

NOTAT

Oppdrag	Songdalsvegen 261 Kristiansand	Dokumentkode	10243837-RIG-NOT-001
Emne	Kvikkleire faresonekartlegging, stabilitetsberegninger og -vurderinger	Tilgjengelighet	Åpen
Oppdragsgiver	Kristiansand kommune	Oppdragsleder	Tracey Raen
Kontaktperson	Ingvald Grønningsæter	Utarbeidet av	Tracey Raen
Kopi		Ansvarlig enhet	10232011 Geoteknikk Sør

SAMMENDRAG

I forbindelse med planlagt boligprosjekt på Songdalsvegen 261 i Kristiansand kommune, er Multiconsult engasjert av Kristiansand kommune til å foreta en faresonekartlegging av området mht. områdestabiliteten, jfr. retningslinjer utarbeidet av NVE. Dette innebærer en vurdering av utstrekningen av faresonen med masser bestående av kvikkleire/sprøbruddmateriale, samt kartlegging av denne mht. skadekonsekvens, faregrad og tilhørende risiko. Denne faresonen består av to områder, hhv. «løsneområde» (dvs. området som glir ut når et skred inntreffer) og «utløpsområde» (dvs. området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa). Det er i tillegg utført stabilitetsberegninger for å vurdere både område- og lokale stabilitet i utbyggingsområdet.

Den planlagte utbyggingen vurderes for å være gjennomførbar iht. gjeldende regler og forskrifter hva angår sikkerhet mht. skred i kvikkleiremasser/masser med sprøbruddsegenskaper såfremt det iverksettes stabiliserende tiltak.

Følgende stabiliserende tiltak kan vurderes:

- masseutskifting med lette masser i toppen av skråningen (kompensert fundamentering).
- motfylling i bunnen av skråningen.

Det påpekes imidlertid at planlegging og gjennomføring av ny bebyggelse innenfor faresonen må utføres i nært samråd med geoteknisk sakkyndig i forbindelse med detaljprosjekteringen for å sikre at stabiliteten også er tilfredsstillende i bygge- og permanentfasen.

Foreliggende notatet er utarbeidet i samsvar med ny veileder fra NVE, veileder nr. 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» og ekstern rapport nr. 9/2020 «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred».

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
00	03.02.2023	Revidert etter uavhengig kvalitetssikring	TDR	JAA	TDR
Utkast	07.12.2022	Til uavhengig KS	TDR	JAA	TDR

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Prosjektet.....	3
3	Situasjonsbeskrivelse, topografi og grunnforhold.....	4
4	Faresonekartlegging og områdestabilitet.....	5
4.1	Geotekniske vurderinger	6
4.2	Utredning av områdeskredfare Del 1: Aktsomhetsområder	6
4.2.1	Prosedyre Del 1.1.....	6
4.2.2	Prosedyre Del 1.2 og Del 1.3.....	6
4.3	Utredning av områdeskredfare Del 2: Utredning av faresoner.....	8
4.3.1	Tiltakskategori (Del 2.4).....	8
4.3.2	Identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løsneområde (Del 2.5)	9
4.3.3	Befaring (Del 2.6)	9
4.3.4	Gjennomføring av grunnundersøkelser (Del 2.7)	9
4.3.5	Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av løsne- og utløpsområder (Del 2.8)....	10
4.3.6	Klassifisering av faresoner (Del 2.9).....	13
4.4	Stabilitetsberegninger og -vurderinger (Del 2.10).....	17
4.4.1	Tiltakskategori og sikkerhetsfaktor.....	17
4.4.2	Kritisk snitt	18
4.4.3	Laster	18
4.4.4	Jordparametere	18
4.4.5	Beregningsresultater og -konklusjoner	21
4.4.6	Stabiliserende tiltak	22
5	Setninger.....	22
6	Konklusjon	22
	Referanser	

VEDLEGG

A	Resultat av stabilitetsberegninger (med trafikklast)
	Dagens situasjon - global glideflate
	Fremtidig situasjon - global glideflate
	Dagens situasjon - lokal glideflate
	Fremtidig situasjon - lokal glideflate
	Dagens situasjon - global glideflate - aphi
	Fremtidig situasjon - global glideflate - aphi
	Dagens situasjon - lokal glideflate - aphi
	Fremtidig situasjon - lokal glideflate - aphi

1 Innledning

Kristiansand kommune planlegger etablering av 2 nye eneboliger på Songdalsvegen 261 i Kristiansand kommune. Multiconsult Norge AS har tidligere i år utført geotekniske grunnundersøkelser og presentert resultatene av disse i rapport nr. 10243837-RIG-RAP-001_rev00 (/1/).

Det er registrert kvikkleire i forbindelse med de utførte undersøkelsene, og Multiconsult ble derfor engasjert til å foreta en vurdering av området mht. områdestabiliteten iht. NVE retningslinjer 1/2019 (/2/). Resultatene fra våre innledende vurderinger, kvikkleire faresone utredningen, ble over sendt på e-post til kommunen den 30.06.2022. Resultatene er presentert i foreliggende notat sammen med utførte stabilitetsberegninger og endelig vurderinger.

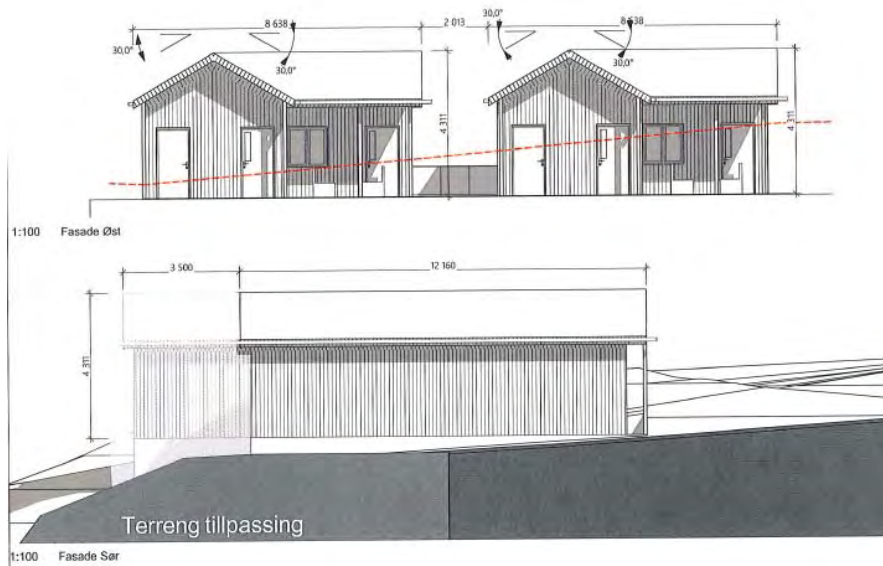
2 Prosjektet

Utsnitt av planskisse for området tatt fra rammesøknad datert 24.09.21 er vist i Figur 2-1, mens snitt tegning av Fasade Øst og Sør utarbeide av Svensson Arkitekter AS er vist i Figur 2-2.

Den planlagte bebyggelsen vil som nevnt bestå av 2 frittliggende eneboliger som begge vil bli oppført i én etasje og med gulv på grunn. Fra mottatte arkitekttegninger kan det se ut til at gulvet planlegges anlagt med nivå på ca. kote +20,5.



Figur 2-1: Utsnitt av planskisse for området tatt fra søknad 24.09.21



Figur 2-2: Snitt tegning av Fasade Øst og Sør utarbeide av Svensson Arkitekter AS 10.06.21

3 Situasjonsbeskrivelse, topografi og grunnforhold

Songdalsvegen 261 ligger ca. 1,5 km nord for Hortemo i Kristiansand kommune. Tomta ligger på toppen av en ca. 5 m høy skråning ned til en bekk i vest. Avstand fra bekken til toppen av skråningen er ca. 15 - 20 m målt fra kart, hvilket tilsier en gjennomsnittlig skråningshelning lik inntil ca. 1:3. Lengre mot vest, i en avstand av ca. 60 m fra tomta, ligger Songdalselva. Øst for tomta stiger terrenget opp til et flatere bebyggt platå på ca. kote +28, deretter stiger det videre mot skogsterreng/bergskrent.

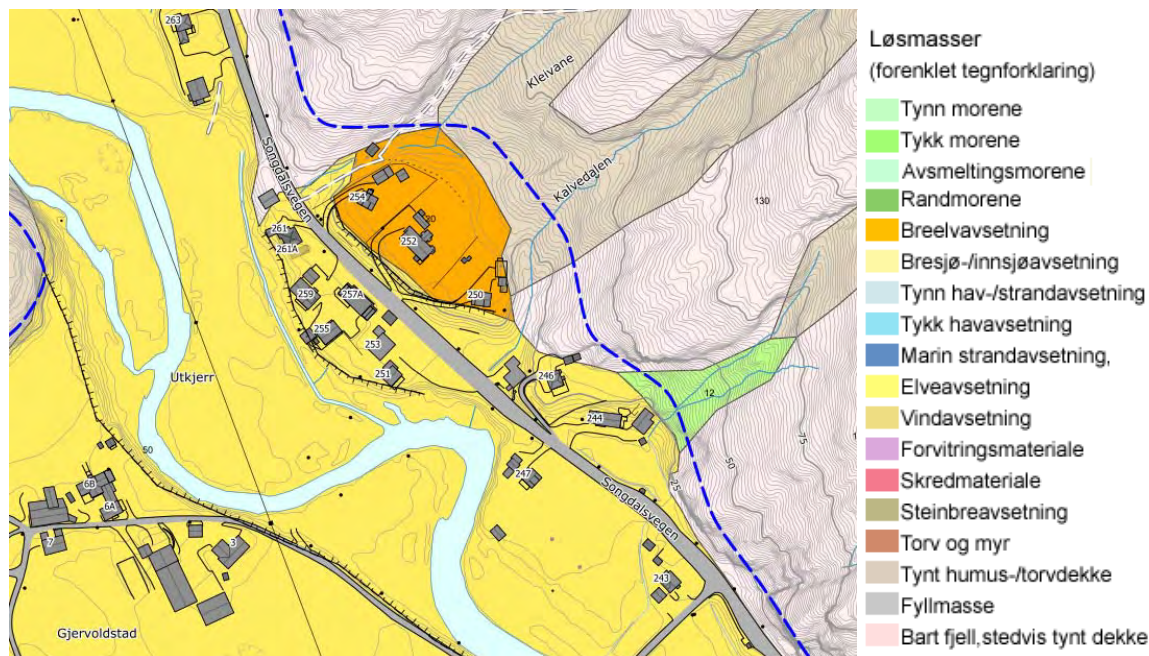
På tomta i dag er det en eksisterende enebolig med kjeller som er planlagt revet i forbindelse med det planlagte boligprosjektet.

Det er registrert berg i dagen helt i den nordre enden av tomta, samt både øst og sydøst for planområdet jfr. utsnitt av kartgrunnlaget i Figur 3-1.



Figur 3-1. Kartgrunnlag påført observasjoner av berg i dagen.

Ifølge løsmassekart utarbeidet av NGU domineres prosjektområdet av elve- og bekkeavsetninger (fluvial avsetning). På den høyere platå mot øst er det breelavsetninger (glasifluvial avsetning) og bart berg i nord og videre mot øst, ellers dels humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn, jfr. Figur 3-2.



Figur 3-2: NGU; Løsmassekart

I følge kartgrunnlaget fra NGU ligger marine grense i område på mellom ca. kote +28 og +42 som er høyere enn terrengnivået i området som ligger på inntil ca. kote +21. Dette medfører at sannsynligheten for kvikkleire/ sprøbruddmateriale i større deler av området er til stede.

4 Faresonekartlegging og områdestabilitet

Undersøkelsene som nylig er utført har påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale på tomte, og dette medfører at det må foretas en vurdering av området iht. retningslinjer 1/2019 utarbeidet av NVE (/2/). Hensikten er å sikre at de globale og lokale stabilitetsforholdene ivaretas i forbindelse med planleggingen av prosjektet. Dette vil kunne kreve en kartlegging av potensielt skredfarlige kvikkleireområder og med dette identifisere evt. områder der kreves geotekniske beregninger/vurderinger og evt. stabiliserende tiltak.

Prosedyre for utredning av områdeskredfaren er iht. NVE retningslinjer delt inn i 2 deler:

Del 1 - Aktsomhetsområder. Denne delen er så delt inn i 3 steg (steg 1-3).

Del 2 - Utredning av faresoner. Denne delen er så delt inn i 8 steg (steg 4-11).

4.1 Geotekniske vurderinger

Det er foretatt en kartlegging av faresonen iht. /2/, og resultatene fremgår av kap. 4.34.2. Videre er det foretatt geotekniske beregninger og vurderinger mht. stabiliteten av området. Her er beliggenheten av kritisk snitt identifisert og deretter er det foretatt både udrenert (s_u) og drenert analyse ($a\phi$) av stabiliteten. Resultatene av beregningene og vurderingene er presentert i kap. 4.4.5.

4.2 Utredning av områdeskredfare Del 1: Aktsomhetsområder

Denne utredningen er foretatt iht. /2/.

4.2.1 Prosedyre Del 1.1

Det er ikke eksisterende registrerte faresoner i området.

4.2.2 Prosedyre Del 1.2 og Del 1.3

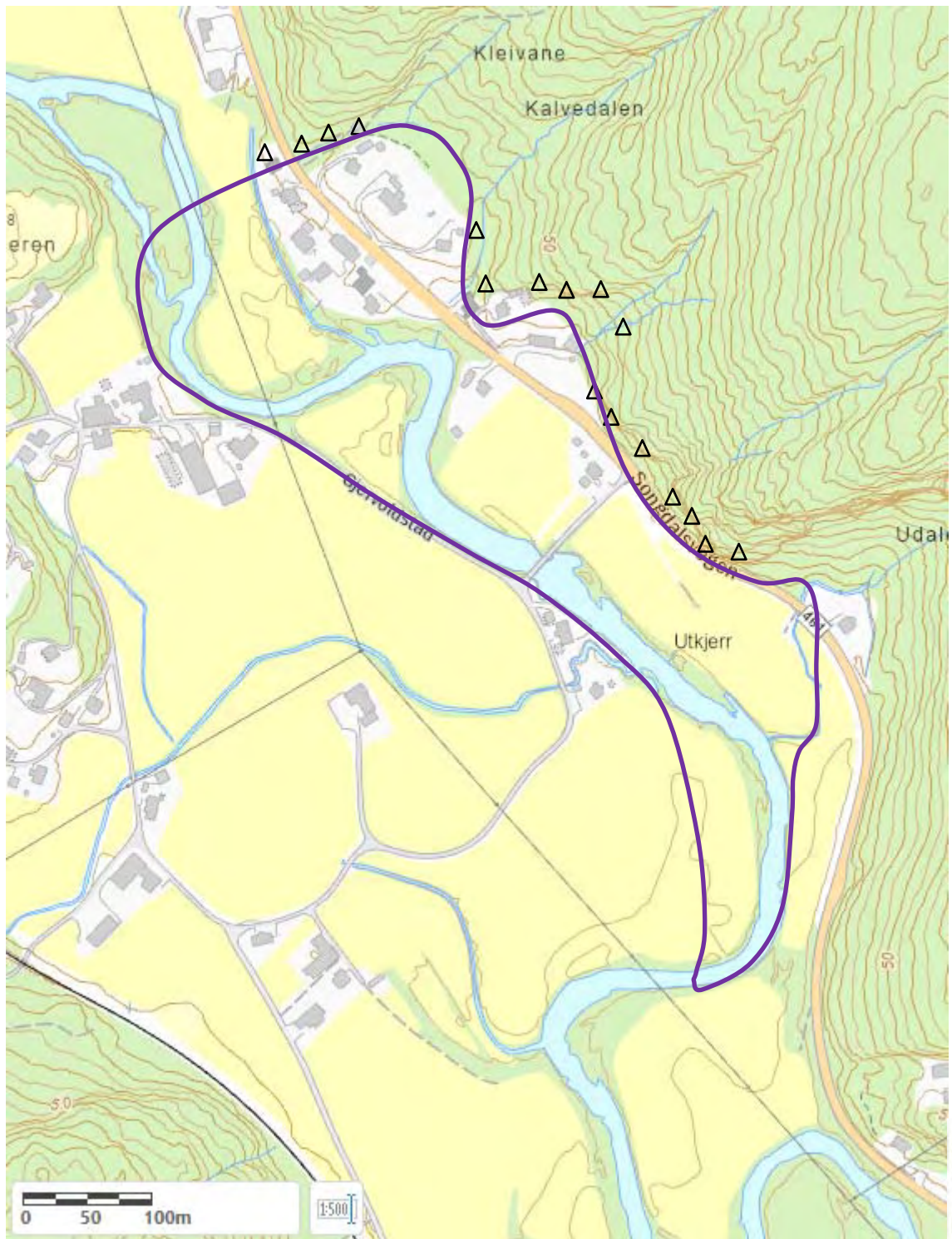
Som tidligere nevnt og som vist i Figur 3-2, ligger hele tomtearealet under marin grense.

Kartlegging av faresonen er utført iht. /2/ og /3/.

I Figur 4-1 nedenfor er det vist et mer detaljert utsnitt av kartgrunnet fra norgeskart.no påført markeringer mht. berg i dagen (Λ). Basert på disse observasjonene, resultatene av de nylige utførte geotekniske grunnundersøkelser, samt topografien i området, er det foretatt en vurdering mht. utstrekningen av aktsomhetsområdet, som består av et løsneområde og et utløpsområde. Utstrekningen av løsneområdet i grunnforhold bestående av kvikkleire/sprøbruddmateriale er begrenset av følgende faktorer:

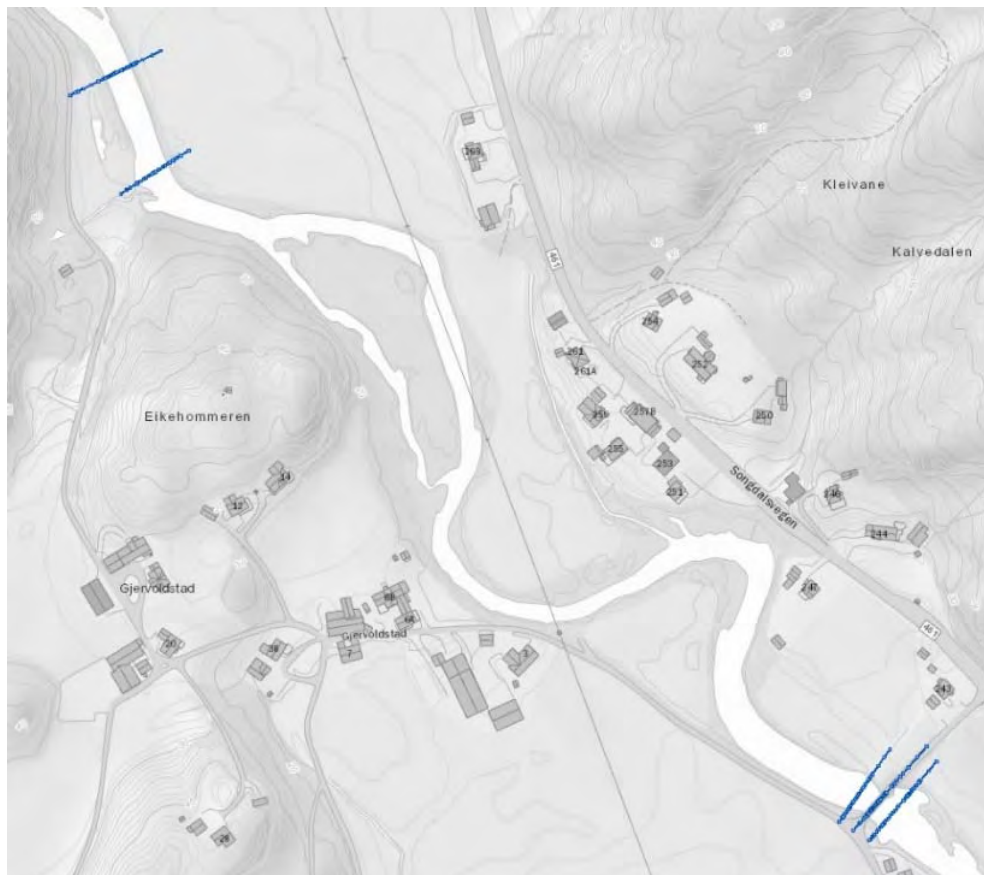
- Terrenghelning slakere enn 1:20
- Skråningshøyde lik 5 m, eller mindre
- Oppstikkende berg

Utløpsområdet er i utgangspunktet begrenset av 3 x lengden av løsneområdets lengde



Figur 4-1 Aktsomhetsområde for kvikkleireskred

Det er tidligere foretatt flomberegninger for Songdalselva og Søgneelva som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging, og dette arbeidet er presentert i NVE dokument 16/2002 «Flomsonekartprosjekt; Flomberegning for Søgneelva» (/4/). I den forbindelse er det foretatt en kartlegging av dybdeforholdene i elva i en rekke tverrprofiler, og beliggenheten av disse fremgår av Figur 4-2. Basert på denne dybdekartleggingen antas det en elvebunn beliggende på gjennomsnittlig kote +12. Like nedstrøms brua over til Gjervoldstad synes elvebunnen imidlertid å ligge i en lokal forsenkning på kote +10, mens videre nedstrøms stiger nivået for elvebunnen. Der elva passerer forbi Songdalsveien 240 viser flyfoto at det er lokalt veldig grunne partier i elvebunnen, antatt til kote +13 basert på topografisk kartgrunnlag.



Figur 4-2: Beliggenhet av tverrprofiler for flom- og vannlinjeberegninger (/4/)

4.3 Utredning av områdeskredfare Del 2: Utredning av faresoner

4.3.1 Tiltakskategori (Del 2.4)

Planlagt bebyggelse plasseres i tiltakskategori K3 - tiltak som medføre tilflytting av personer med inntil to boenheter, større byggverk med begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi /2/.

4.3.2 Identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løsneområde (Del 2.5)

Aktsomhetsområdet utarbeidet og vist i Figur 4-1 danner grunnlaget for den videre faresoneutredningen.

Siden vi har noe begrenset data i forhold til grunnforhold generelt i området, er det tatt utgangspunktet i en «worst case» scenario, dvs. det er antatt grunnforhold bestående av kvikkleire/sprøbruddmateriale.

Med bakgrunn i topografi (skråningshøyde- og helning) samt grunnforhold er det identifisert et kritisk snitt gjennom planområdet, som vist på Figur 4-5.

4.3.3 Befaring (Del 2.6)

Befaring i området ble utført i uke 23, 2022. Befaringen inkluderte en vurdering av evt. erosjonsforhold langs nærliggende bekk/elv og kartlegging av berg i dagen.

Det ble ikke sett tegn til erosjon langs bekken/grøfta umiddelbart vest for tomta, med unntak av lokalt område der bekken (som renner like nedenfor/vest for den aktuelle tomta) munner ut i Songdalselva. Her ble det observert noen trær som stod ute av lodd. Det ble ellers ikke observert tegn til erosjon langs Songdalselva der den renner forbi området og ned til brua over til Gjervoldstad.

Det bemerkes at det for øvrig var gjennomgående meget frodige vegetasjon langs bekken.

4.3.4 Gjennomføring av grunnundersøkelser (Del 2.7)

Grunnundersøkelser på tomta ble utført i mars 2022 av Multiconsult Norge AS. Det er utført totalsonderinger i 4 punkter, prøvetaking i 3 punkter og CPTu forsøk i 2 punkter. Terrenget ved borpunktene ble målt til å ligge med nivå på mellom kote +14,7 og +21. De utførte grunnundersøkelsene indikerer grunnforhold hovedsakelig bestående av toppmasser av antatt sandig organisk materiale over antatt sand. Derunder er det antatt silt og leire/kvikkleire over antatt sand/grus (morene) ned til antatt berg. Tykkelsen av leirelaget er størst i østre og søndre deler av det undersøkte område. Helt i nord er det observert berg i dagen på begge sider av Songdalsvegen.

Antatt berg er påtruffet i mellom 10,1 og 23,0 m dybde under terreng, tilsvarende en bergoverflate på mellom ca. kote +5,6 og -7,2. Det er boret mellom 2,7 og 3,0 m inn i antatt berg for bergpåvisning.

Grunnvannstand ble registrert i mellom 0,5 og 2,2 m dybde under terreng.

Resultatene av undersøkelsene er presentert i rapport nr. 10243837-RIG-RAP-001_rev00 (/1/).

Det bemerkes at utførte ødometerforsøk ble avsluttet på et noe tidlig tidspunkt og utført med en noe lavere tøyningshastighet enn det som er vanlig praksis, og dermed ikke gir et komplett resultat. Resultater fra utførte trykksunderinger er benyttet for å komplettere vurdering av geotekniske parametere.

Det må også nevnes at CPTU forsøkene, som er utført i 2 punkter, er utført med CPT-sonde som er kalibrert 29.10.2020. I utgangspunktet bør CPT-sonde kalibreres hvert år. På tidspunktet da grunnundersøkelsene ble utført ble det vurdert at sonden kunne brukes siden den ikke hadde blitt benyttet i særlig stor grad siden forrige kalibrering.

4.3.5 Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av løsne- og utløpsområder (Del 2.8)

Vurdering av skredmekanismer

Alle skred er unike i form og forløp, og de mest aktuelle skredmekanismene er som følge (/2/):

- Retrogressive (bakovergrepene) skred - skredet starter med et initialskred i en skråning, for eksempel som følge av erosjon, graving eller fylling. Skredet utvikler seg videre bakover eller sideveis i skaller.
- Rotasjonsskred - skredmassene beveger seg mer eller mindre i ett stykke og viser en tydelig rotasjon.
- Flakskred - skred hvor et større flak glir ut i en bevegelse.

Hvilken skredmekanisme som er mest aktuelt avhenger av terrengforhold, sprøbruddmaterialets beliggenhet og leiras omrørte fasthet.

Basert på resultatene av utførte grunnundersøkelser samt stabilitetsberegninger vurderes retrogressivt skred som den mest aktuelle skredmekanismen. Figur 4-3 viser andelen av sprøbruddmateriale (b/D) bestemt basert på beliggenheten ift. 1:15-linjen. Denne linjen er tegnet med startpunktet i en dybde lik $0,25 \times H$ målt fra der glideflaten kommer ut ned i skråningen. Det største b/D-forholdet over 1:15-linjen skal benyttes. Dersom denne gir en verdi over 40% skal det tas utgangspunkt i en retrogressiv skredmekanisme, jfr. /2/ kap. 4.5.

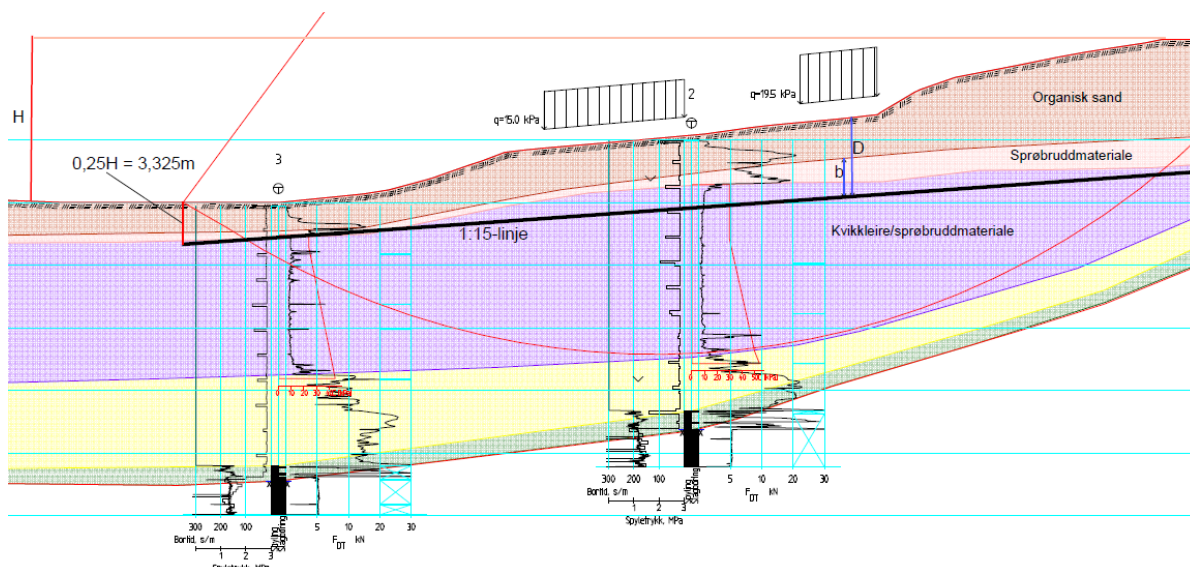
Fra Figur 4-3:

$$H = 13,3 \text{ m}$$

$$b = 3,1 \text{ m}$$

$$D = 6,3 \text{ m}$$

$$\text{Andel sprøbruddmateriale} = 49 \%$$



Figur 4-3 Vurdering av skredmekanismer

Avgrensning av løsne- og utløpsområder

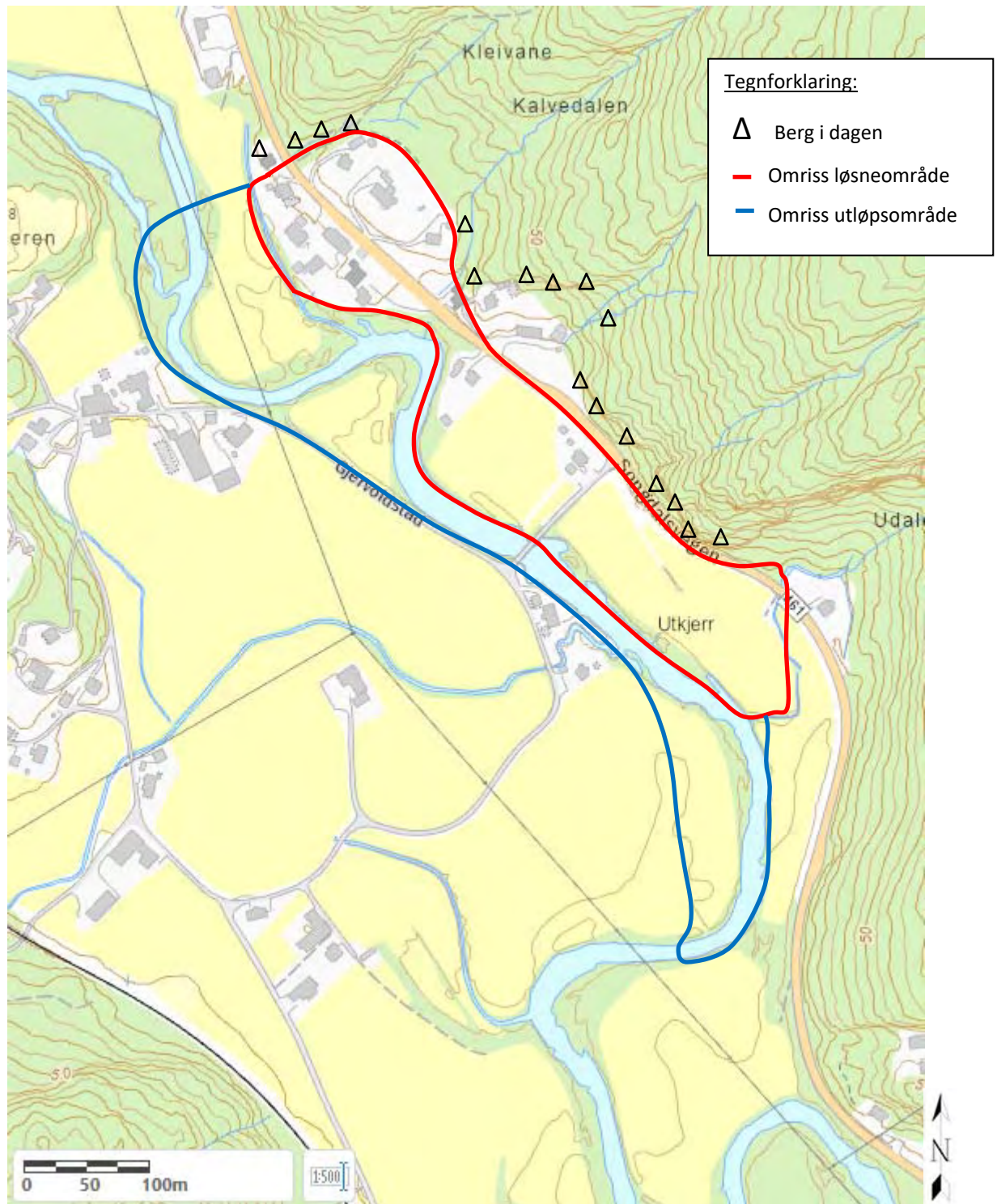
Faresonen består av to områder hhv. «løsneområde» (dvs. området som glir ut når et skred inntreffer - merket med **rød** linje) og «utløpsområde» (dvs. området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa - merket med **blå** linje). Faresonen fremgår av Figur 4-4.

Det antas retrogressiv skredmekanisme (se Figur 4-3), og berg i dagen inntil området i nord og nordøst vil avgrense løsneområdet. Fronten av løsneområde er vurdert ved bunnen av kritisk skråningen ved den aktuelle tomte som skal bebygges, og for øvrig ved elvebunn for den søndre 2/3 av sonen. Avgrensning mot nord er basert på observasjon av berg i dagen, mens avgrensning mot syd er basert på lokale grunne partier i Songdalselva med et nivå anslått til kote +13 (se kapittel 4.2.2), og dermed mindre enn 5 m høydeforskjell.

Lengden av utløpsområdet (L_u) er en funksjon av lengden på løsneområdet (L) og kan beregnes som følgende:

Retrogressive skred i åpent terreng: Lengde utløpsområdet = $3L$

I dette tilfellet er lengden av utløpsområdet også begrenset av høyereliggende terreng langs vegen «Gjervoldstad» på motsatt siden av elva som i prinsippet vil fungere som en voll og demme opp for videre bevegelse av evt. skredmasser, og heller lede disse videre ned langs elveleiet mot syd.



Figur 4-4 Utarbeidet faresonekart påført anmerkninger

Faresonekartleggingen er basert på resultatene av de geotekniske grunnundersøkelsene, topografien og NVE sin veileder «Sikkerhet mot kvikkleireskred» (/2/) og NVE ekstern rapport nr. 9/2020 vedr. «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred» (/3/). Faresonen er skissert inn på kartgrunnlaget i Figur 4-4.

4.3.6 Klassifisering av faresoner (Del 2.9)

Den aktuelle faresonen er klassifisert mht. skadekonsekvens, faregrad og risiko.

Skadekonsekvens

Evalueringen er utført iht. Tabell 4-1 og Tabell 4-2 under:

Tabell 4-1: Skadekonsekvens

Faktorer	Vekt-tall	Konsekvens, score			
		3	2	1	0
Boligheter, antall	4	Tett > 5	Spredt > 5	Spredt < 5	Ingen
Næringsbygg, personer	3	> 50	10 – 50	< 10	Ingen
Annen bebyggelse, verdi	1	Stor	Betydelig	Begrenset	Ingen
Vei, ÅDT	2	>5000	1001-5000	100-1000	<100
Toglinje, bruk	2	Person- trafikk	Gods- trafikk	Normalt ingen trafikk	Ingen
Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
Oppdemning og flombølge	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum poeng		45	30	15	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

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

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

En vurdering av faresonen mht. skadekonsekvens gir følgende resultat (Tabell 4-2):

Tabell 4-2: Skadekonsekvens, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
<i>Boligenheter, antall</i>	4	2	8	<i>Veldig spredt bebyggelse</i>
<i>Næringsbygg, personer</i>	3	1	3	<i>To næringsbygg innenfor aktsomhetsområdet</i>
<i>Annen bebyggelse, verdi</i>	1	0	0	
<i>Vei, ÅDT</i>	2	2	4	<i>ÅDT 2300</i>
<i>Toglinje, bruk</i>	2	0	0	
<i>Kraftnett</i>	1	1	1	<i>Høyspentlinjer innenfor utløpsområde</i>
<i>Oppdemning/flom</i>	2	2	4	<i>Mulighet for oppdemning av Songdalselva. Forholdsvis flate partier langs elva og liten risiko for plutselig oppdemning/flodbølge</i>
<i>Poengverdi</i>			20	<i>Gir skadekonsekvensklasse "alvorlig"</i>

Skadekonsekvensevalueringen for dagens situasjon gir en poengverdi på 20 og medfører at sonen plasseres i skadekonsekvensklasse «alvorlig», og som omfatter soner med poengverdi fra 7 til 22 poeng (jfr. /3/). På grunnlag av de oppsatte kriteriene vil dermed sonen ha risiko for skade på mennesker/tap av menneskeliv eller betydelige økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser. Den beregnede poengverdien er 44% av maksimal poengverdi.

Faregrad

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

Tabell 4-3: Faregrad

Faktorer	Vekt-tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidl. skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde, meter	2	> 30	20 - 30	15 - 20	< 15
Tidligere/ nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0 – 1,2	1,2 – 1,5	1,5 – 2,0	> 2,0
Poretrykk Overtrykk, kPa	+3	> + 30	10 – 30	0 – 10	Hydrostatisk
Undertrykk, kPa	-3	> -50	-(20 – 50)	-(0 – 20)	
Kvikkleiremektighet	2	> H/2	H/2 – H/4	< H/4	Tynt lag
Sensitivitet	1	> 100	30 - 100	20 - 30	< 20
Erosjon	3	Kraftig	Noe	Litt	Ingen
Inngrep Forverring	+3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum poeng		51	34	17	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

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

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

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

Tabell 4-4: Faregrad, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Tidl. skredaktivitet	1	1	1	Ingen tydelige tegn til tidligere skred i området. Men settes til «Lav»
Skråningshøyde, meter	2	0	0	Total høydeforskjell er mindre enn 15 m
OCR	2	2	4	Overslagsberegning fra ødometerforsøk v/2
Poretrykk	3/-3	0	0	Det antas hydrostatisk fordeling i dybden
Kvikkleiremektighet	2	3	6	Mektighet av kvikkleire/sprøbruddmateriale innenfor løsneområde er registrert inntil ca. 11 m i PR. v/2 (14 m tykkelse i stab. beregninger)
Sensitivitet	1	3	3	Sensitiviteten er for enkeltprøver målt opptil $s_t = 234$ v/2
Erosjon	3	1	3	Litt erosjon registrert
Inngrep Forverring	3	0	0	Gjelder for dagens situasjon
Poengverdi			17	Gir faregradsklasse "Lav"

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

Den beregnede poengverdien er 33 % av maksimal poengverdi for hhv. dagens situasjon.

Risikoklasse

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

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

Dette gir følgende inndeling for de fem risikoklassene:

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

Faresonen iht. dagens situasjon:

- Skadekonsekvens lik 44 % av maksimal poengverdi
- Faregrad lik 33 % av maksimal poengverdi

Dette gir risiko med tallverdi lik 1452, og dermed Risikoklasse 3.

4.4 Stabilitetsberegninger og -vurderinger (Del 2.10)

Det er foretatt geotekniske beregninger og vurderinger mht. både globale og lokale stabilitetsforhold på tomte for å vurdere dagens situasjon og evt. konsekvenser for planlagt utbygging.

4.4.1 Tiltakskategori og sikkerhetsfaktor

Sikkerhetsnivå mot utglidning representeres ved sikkerhetsfaktor F . Krav til sikkerhetsnivå avhenger av tiltakskategori og faregradsklasse slik det fremgår av NVE sine veilederen nr. 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» (/2/) med ekstern rapport nr. 9/2020 (/3/) samt TEK17 (/6/).

Det legges til grunn tiltakskategori K3 (jfr. kap. 4.3.1 samt ref. /2/) og Faregrad «Lav» (kap. 4.3.6).

For tiltakskategori K3 ved lav faregrad er kravene til sikkerhet lik som for tiltakskategori K1.

Sikkerhetskrav for tiltakskategori K1 (tatt fra /2/):

Krav til sikkerhet oppfylles hvis tiltaket ikke forverrer stabiliteten. Erosjon som kan utløse skred som kan ramme tiltaket må forebygges.

Det skal gjøres en vurdering av alle relevante løsne- og utløpsområder med tanke på skråninger hvor erosjon kan utløse skred.

*Hvis tiltaket forverrer stabiliteten skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,4 * f_s$ ($F_{cu}=1.61$) og $F_{c\phi} \geq 1,25$.*

Vurderinger og utarbeidelse av dokumentasjon skal gjennomføres av foretak med geoteknisk kompetanse. Kvalitetssikring gjennomføres av uavhengig foretak.

4.4.2 Kritisk snitt

Som nevnt tidligere, kap. 4.3.2, fremgår beliggenheten av kritisk snitt av Figur 4-5. Plasseringen av snittet er valgt med bakgrunn i topografi (skråningshøyde- og helning) samt grunnforhold, dvs. områder der undersøkelsene viser relativ stor mektighet av kvikkleire/sprøbruddmateriale.



Figur 4-5: Beliggenhet av kritisk snitt

4.4.3 Laster

Det er ikke medtatt karakteristisk terrengbelastning $p_{k,terreng}$ i beregningene. Trafikkbelastning $p_{k,trafikk}$ er inkludert, jfr. NVE veileder nr. 1/2019 (/2/).

Det er videre antatt at dagens bolig er etablert med hjelp av kompensert fundamentering siden bygget har kjeller. Det er derfor ikke medtatt belastning fra denne boligen.

Ny bolig antas, basert på mottatt informasjon, i utgangspunktet fundamentert med gulv på grunn uten kjeller. Det forutsettes derfor en karakteristisk belastning lik 10 kN/m^2 , det vil si en dimensjonerende belastning lik 15 kN/m^2 ved å hensynte en lastfaktor lik 1,5.

4.4.4 Jordparametere

Tolkning av jordparametere for grunnen i beregningsprofilen er utført på basis av opptatte 54 mm prøveserier samt resultatene fra ødometer og CPTu forsøkene. I tillegg er verdier fra erfaringsdata også benyttet. For vurdering av beliggenheten av laggrensene er resultatene av de utførte totalsonderinger hensyntatt.

Grunnvannstand

Grunnvannstand er målt til å ligge på ca. kote +17,7 på tomten ved den eksisterende boligen (dvs. i 2,2 m dybde under terreng), og på ca. kote +14,7 ved bekken på bunnen av skråningen i øst (dvs. i 0,5 m dybde under terreng). Det antas å være hydrostatisk trykkfordeling med dybden. Dette begrunnes med at vannstandsmålingen utført i prøvetakingen PR. v/2, som er foretatt ned til 13 m dybde, indikerer samme grunnvannstands nivå som målingen i piezometeret PZ. v/2, som er installert ned til 6 m dybde under terreng.

Rutinedata

Vanninnholdet varierer generelt mellom ca. 30 og 50 % for leira/kvikkleira. Tyngdetettheten ligger generelt i området 17,5 - 18,3 kN/m³. I beregningene er det valgt å benytte en gjennomsnittlig tyngdetetthet på 18 kN/m³ i leira/kvikkleira.

Plastisiteten (I_p) for leira/kvikkleira er i størrelsesorden 10-33 %, med et gjennomsnitt på rundt 24%.

Skjærfasthet

På de opptatte prøvene er det ved konus- og enaksialt trykkforsøk målt en udrenert skjærfasthet mellom ca. 15 og 32 kN/m². Leira karakteriserer dermed til å være bløt til middels fast.

Konsolideringsforhold

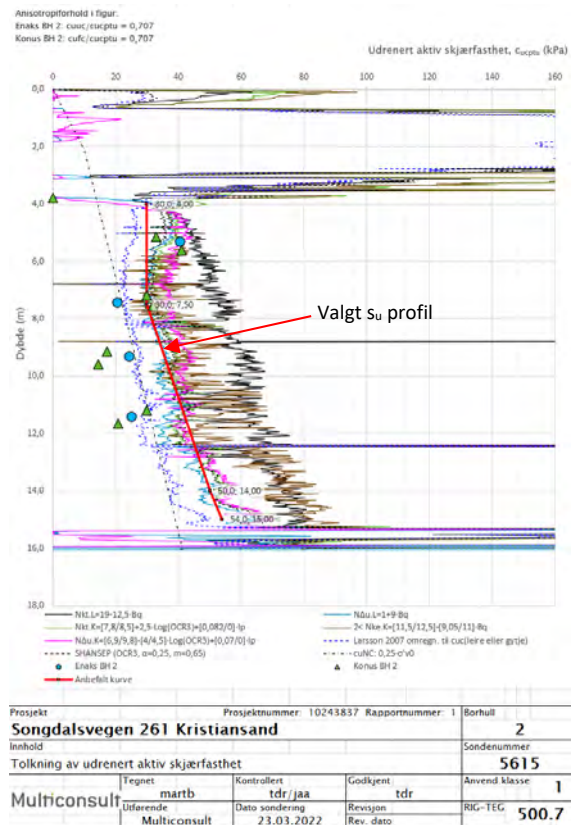
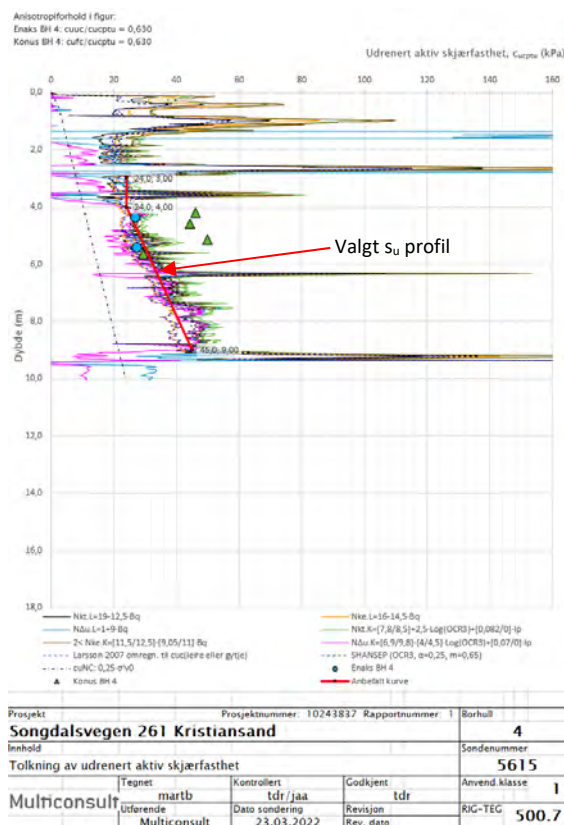
Prekonsolideringsforhold og grunnens deformasjonsegenskaper er bestemt fra CPTu forsøk. Resultatene tilsier at massene på tomta er overkonsoliderte tilsvarende en forkonsolideringspenning som er ca. 90 - 110 kPa høyere enn dagens spenningsnivå ved den eksisterende boligen som planlegges revet.

Styrkeparametre benyttet i beregninger - Anisotropi

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

Mht. karakteristisk friksjonsvinkel (ϕ_k) i massene for leira/kvikkleira og av sand er det benyttet erfaringsverdier.

For beregningene er det benyttet en udrenert skjærfasthet basert på tolkning av CPTu forsøkene. Det er valgt å benytte et s_u -profil for aktiv udrenert skjærfasthet som varierer fra 24 - 45 kPa og 30 - 54 kPa gjennom leire/kvikkleire avsetningen hhv. i bunnen av skråningen (punkt 4) og på toppen av skråningen (punkt 2).



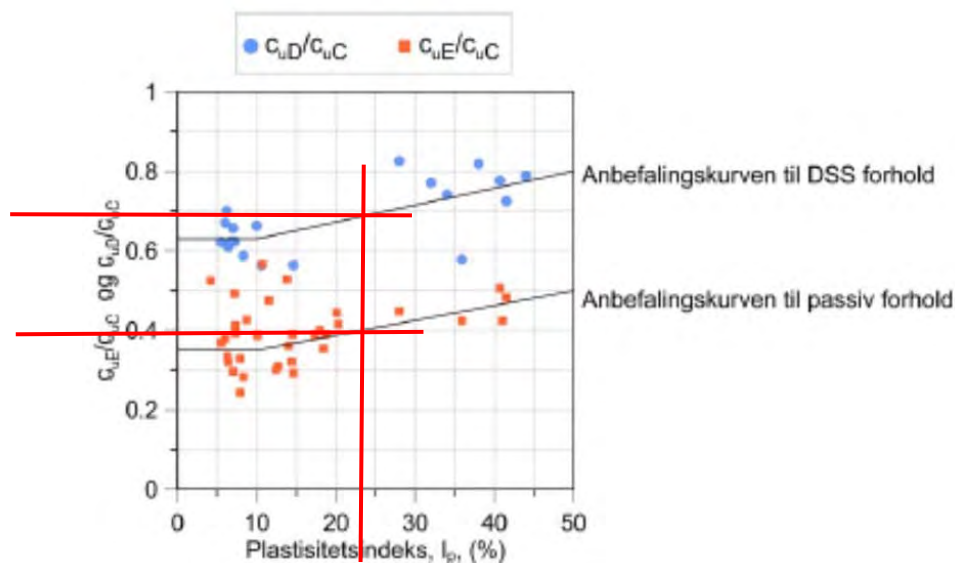
Figur 4-6 Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet i Punkt 4 og Punkt 2

For de overliggende siltmassene er det benyttet 40 kPa basert på resultatene av utførte laboratorieundersøkelser samt tolkning av CPTu. For bestemmelse av direkte og passiv skjærfasthet er det valgt å benytte erfaringsbaserte forhold mellom plastisitetsindeks (I_p) og skjærfastheten fra aktive, direkte og passive treaksialforsøk (S_{uA} , S_{uD} og S_{uP}), jfr. NIFS rapport 2014 utarbeidet av NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen (/7/).

Basert på plastisitetsindeks $I_p = 24\%$ er det dermed benyttet følgende forholdstall mellom direkte og aktiv skjærfasthet, og mellom passiv og aktiv skjærfasthet, jfr. Figur 4-7:

$$S_{uD} / S_{uA} = 0,69$$

$$S_{uP} / S_{uA} = 0,40$$



Figur 4-7: Anisotropifaktorer (/7/)

Det er benyttet jordparametere på total- og effektivspenningsbasis slik det fremgår av Tabell 4-5 under. Det er tatt utgangspunkt i karakteristiske jordparametere i alle beregningene.

Tabell 4-5: Jordparametere

Lag	Friksjonsvinkel, ϕ Karakteristisk	Attraksjon, a	C (kPa)	Aa (c_{uC})	Ad (c_{uD})	Ap (c_{uE})	Udrenert skjærfasthet, S_u Karakteristisk
Org. Masser/Sand	33°	0		-	-	-	
Silt	31°	0	40	1,00	0,69	0,40	
Leire (kvikk)	20°	0		1,00	0,69	0,40	S_u profil
Sand	34°	0		-	-	-	
Morene	38°	0		-	-	-	

Det nevnes at det er utført beregninger/vurdering ved å benytte noe lavere ADP-parameter for silt laget som følge av lavere plastisitetsindeks i disse massene. Verdiene er redusert til Ad 0,63 og Ap 0,35 uten at det er observert noe nevneverdig forskjell i beregningsresultatene, som nok skyldes at utstrekningen av silt-laget er meget beskjedent og at kun en liten andel av glideflaten berører disse massene.

4.4.5 Beregningsresultater og -konklusjoner

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsprogrammet GeoSuite Stability (ref. /5/). Programmet er basert på grenselikevektsmetode, og anvender en versjon av lamellemetoden som tilfredsstillende både kraft- og momentlikevekt. Programmet kan selv søke etter kritisk sirkulærsylindrisk glideflate («SG») for definerte variasjonsområder av sirkelsentrum. Det er også mulig å definere egne glideflater («EG») i programmet. Stabilitetsberegninger er som nevnt over foretatt ved udrenert analyse (s_u) og drenert analyse ($a\phi$). Stabilitetsberegningene resulterer dermed i en sikkerhetsfaktor F, der minstekrav er nærmere beskrevet i kap. 4.4.1. Resultatene av beregningene fremgår av Tabell 4-6, og er også vist i vedlegg A.

Tabell 4-6: Stabilitetsberegninger og -resultater

Beregningsnr. og -metode	Beregningsfaktor, F	Kommentar
Udrenert analyse (s_u)	1,11	Dagens situasjon med trafikkklaster - global glideflate - ekstra skjærstyrkeprofil i øst
Udrenert analyse (s_u)	1,12	Fremtidig situasjon med trafikkklaster - global glideflate - ekstra skjærstyrkeprofil i øst
Udrenert analyse (s_u)	1,42	Dagens situasjon med trafikkklaster - lokal glideflate
Udrenert analyse (s_u)	1,38	Fremtidig situasjon med trafikkklaster - lokal glideflate
Drenert analyse ($a\phi$)	1,62	Dagens situasjon med trafikkklaster - global glideflate
Drenert analyse ($a\phi$)	1,64	Fremtidig situasjon med trafikkklaster - global glideflate
Drenert analyse ($a\phi$)	1,77	Dagens situasjon med trafikkklaster - lokal glideflate
Drenert analyse ($a\phi$)	1,61	Fremtidig situasjon med trafikkklaster - lokal glideflate

I forbindelse med etablering av den planlagte bebyggelsen viser beregningene av lokal glideflate (udrenert analyse) at det er oppnådd en sikkerhetsfaktor lik $F_{cu}=1,38$ som er noe lavere enn dagens sikkerhet ($F_{cu}=1,42$). Planlagt tiltak forverrer således stabilitetsforholdene for lokal glideflate. I dette tilfellet kan sikkerhetsprinsipp om ikke forverring ved bruk av for eksempel lette masser/kompensert fundamentering benyttes. Dette betyr at dersom de nye boliger kan etableres uten at sikkerhetsfaktoren bli lavere enn 1,42, så kan tiltaket gjennomføres. Dersom det samtidig legges ut noe stabiliserende masser i foten av skråningen vil stabilitetsforholdene bedres ytterligere.

Den drenerte analysen viser tilfredsstillende stabilitet for lokale glideflater uten stabiliserende tiltak.

Beregnet sikkerhetsfaktor av global glideflate for dagens situasjon er lik 1,11. For den fremtidige situasjonen er det beregnet en sikkerhetsfaktor lik 1,12, som er en beskjeden forbedring av stabilitetsforholdene. Det vil si at stabilitetsforholdene er ivaretatt iht. NVE 1/2019.

Det kan nevnes at det er foretatt beregninger/vurderinger ved å benytte sammensatte (ikke-sirkulære) glideflater. Resultatene indikerer en høyere sikkerhetsfaktor sammenlignet med de sirkulære glideflatene som er presentert over.

4.4.6 Stabiliserende tiltak

I forbindelse med etablering av planlagte boligene kan følgende tiltak kan vurderes:

- masseutskifting med lette masser (kompensert fundamentering)
- etablering av motfylling på bunnen av skråningen

5 Setninger

I forbindelse med de utførte grunnundersøkelsene er det påvist høyt organisk innhold (>3%) ned til ca. 2 - 2,5 m dybde under terreng. Massene bør fjernes før etablering av den planlagte boligbebyggelsen. Massene bør vurderes erstattet med en kombinasjon av steinmasser og lette masser, eller det kan vurderes etablering av en kjelleretasje. Utgravde massene bør vurderes lagt i bunnen av skråningen som en liten motfylling for å øke stabiliteten, som nevnt over.

Setninger som kan forekomme på grunn av leire i grunnen er foreløpig ikke vurdert. Ved fullstendig kompensert fundamentering så skal det i teorien ikke oppstå noen setninger. Mulig det kan vurderes en lignende kjellerkonstruksjon som for det eksisterende bygget dersom det kan bekreftes at dette bygget ikke har fått setningsskader/sprekker osv.

6 Konklusjon

Faresoneklassifisering for dagens situasjon gir en poengverdi på 17 og medfører at sonen plasseres i faregradsklasse «Lav». For tiltakskategori K3 ved lav faregrad er kravene til sikkerhet lik som for tiltakskategori K1.

Sikkerhetskrav for tiltakskategori K1 (tatt fra /2/):

Krav til sikkerhet oppfylles hvis tiltaket ikke forverrer stabiliteten. Erosjon som kan utløse skred som kan ramme tiltaket må forebygges.

Det skal gjøres en vurdering av alle relevante løsne- og utløpsområder med tanke på skråninger hvor erosjon kan utløse skred.

*Hvis tiltaket forverrer stabiliteten skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,4 * f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$.*

Vurderinger og utarbeidelse av dokumentasjon skal gjennomføres av foretak med geoteknisk kompetanse. Kvalitetssikring gjennomføres av uavhengig foretak.

Planlagte utbyggingen innenfor planområdet vurderes for å være gjennomførbar iht. gjeldende regler og forskrifter hva angår sikkerhet mht. skred i kvikkleiremasser/masser med sprøbruddsegenskaper.

Utførte stabilitetsberegninger indikerer at stabiliserende tiltak er nødvendig for å få tilstrekkelig stabilitet ifm. den planlagte utbyggingen. Stabiliserende tiltak som kan vurderes er:

- masseutskifting med lette masser
- etablering av motfylling på bunnen av skråningen

Det påpekes at planlegging og gjennomføring av utbyggingen må utføres i nært samråd med geoteknisk sakkyndig i forbindelse med detaljprosjekteringen for å sikre at de lokale, samt anleggsmessige, stabilitetsforholdene er ivaretatt iht. gjeldende regelverk (PBL/Eurokoder).

Avslutningsvis kan det nevnes at man ved å foreta supplerende grunnundersøkelsene vil få mer detaljerte opplysninger om grunnforhold i område og således et bedre grunnlag for å vurdere utstrekningen av faresonen for å mulig redusere denne ift. Figur 4-4. Dette vil i midlertidig ikke medføre noe praktiske konsekvenser for tomta i Songdalsvegen 261.

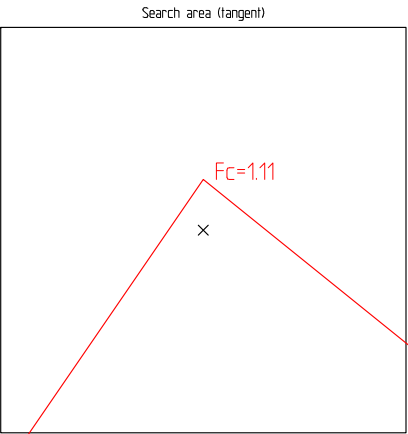
Referanser

- /1/ Multiconsult Norge AS; Rapport nr. 10243837-RIG-RAP-001 «Songdalsvegen 261 Kristiansand. Geotekniske grunnundersøkelser - Datarapport.» datert 18.05.2022.
- /2/ NVE; Veileder nr. 1/2019 - «Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper»
- /3/ NVE; Ekstern rapport nr. 9/2020 - «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred»
- /4/ NVE; Dokument 16/2002 «Flomsonekartprosjekt; Flombertegning for Søgneelva»
- /5/ GS Stability, versjon 5.0.7. Novapoint GeoSuite Toolbox. Versjon 15.4.4, Installasjon 2.0.30
- /6/ Kommunal- og moderniseringsdepartementet; Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift - TEK17)
- /7/ NIFS Rapport 14/2014 «En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer».

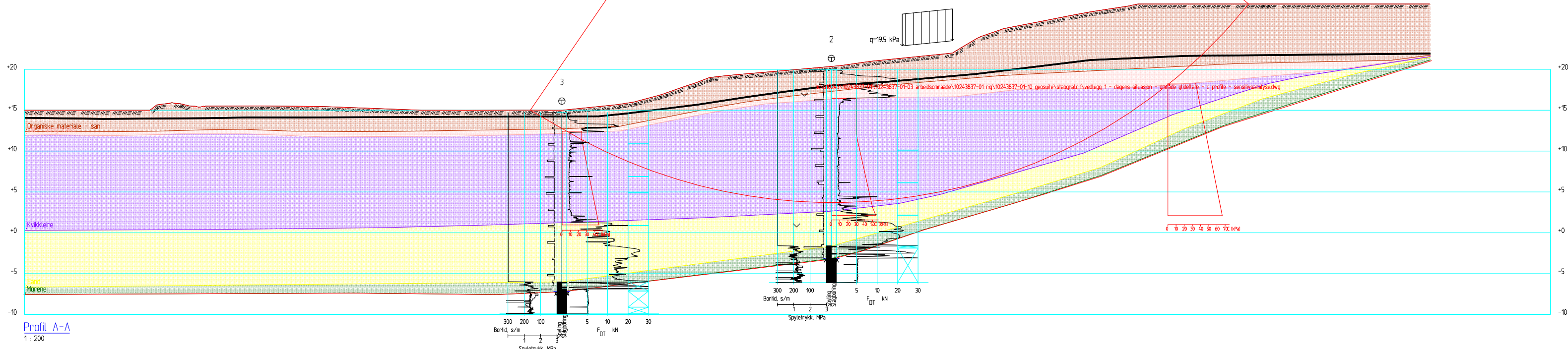
VEDLEGG A

Resultat av stabilitetsberegninger (med trafikklast)

Dagens situasjon - Global glideflate - c profil (med trafikklast)

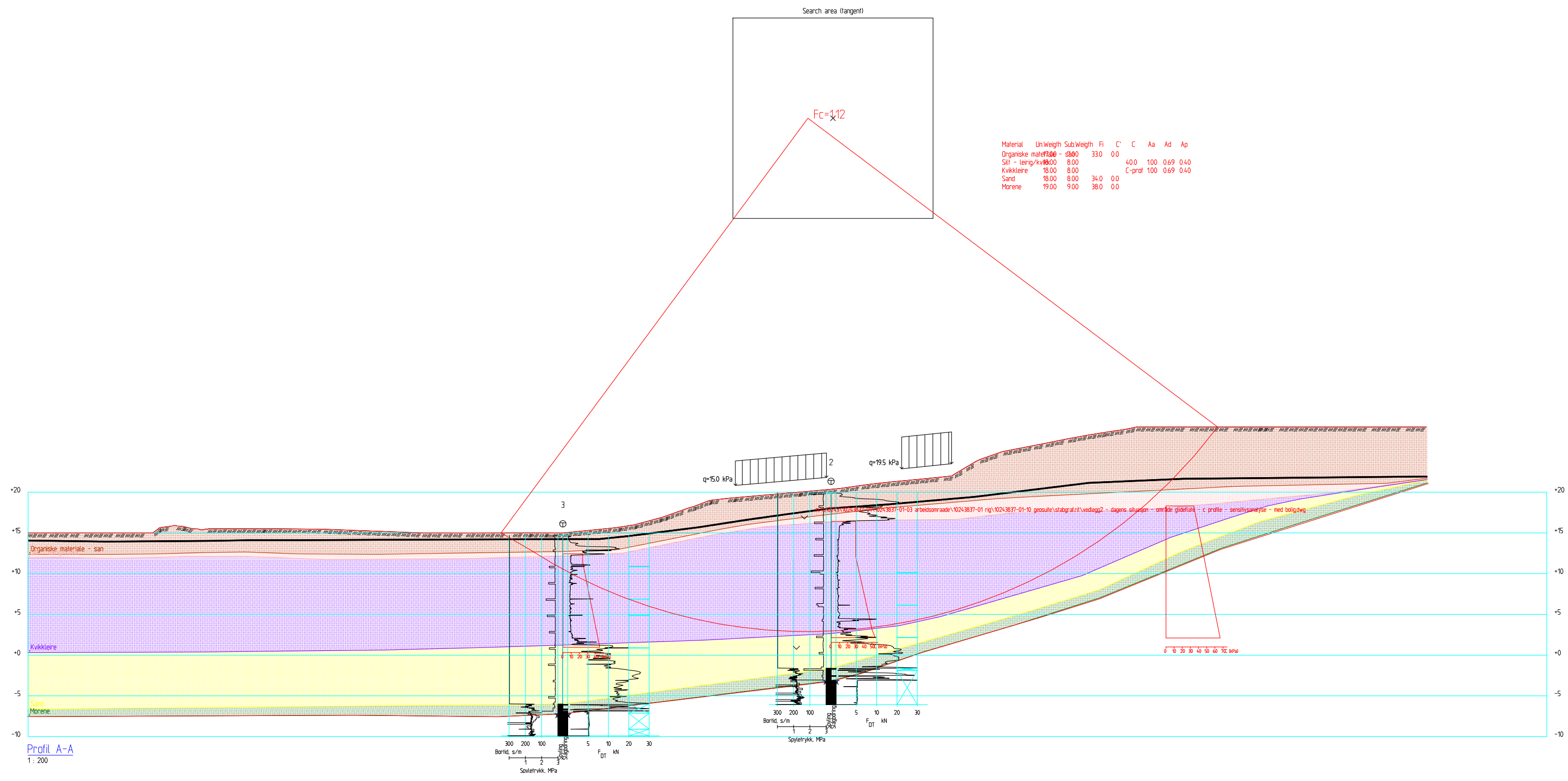


Material	Un.Weigh	Sub.Weigh	Fi	C	C	Aa	Ad	Ap
Organiske materiale	10.00	5.00	33.0	0.0				
Silt - leing/kvikkleire	8.00	8.00		40.0	100	0.69	0.40	
Kvikkleire	18.00	8.00						C-prof 100 0.69 0.40
Sand	18.00	8.00	34.0	0.0				
Morene	19.00	9.00	38.0	0.0				

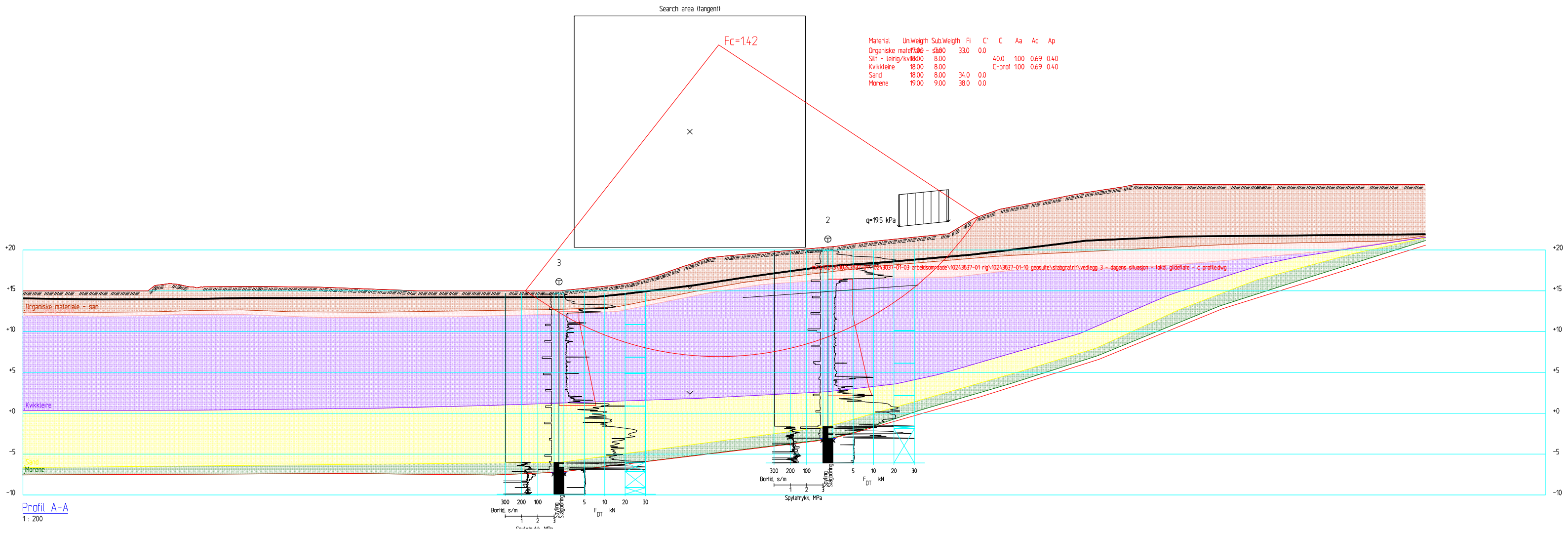


Profil A-A
1: 200

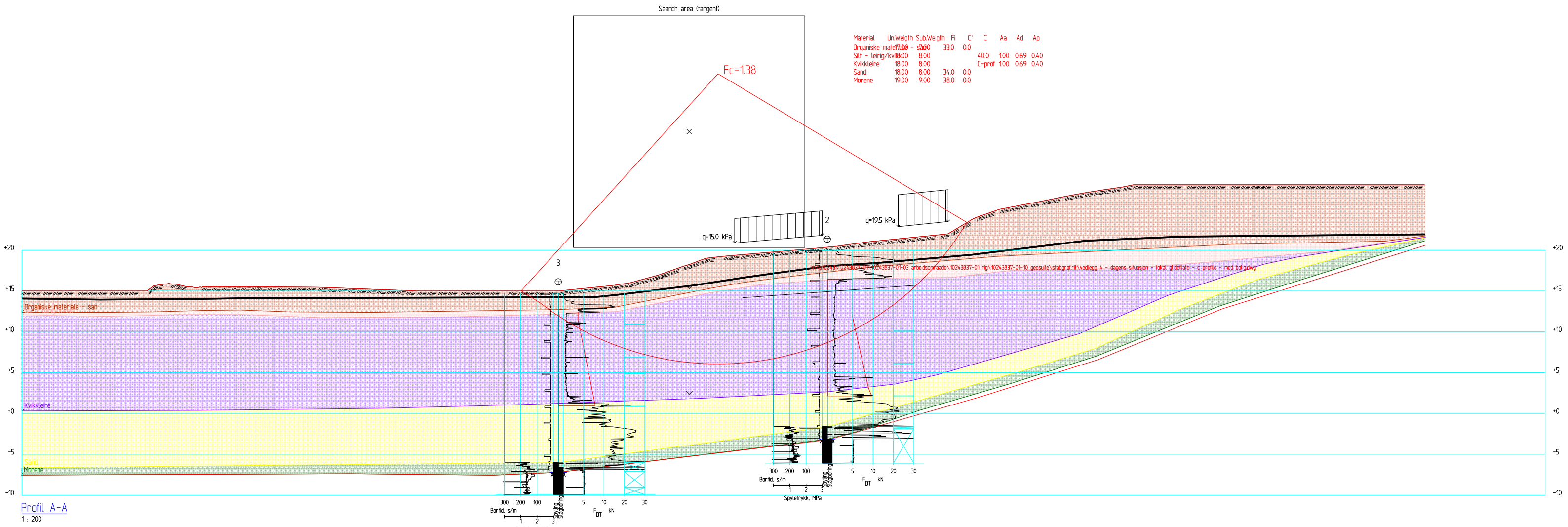
Fremtidig situasjon - global glideflate - c profil (med trafikklast)



Profil A-A
1 : 200



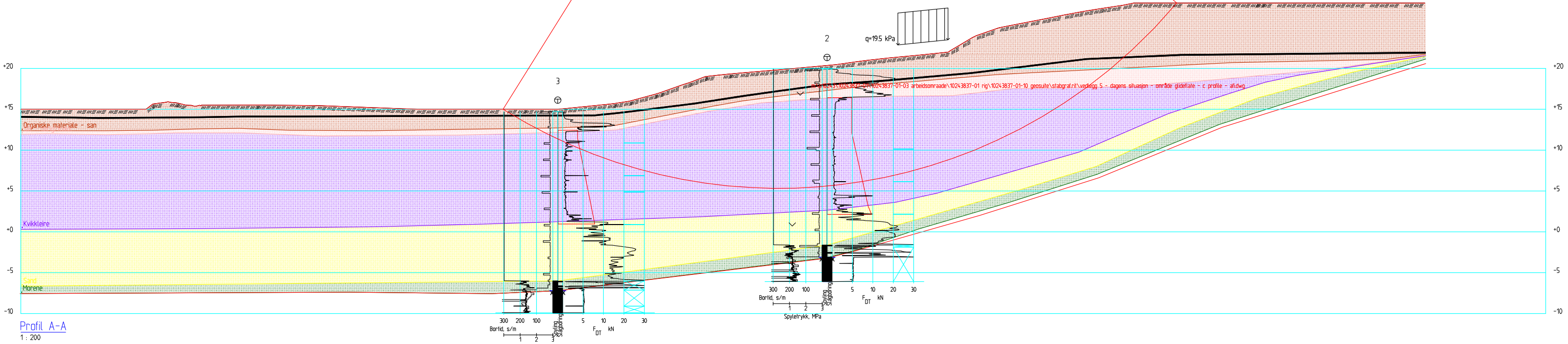
Fremtidig situasjon - Lokal glideflate - c profil (med trafikklast)



Dagens situasjon - Område glideflate - c profil - APHI (med trafikklast)



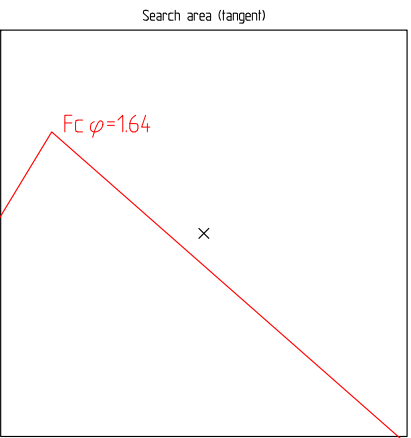
Material	Un>Weigh	Sub>Weigh	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Organiske materiale	3.00	33.0	0.0					
Silt - leireg/kvikkleire	8.00	31.0	0.0					
Kvikkleire	18.00	20.0	0.0					
Sand	18.00	34.0	0.0					
Morene	19.00	38.0	0.0					



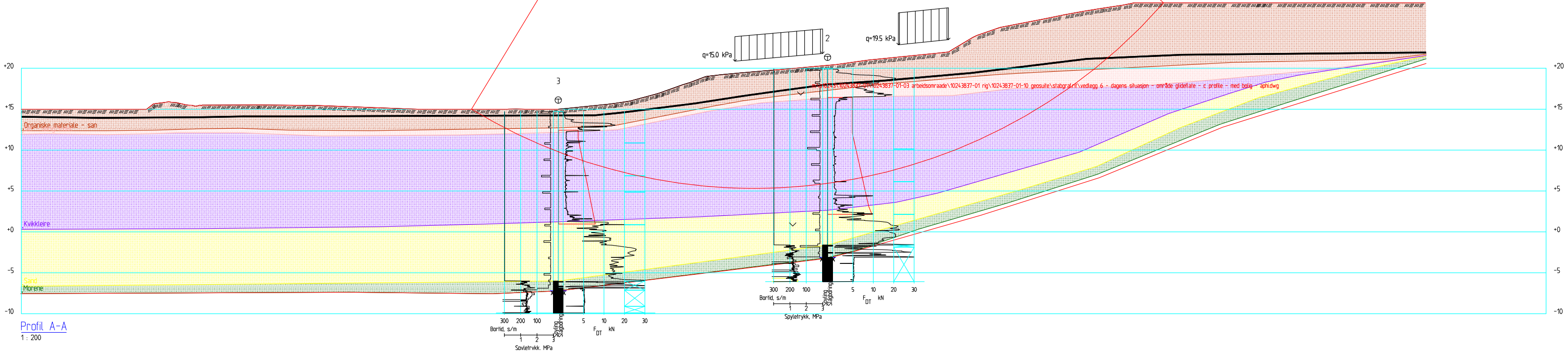
Profil A-A

1 : 200

Fremtidig situasjon - Global glideflate - c profil - APHI (med trafikklast)



Material	Un.Weigh	Sub.Weigh	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Organiske materiale	1.00	5.00	33.0	0.0				
Silt - leireig/kvikkleire	18.00	8.00	31.0	0.0				
Kvikkleire	18.00	8.00	20.0	0.0				
Sand	18.00	8.00	34.0	0.0				
Morene	19.00	9.00	38.0	0.0				



Profil A-A

1:200

