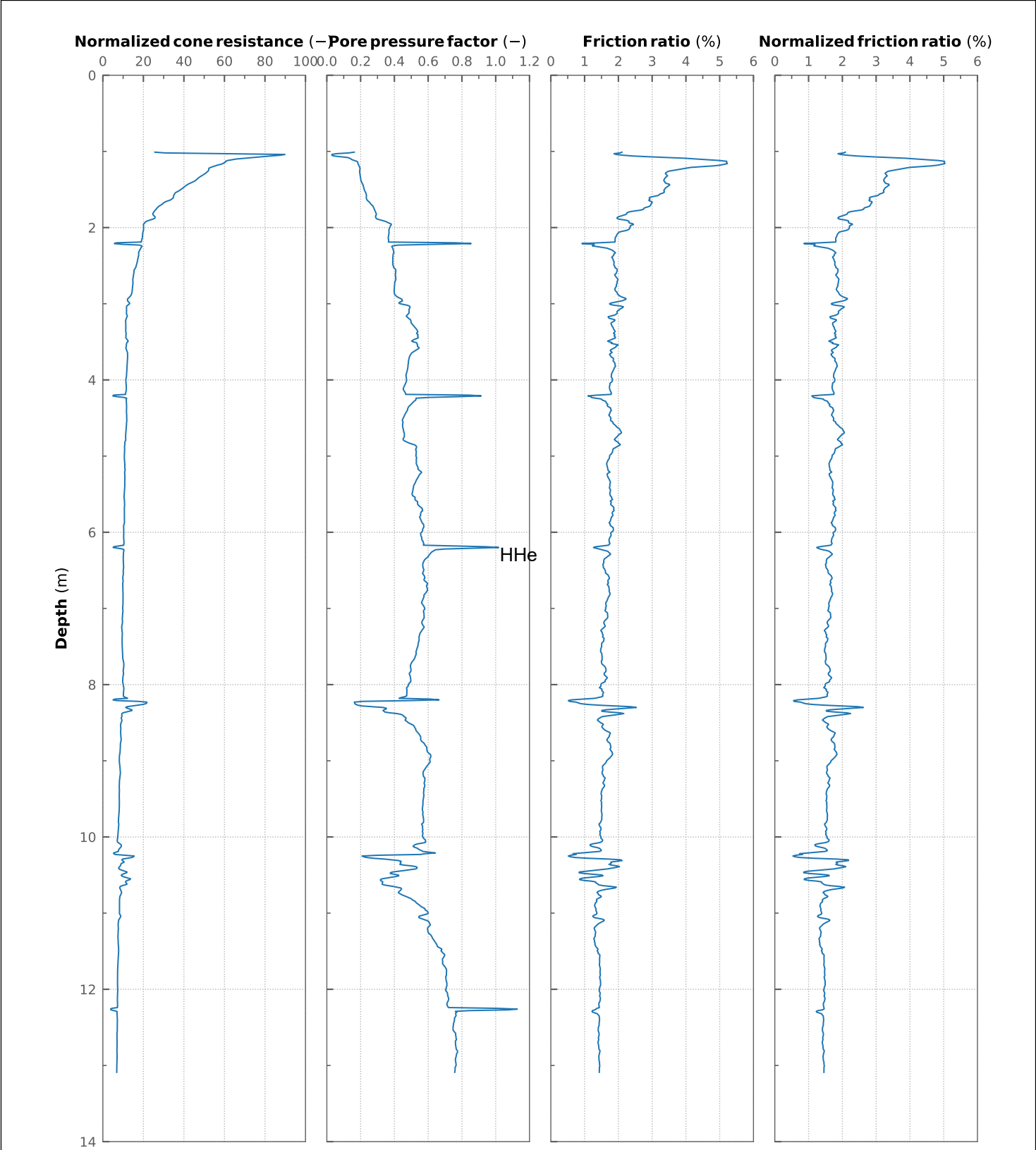
figurnummer:
B13

dato:
2024-02-08

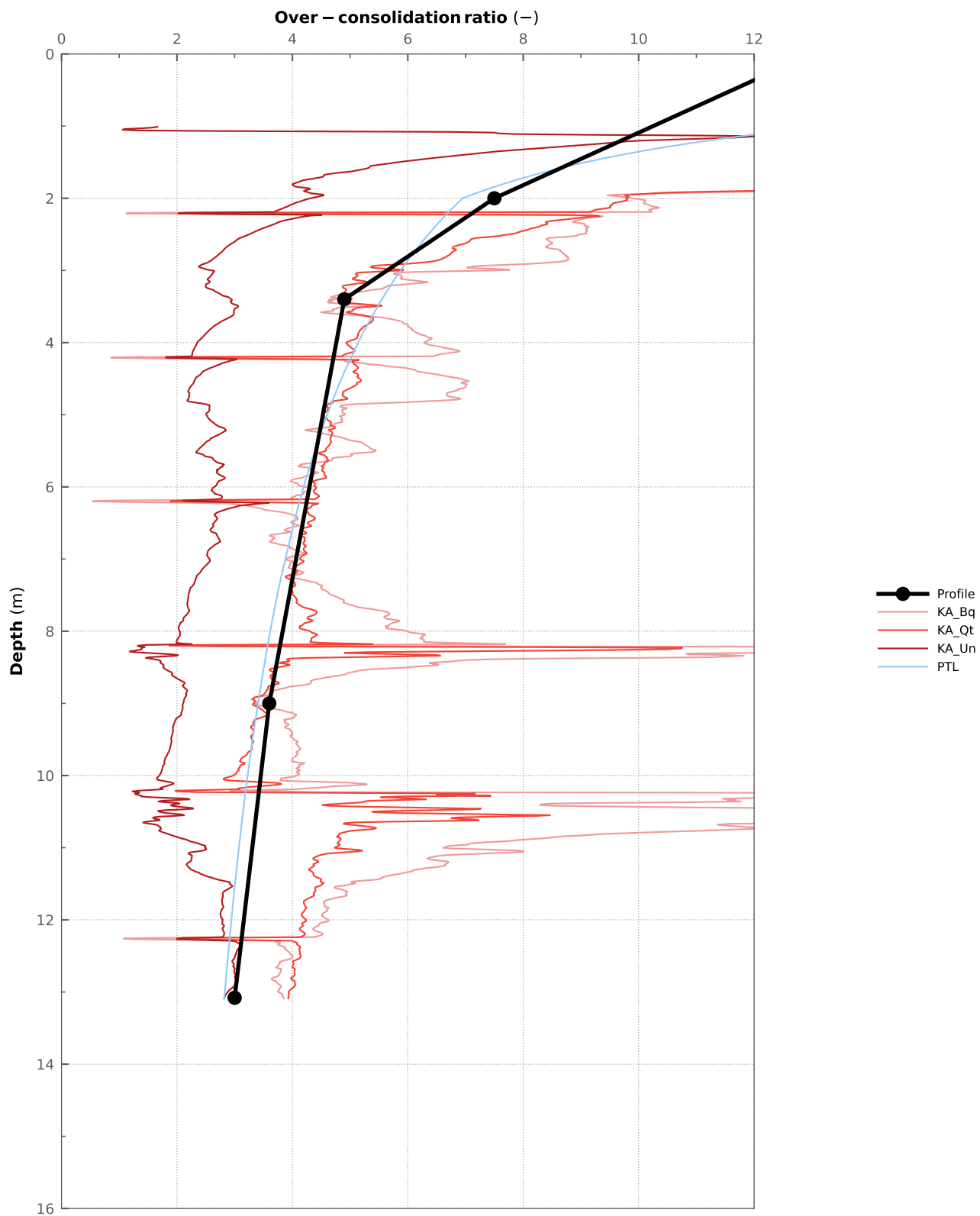
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-14	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B14	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG08-14

rapportnummer:
20230480-02-TN

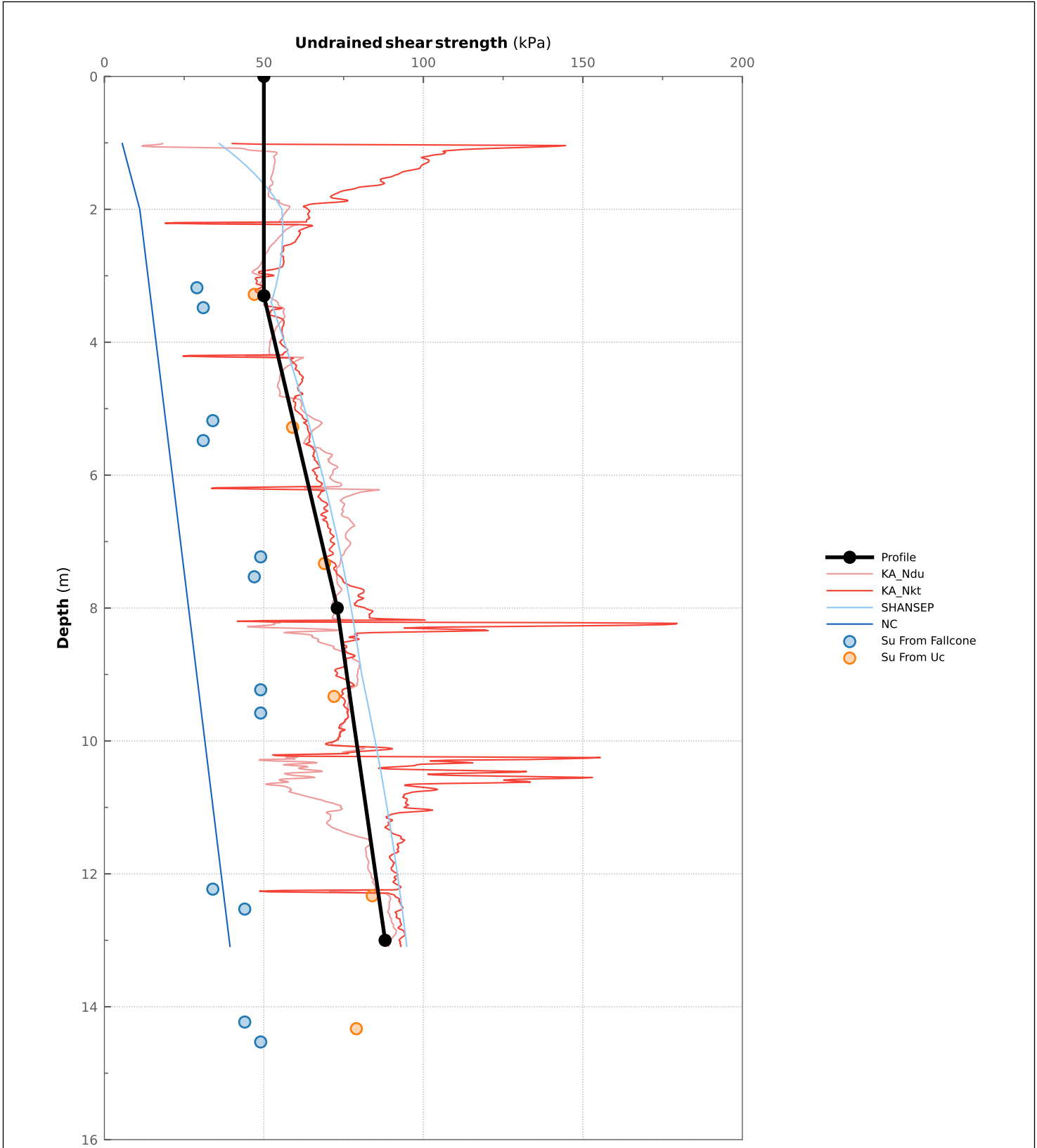
figurnummer:
B15

dato:
2024-02-08

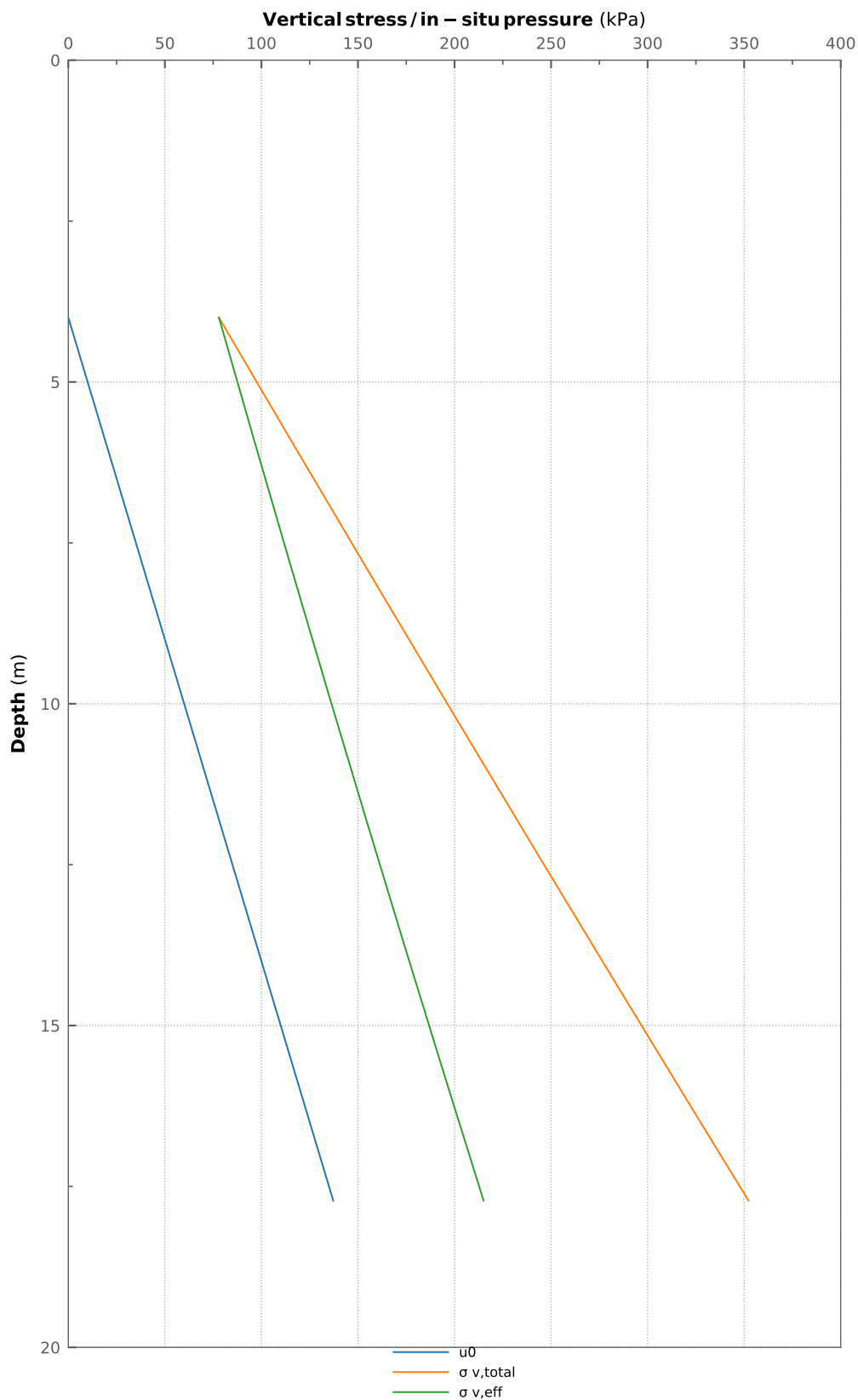
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG08-14		rapportnummer: 20230480-02-TN	
		figurnummer: B16	dato: 2024-02-08
		tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe
		NGI	



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG15-203

rapportnummer:
20230480-02-TN

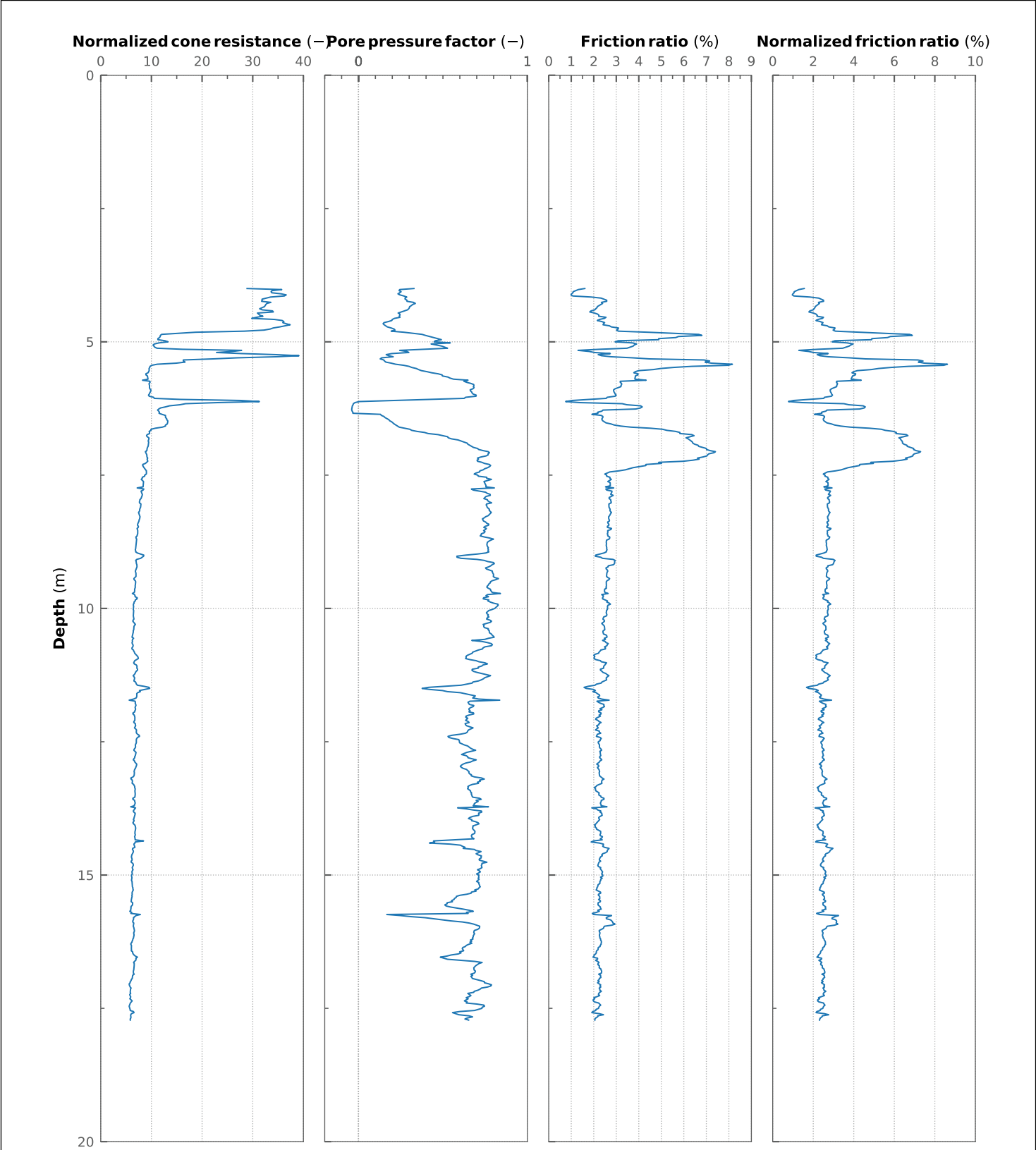
figurnummer:
B17

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

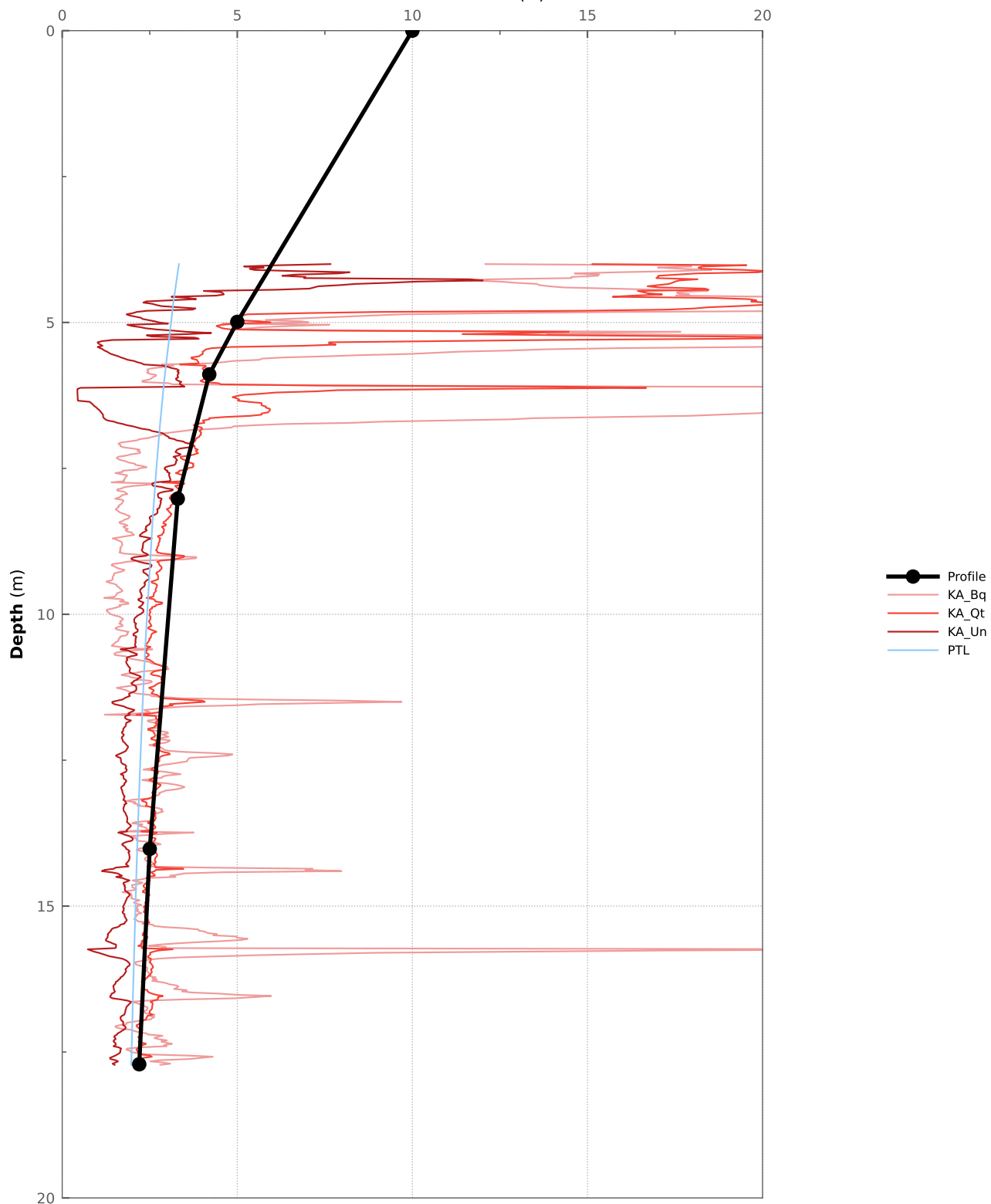
Godkjent av::
HHe





	20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG15-203		rapportnummer: 20230480-02-TN	
			figurnummer: B18	dato: 2024-02-08
			tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe

Over – consolidation ratio (–)



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG15-203

rapportnummer:
20230480-02-TN

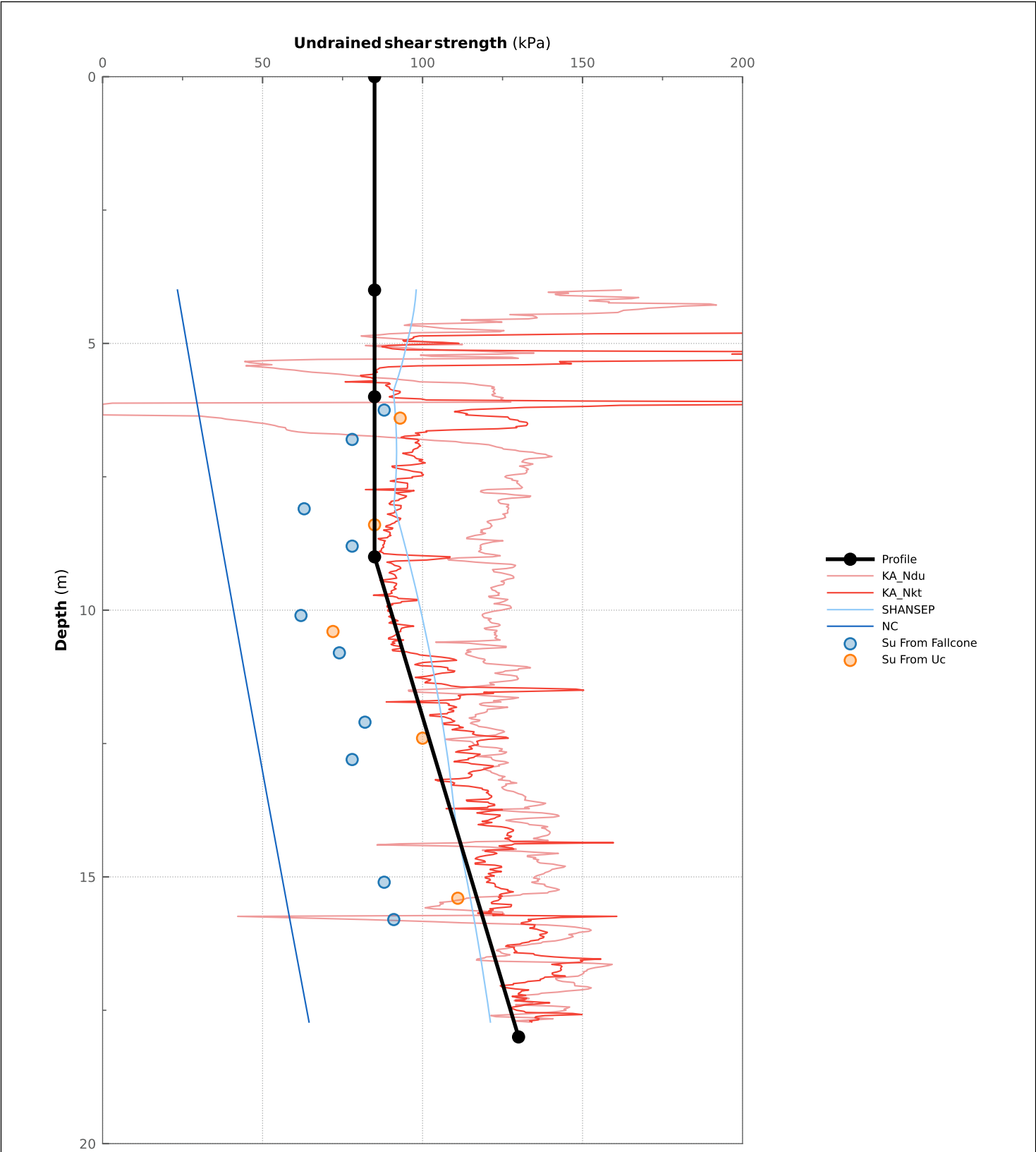
figurnummer:
B19

dato:
2024-02-08

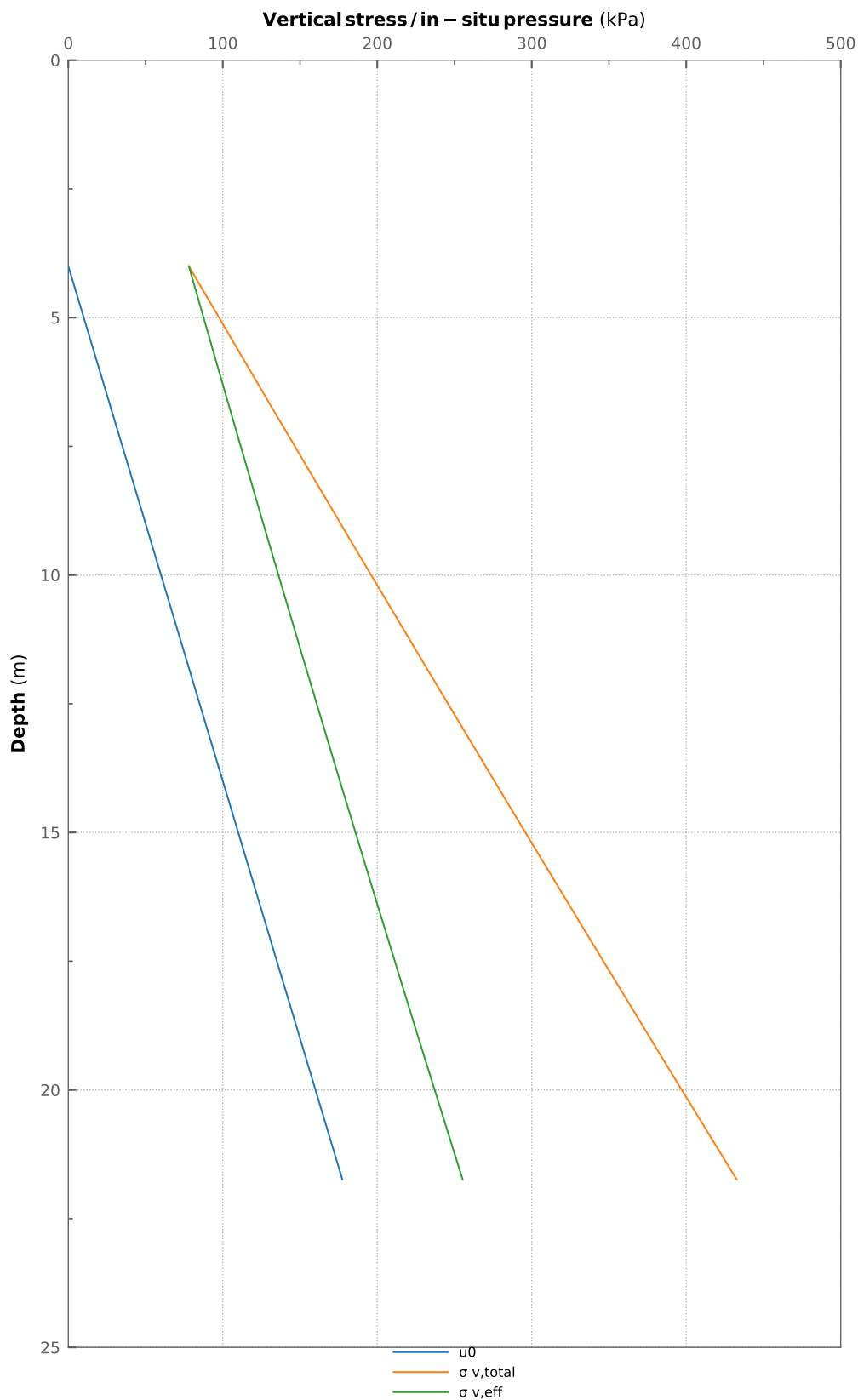
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG15-203	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B20	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG15-205

rapportnummer:
20230480-02-TN

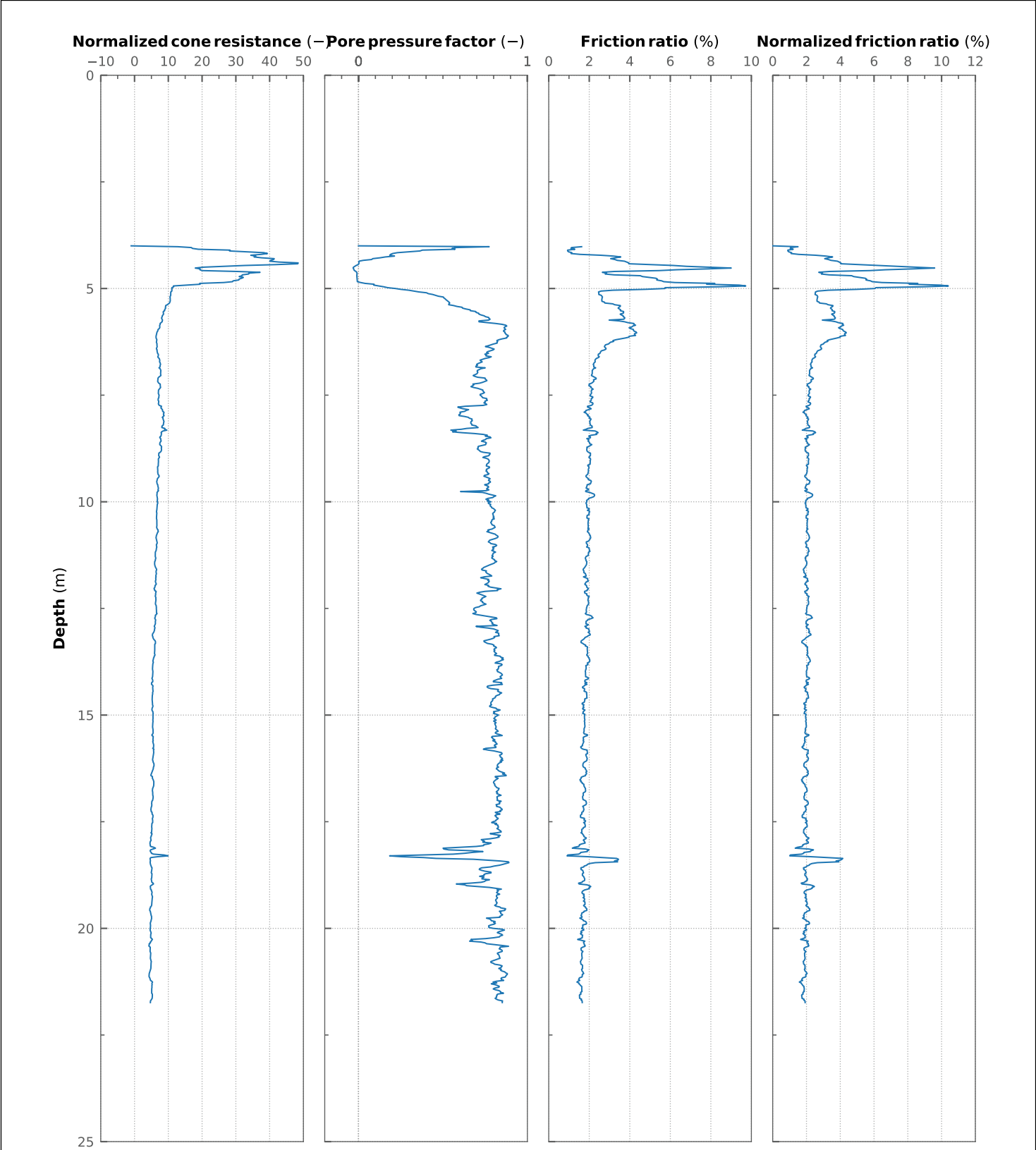
figurnummer:
B21

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

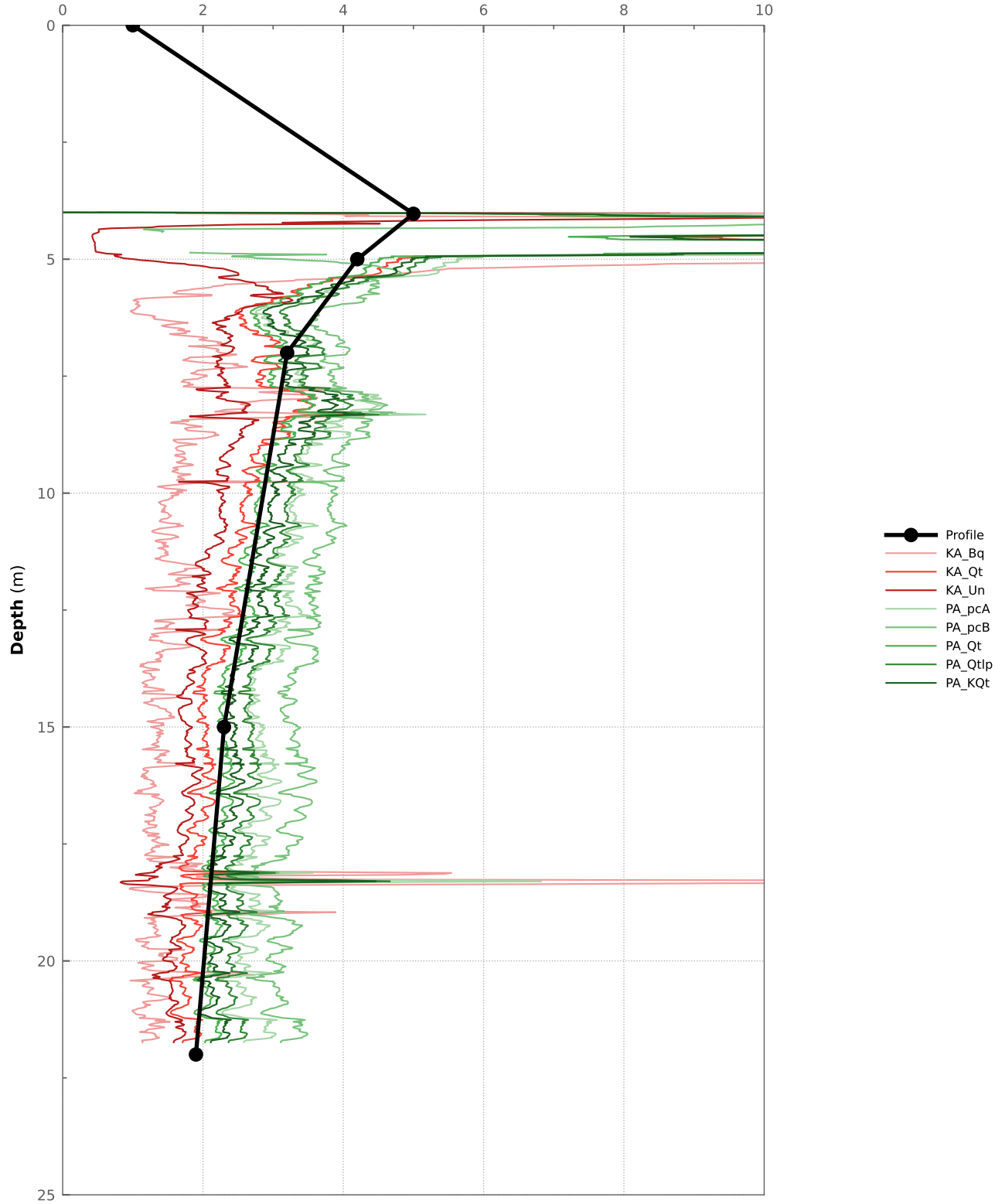
Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG15-205	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B22	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe

Over – consolidation ratio (-)



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | LG15-205

rapportnummer:
20230480-02-TN

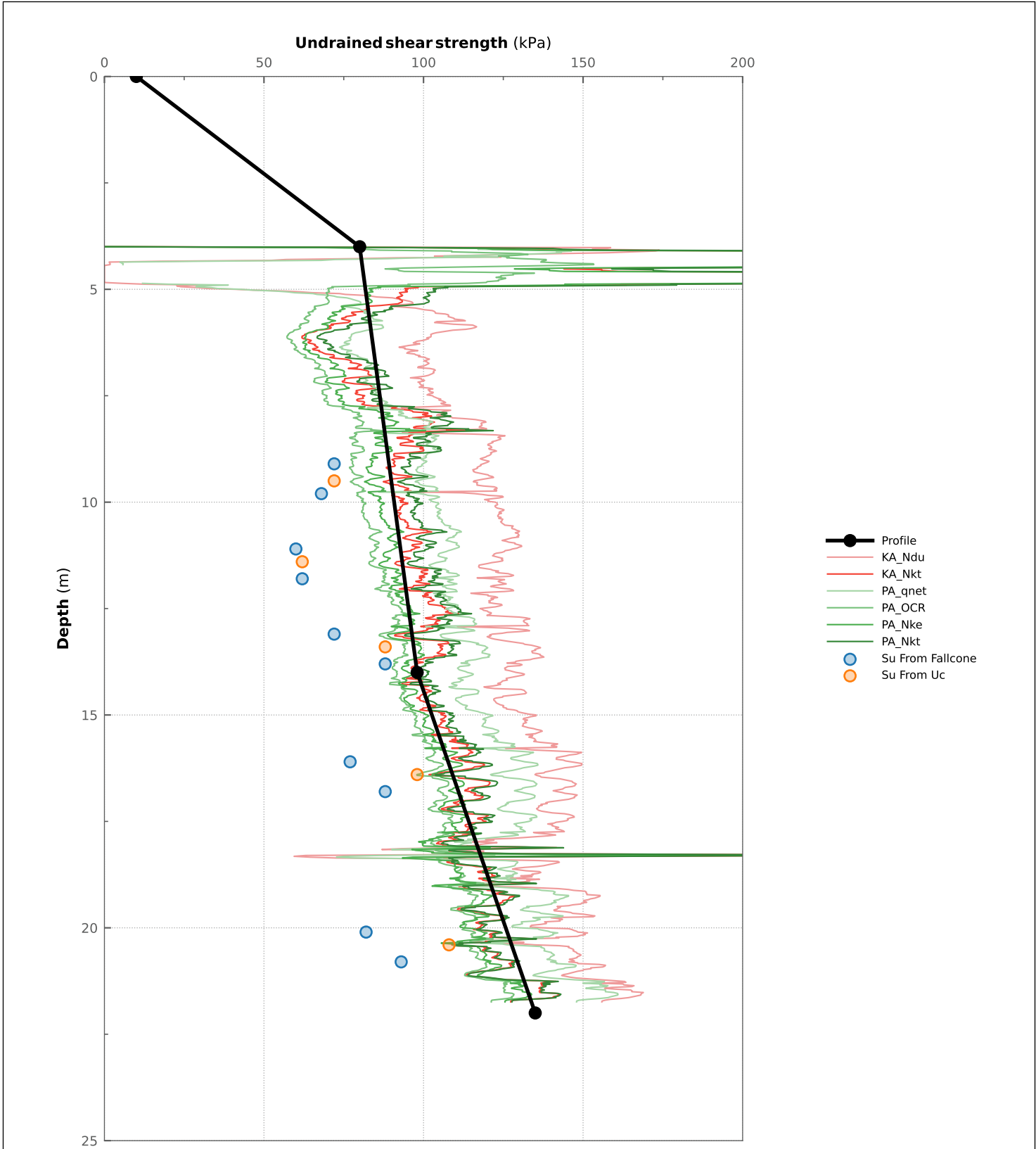
figurnummer:
B23

dato:
2024-02-08

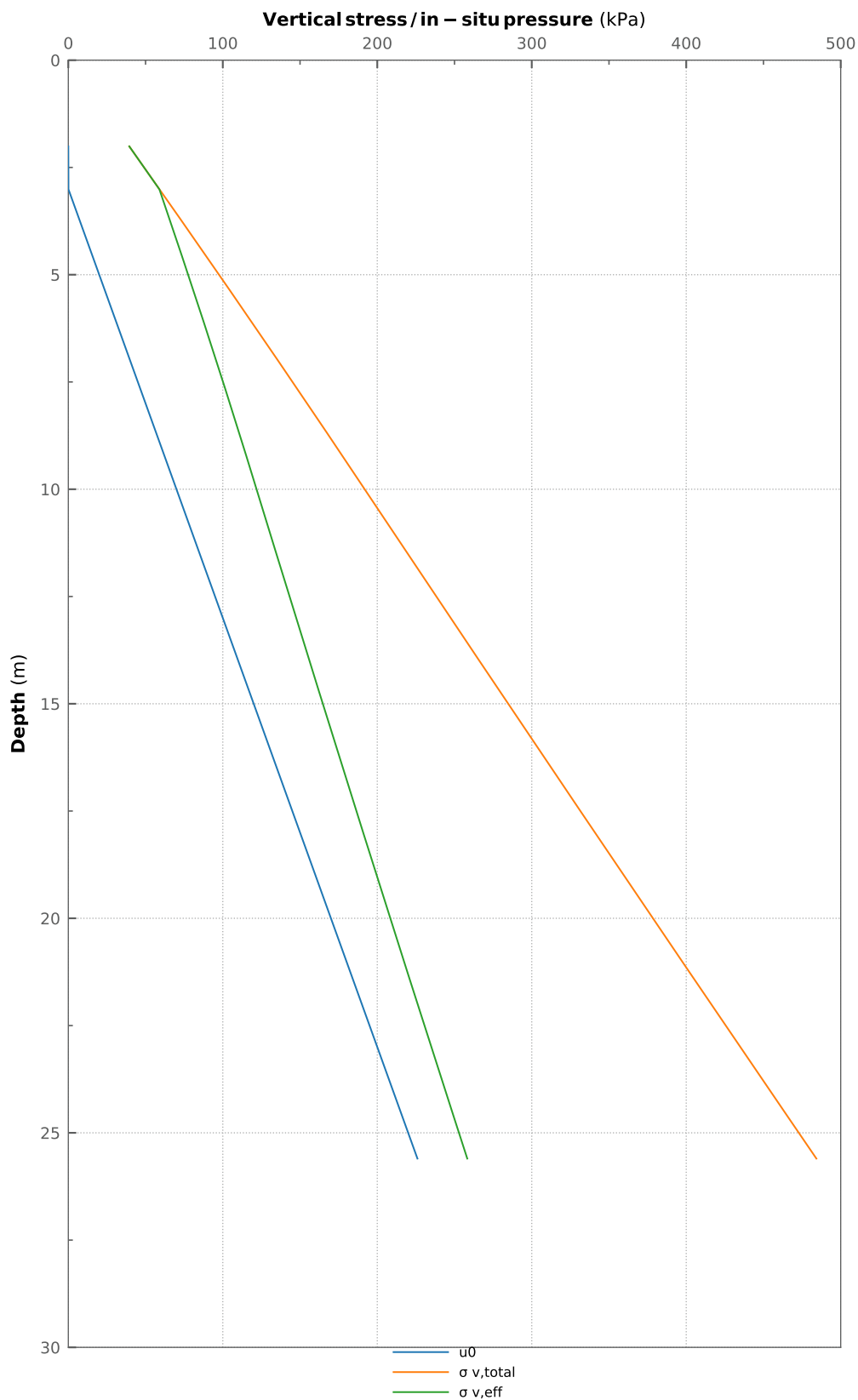
tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm LG15-205	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B24	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | NG23-7

rapportnummer:
20230480-02-TN

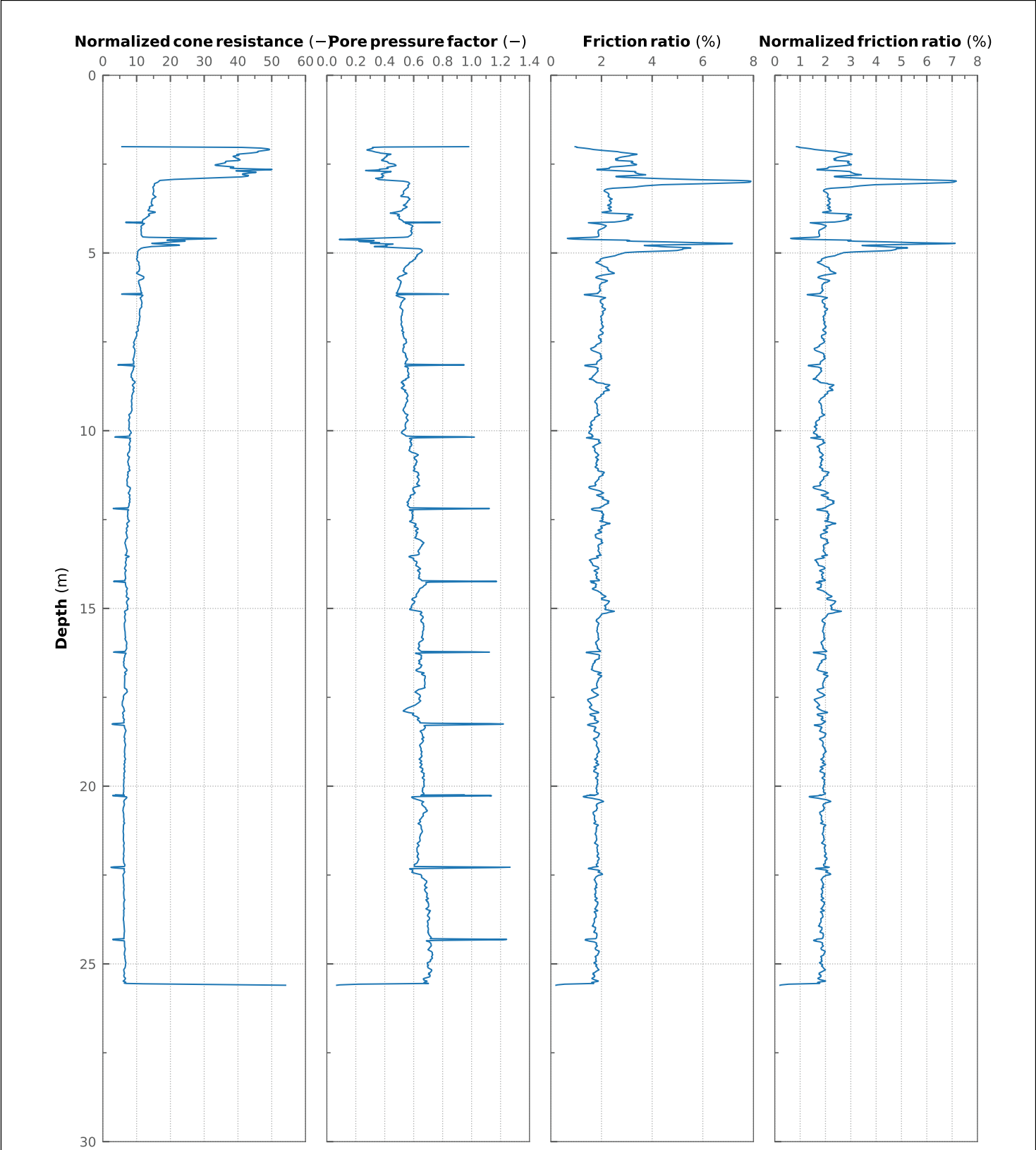
figurnummer:
B25

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

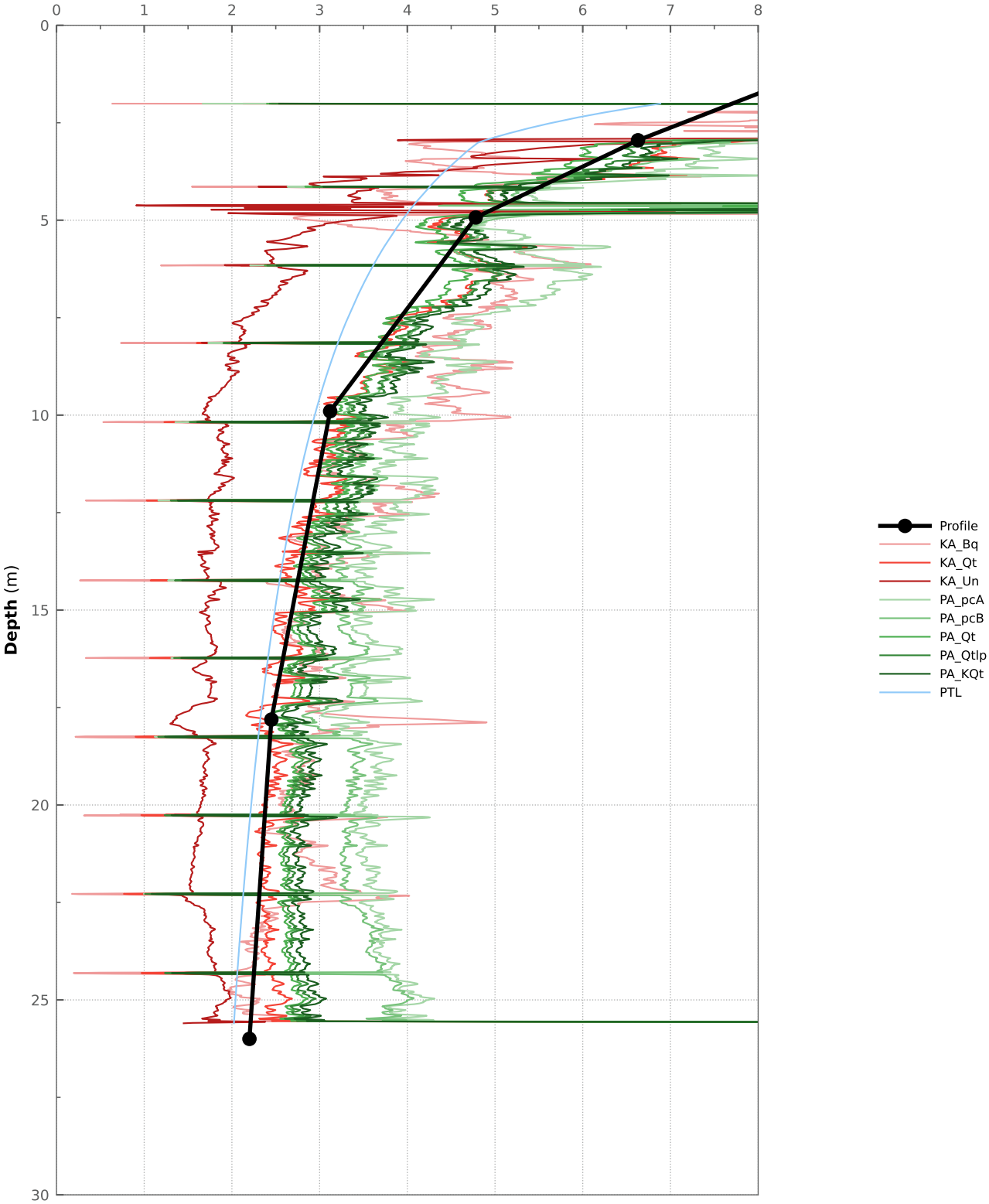
Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm NG23-7	rapportnummer: 20230480-02-TN	
	figurnummer: B26	dato: 2024-02-08
	tegnet av: LaH	Godkjent av:: HHe

Over – consolidation ratio (-)



20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | NG23-7

rapportnummer:
20230480-02-TN

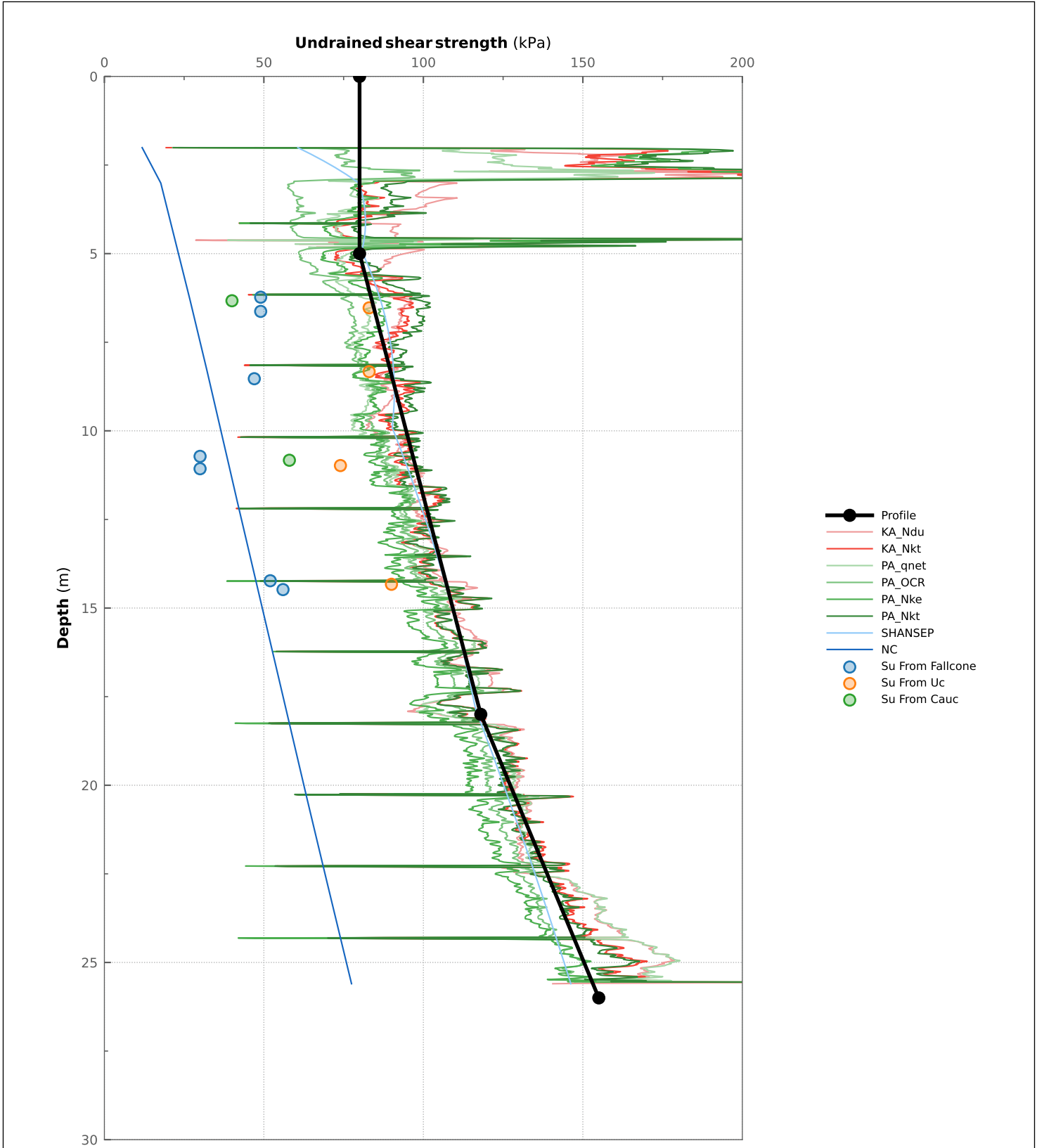
figurnummer:
B27

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe





20230480 - Skibakkveien og Tømmereggen, Lillestrøm | NG23-7

rapportnummer:
20230480-02-TN

figurnummer:
B28

dato:
2024-02-08

tegnet av:
LaH

Godkjent av::
HHe



Vedlegg C

STABILITETSBEREGNINGER

Innhold

- C1: Profil T1, dagens situasjon, udrenert tilstand
- C2: Profil T1, dagens situasjon, drenert tilstand
- C3: Profil T2, dagens situasjon, udrenert tilstand
- C4: Profil T2, dagens situasjon, drenert tilstand

-
- C5: Profil T1, avlaste platå 1 m, udrenert og drenert tilstand
 - C6: Profil T1, motfylling, udrenert og drenert tilstand
 - C7: Profil T1, senking grunnvannstand, udrenert tilstand
 - C8: Profil T1, senking grunnvannstand, drenert tilstand

Material	Un.Weigh	Sub.Weigh	FC	Ca	Ad	Ap
Tørreskorpe	19.00	9.00	32.0	0.0		
Leire	19.00	9.00	31.0	1.0		
Kvikkleire	18.50	8.50	31.0	1.0		

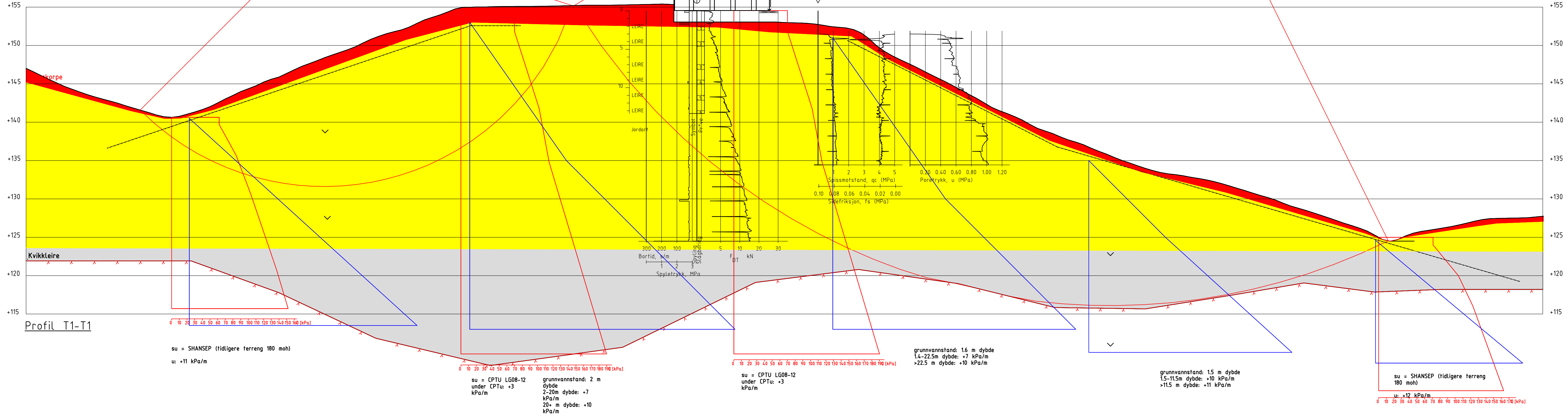
Fc=1.75

udrenert-kritisk
Result file : G:\geoarkiv\20230480\STABGRAF.RIT\PROFIL_T1_DAGENS-ETTER_ERT_R9

g:\geoarkiv\20230480\stabgraf.rit\profil_t1_dagens-etter_ert_dwg

Fc=1.22

udrenert-kritisk
Result file : G:\geoarkiv\20230480\STABGRAF.RIT\PROFIL_T1_DAGENS-ETTER_ERT_R8



FORKLARINGER:

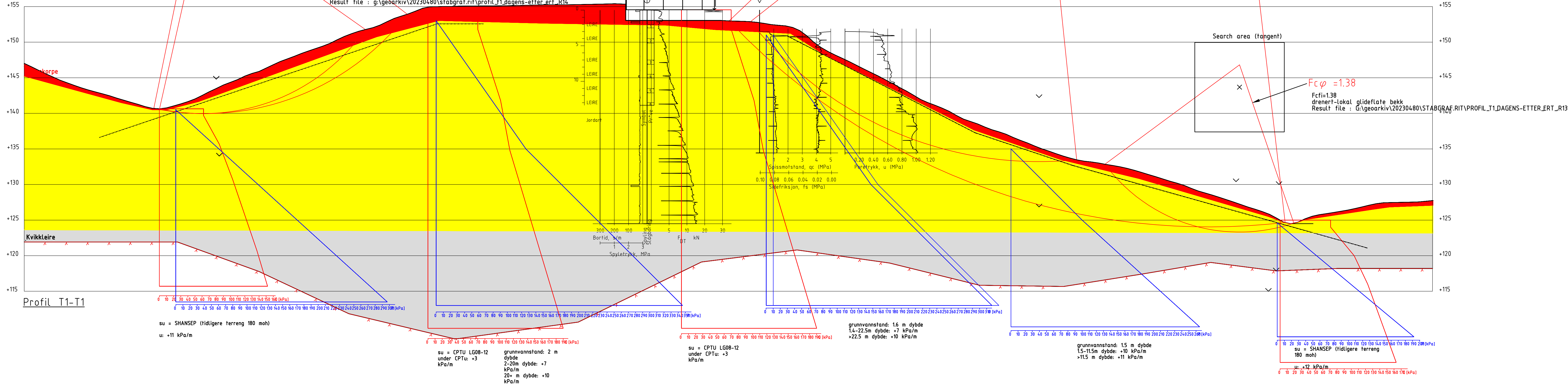
- Tørreskorpe
- Leire
- Kvikkleire

HENVISNINGER:

Tegning 020 - Plantegning, plasing profiler og borpunkt

01	Berg overflate basert på ERT målinger	29.05.2024	LaH	HHe	LaH
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Lillestrøm kommune		Original format A30		Tegningsnr. C1 PROFIL T1 DAGENS-UDRENERT-ETTER_ERT	
Utredning av skredfare for Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner)		1:250		NGI	
Stabilitetsberegninger Profil T1 Udrenert		Date 29.05.2024		Konstr./Tegnet LaH	
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Oppdragsnr. 20230480		Kontrollert HHe	
		Tegningsnr. Vedlegg C1		Rev. 01	

Material	Un.Weight	Sub.Weight	FC	CAa	Ad	Ap
Tørreskorpe	19.00	9.00	32.0	0.0		
Leire	19.00	9.00	31.0	1.0		
Kvikkleire	18.50	8.50	31.0	1.0		



FORKLARINGER:

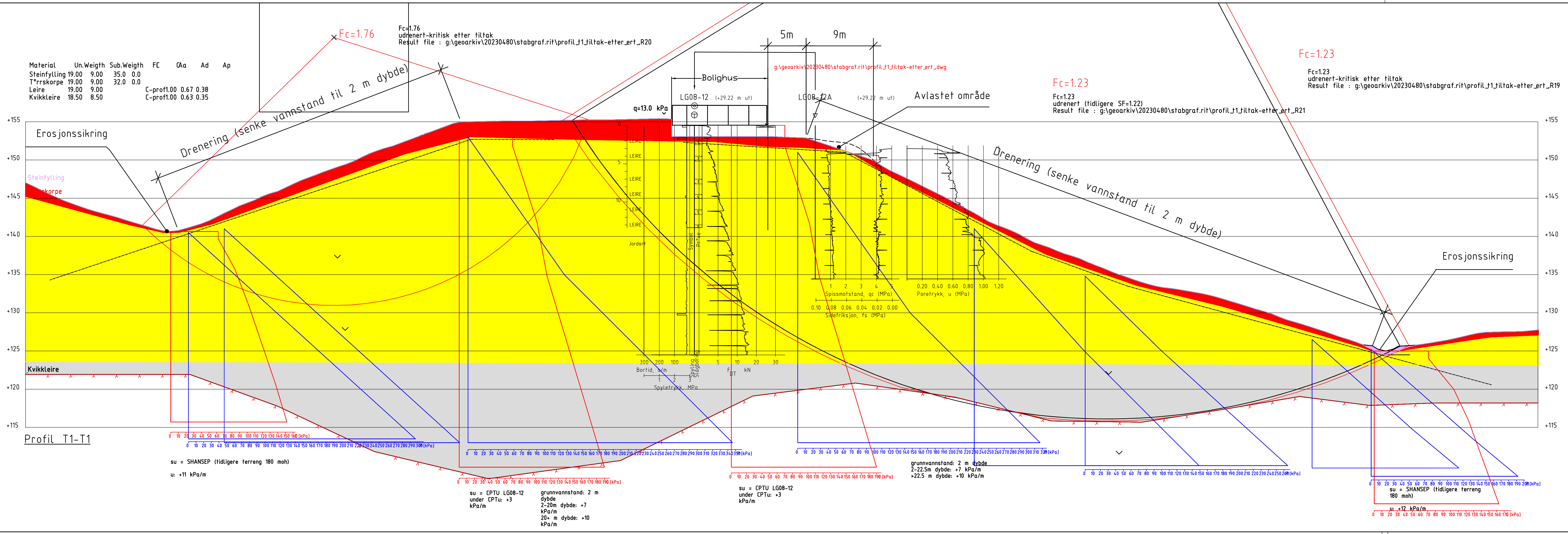
	Tørreskorpe
	Leire
	Kvikkleire

HENVISNINGER:

Tegning 020 - Plantegning, plasing profiler og borpunkt

01	Berg overflate basert på ERT målinger	29.05.2024	LaH	HHe	LaH
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
Lillestrøm kommune					
Utredning av skredfare for					
Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner)					
Stabilitetsberegninger Profil T1 Drenert					
NGI		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion		29.05.2024	LaH	HHe	LaH
NO-0806 Oslo, Norway		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48		20230480	Vedlegg C2		01
www.ngi.no					

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	FC	C _{aa}	Ad	Ap
Steinfylling	19.00	9.00	35.0	0.0		
Tørrskorpe	19.00	9.00	32.0	0.0		
Leire	19.00	9.00		C-profil.00	0.67	0.38
Kvikkleire	18.50	8.50		C-profil.00	0.63	0.35



FORKLARINGER:

- Tørrskorpe
- Leire
- Kvikkleire
- Erosjonssikring

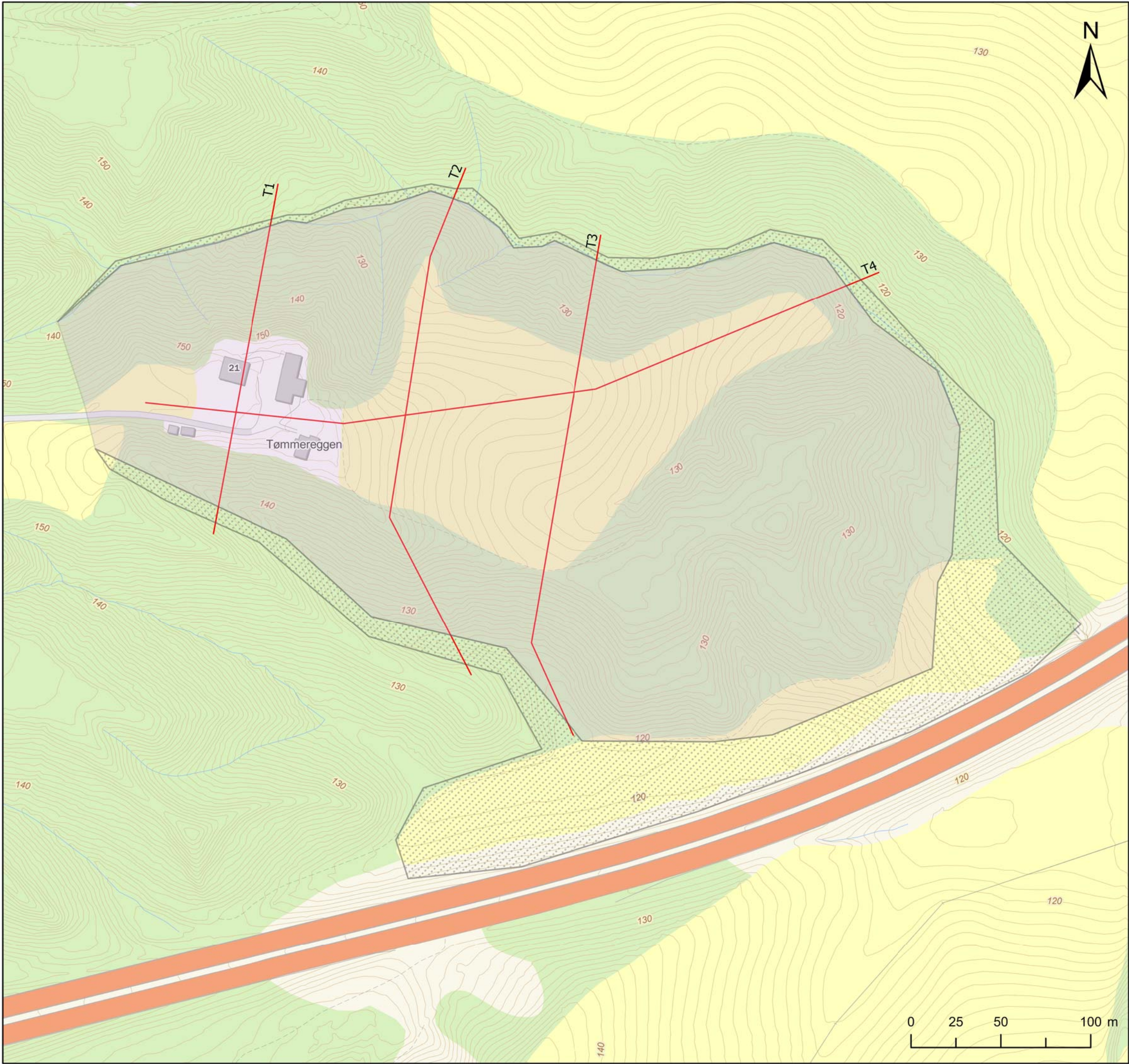
HENVISNINGER:

Tegning 020 - Plantegning, plasing profiler og borpunkt

Lillestrøm kommune		1:250		NGI	
Utredning av skredfare for Skibakkveien (Lørenfallet) og Tømmereggen (Frogner). Stabilitetsberegninger Profil T1 Udrenert. Senking grunnvannstand.		29.05.2024		20230480	
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Oppdragsnr.		Vedlegg C5	
Konstr./Tegnet		Kontrollert		Godkjent	
LaH		HHe		LaH	
Rev.		Rev.		00	

Vedlegg D

KART MED LØSNEOMRÅDET OG
UTLØPSOMRÅDET



Tegnforklaring

- Utløpsområde
- Løsneområde
- NGI profiler

Lillestrøm kommune

Utredning av skredfare for Skibakkveien og Tømmereggen

Kart med løsneområde og utløpsområde

Dato	2024-02-09	Utført	LaH	Kontrollert	HHe	Godkjent	LaH
Original format og målestokk	A3 1:2 075	Kartprojeksjon	ETRS 1989 UTM Zone 33N				
Prosjektnr.	20230480	Dokumentnr.	20230480-02-TN	Kartnr.	Vedlegg D	Rev.	00

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Tlf: 22 02 30 00
www.ngi.no

NGI

Vedlegg E

KLASSIFISERING AV FARESONE

Utrekning av skredfare for Skibakkveien og Tømmereggen
Dokumentnr. 20230480-02-TN
Vedlegg E

FAREGRAD (profil T1)

Faktorer	Vekttall	Faregrad, score	Vektet faregrad	Kommentarer
Tidligere skredaktivitet	1	2	2	Flere store, gamle skred kartlagt i NGU's løsmassekart
Skråningshøyde, meter	2	3	6	H>30m ved gårdstunet
OCR	2	1	2	Ca. 25m overlagring på platået. CPTu indikerer OCR<2 under 20m dybde
Poretrykk overtrykk	3	0	0	Ingen målinger på Tømmereggen.
Poretrykk undertrykk	-3	2	-6	Antatt undertrykk på platået.
Kvikkleiremektighet	2	0	0	Kvikkleire ligger ca. på nivå med bekken (ravine nord for Tømmereggen)
Sensitivitet	1	3	3	St>100 ved borhull LG08-13
Erosjon	3	2	6	Noe erosjon langs hele bekken
Terrenginngrep: Forverring	3	1	3	Fylt ut noe ved skråningskanten. Mer overflatevann i bekken etter bygging av boligfelt nordvest for Tømmereggen (iht. grunneierne).
Terrenginngrep: Forbedring	-3	0	0	Ingen
Sum poeng			16	
% av maksimal poengverdi			31	

Faregradklasse: LAV

SKADEKONSEKVENNS

Faktorer	Vekttall	Konsekvens, score	Vektet konsekvens	Kommentarer
Boligheter	4	1	4	To bolighus
Næringsbygg	3	1	3	Driftsbygninger
Annen bebyggelse, verdi	1	0	0	Ingen
Veier	2	0	0	Antar at kvikkleira demmes opp mot veifylling.
Toglinje	2	0	0	Ingen
Kraftnett	1	0	0	Lokal
Oppdemning	2	1	2	Skredmasser kan fylle opp ravinen og kan blokkere kulverten under E6. Kan bli noe oppdemning.
Sum			9	
% av maksimal poengverdi			20	

Konsekvensklasse: ALVORLIG

RISIKO

	Score	Risikoklasse
skadekonsekvens x faregrad =	627	2

Dokumentinformasjon/ <i>Document information</i>		
Dokumenttittel/<i>Document title</i> Utredning av skredfare for Tømmereggen (Frogner)		Dokumentnr./<i>Document no.</i> 20230480-02-TN
Dokumenttype/<i>Type of document</i> Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/<i>Client</i> Lillestrøm Kommune	Dato/<i>Date</i> 2024-02-15
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/<i>Proprietary rights to the document according to contract</i> NGI		Rev.nr. & dato/<i>Rev.no. & date</i> 2 / 2024-11-15
Distribusjon/<i>Distribution</i> BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/<i>Keywords</i> skråningsstabilitet, utglidninger		

Stedfesting/ <i>Geographical information</i>	
Land, fylke/<i>Country</i> Norge, Viken	Havområde/<i>Offshore area</i>
Kommune/<i>Municipality</i> Lillestrøm	Feltnavn/<i>Field name</i>
Sted/<i>Location</i> Tømmereggen, Frogner	Sted/<i>Location</i>
Kartblad/<i>Map</i>	Felt, blokknr./<i>Field, Block No.</i>
UTM-koordinater/<i>UTM-coordinates</i> Sone: Øst: Nord:	Koordinater/<i>Coordinates</i> Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/ <i>Document control</i> Kvalitetssikring i henhold til/ <i>Quality assurance according to NS-EN ISO9001</i>					
<i>Rev/</i> Rev.	<i>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</i>	<i>Egenkontroll av/ Self review by:</i>	<i>Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by:</i>	<i>Uavhengig kontroll av/ Independent review by:</i>	<i>Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by:</i>
0	Originaldokument	2024-02-14 Laura Rødvand	2024-02-14 Håkon Heyerdahl		
1	Stabilitetsberegninger: stabiliserende tiltak	2024-06-03 Laura Rødvand	2024-06-06 Håkon Heyerdahl		
2	Små endringer som følge av kommentarer fra uavhengig kvalitetssikring.	2024-11-08 Laura Rødvand	2024-11-13 Håkon Heyerdahl		

Dokument godkjent for utsendelse/ <i>Document approved for release</i>	Dato/<i>Date</i> 15. november 2024	Prosjektleder/<i>Project Manager</i> Laura Rødvand
---	--	--

NGI – Norges Geotekniske Institutt - er et uavhengig forskningsinstitutt innen geoteknikk og andre ingeniørrettede geofag.

Vi kombinerer geokunnskap og teknologi for å utvikle smarte og bærekraftige løsninger innen infrastruktur på land og til havs, innen miljøteknologi, forurensset grunn og naturfarer som jord- og snøskred. Forskningen vår leverer kunnskap som bidrar til å løse noen av de viktigste utfordringene verden står overfor innenfor klima, miljø, energi og samfunnssikkerhet.

Samfunnsoppgaven vår er å utvikle geofagene og fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for å bygge, bo og ferdes på sikker grunn. Dette løser vi ved å la forskning og rådgivning gå "hånd i hånd" og være brobygger mellom akademia, næringsliv og det offentlige.

Vi har kontorer i Norge, USA og Australia og vi har internasjonalt anerkjente laboratorier.

www.ngi.no

NGI – The Norwegian Geotechnical Institute – is an independent research centre in the field of geotechnical engineering and the engineering geosciences.

We combine geotechnical knowledge and technology to develop smart and sustainable solutions in infrastructure on land and at sea, in environmental technology, contaminated soil and natural hazards such as landslides and avalanches. Our research provides knowledge that contributes to solve some of the most important challenges the world faces with regards to climate, the environment, energy and societal security.

Our societal mission is to develop the geosciences and produce the knowledge basis to build, live and travel on safe ground. We solve this by combining research and consulting hand-in-hand and being a bridge-builder between academia, industry and the public sector.

We have offices in Norway, the US and Australia, including internationally recognised laboratories.

www.ngi.no

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 NGI.

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 NGI.

