

NOTAT

OPPDRAAG	Områdestabilitet Kvarsteinsområdet, Vennesla	DOKUMENTKODE	10216856-RIG-NOT-001_rev01
EMNE	Områdestabilitet - Stabilitetsberegninger og geotekniske vurderinger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Vennesla kommune	OPPDRAAGSLEDER	Jostein Aasen
KONTAKTPERSON	Eirik Aarrestad	SAKSBEHANDLER	Jostein Aasen
KOPI		ANSVARLIG ENHET	10232011 Geoteknikk Sør

SAMMENDRAG

Multiconsult Norge AS er engasjert av Vennesla kommune til å utføre geotekniske grunnundersøkelser og tilhørende geotekniske vurderinger av områdestabiliteten på Kvarsteinsområdet i Vennesla kommune.

Det er tidligere i år foretatt geotekniske grunnundersøkelser i området som er presentert i vår geotekniske datarapport nr. 10216856-RIG-RAP-001_rev00 datert 17.03.20.

Foreliggende notat omhandler resultatene av geotekniske beregninger og vurderinger knyttet til stabilitetsforholdene, og en tilhørende vurdering av områdestabiliteten iht. retningslinjer og tilhørende tekniske veileder 7/2014 og 1/2019 utarbeidet av NVE.

I forbindelse med klassifisering av faresonen er det valgt å plassere denne i Faregradsklasse «Middels» og Skadekonsekvensklasse «Meget Alvorlig», hvilket medfører at sonen plasseres i Risikoklasse 4.

Videre er det foretatt geotekniske stabilitetsberegninger som viser at det beregningsmessig er dårlig stabilitet i skråningen ned mot Otra langs hele faresonen. Det kan derfor bli nødvendig med dels omfattende stabiliserende tiltak, men dette er veldig avhengig av evt. fremtidige tiltak i faresonen.

Det bemerkes at foreliggende faresonekartlegging anses for å være en noe konservativ tilnærming basert på resultatene av undersøkelsene som er utført så langt. Det anbefales derfor å foreta supplerende geotekniske grunnundersøkelser i felt og laboratorium som underlag for å revidere faresonekartleggingen, spesielt mht. utstrekning samt de generelle stabilitetsforholdene.

1	15.09.21	Innarbeidet kommentarer fra kvalitetssikring utført av Norconsult	JAA	RENM	JAA
0	21.08.20	Utarbeidet	JAA	RENM	JAA
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

1 Innledning

Multiconsult Norge AS er engasjert av Vennesla kommune til å utføre geotekniske grunnundersøkelser og tilhørende geotekniske vurderinger av områdestabiliteten på Kvarsteinsområdet i Vennesla kommune.

Det er tidligere i år foretatt geotekniske grunnundersøkelser i området som er presentert i vår geotekniske datarapport nr. 10216856-RIG-RAP-001_rev00 datert 17.03.20 (/1/).

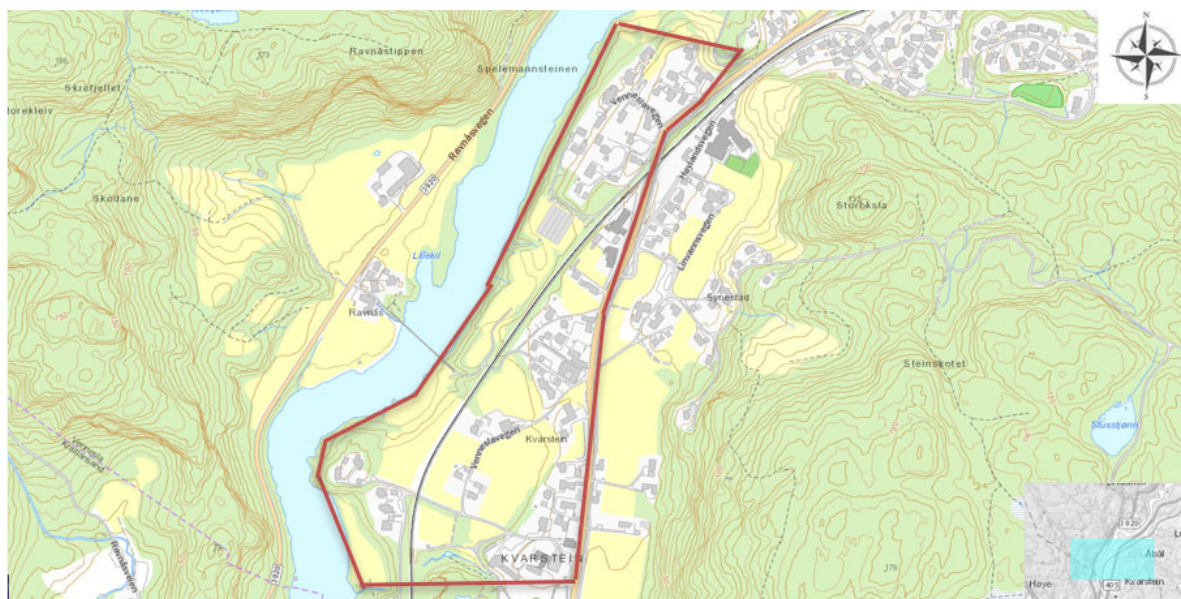
Multiconsult er videre engasjert til å utføre en vurdering av områdestabiliteten, og resultatene av dette er presentert i foreliggende notat.

2 Situasjonsbeskrivelse, topografi og grunnforhold

Det undersøkte området ligger på Kvarstein i Vennesla kommune, og ligger som et platå inntil Otra i vest. Terrengnivået i undersøkelsesområdet varierer ifølge innmålinger av borpunktene og kartgrunnlaget mellom ca. kote +30 i øst og svakt fallende til mellom ca. kote +12 og +18 langs toppen av skråningen ned mot Otra i vest. Deretter faller terrenget relativt bratt (stedvis med helning inntil ca. 1:1,5) videre ned mot elvebredden langs Otra i vest der terrenget ligger med nivå mellom ca. kote +2 og +3. Det antas at vanddybden i Otra er ca. 5 m.

Området som er undersøkt er begrenset av Venneslavegen i øst og Otra i vest. Platået strekker seg for øvrig videre mot øst og begrenses her av dels bratt bergoverflater.

Plasseringen av undersøkelsesområdet fremgår av rødt omriss på kartutsnitt i Figur 2-1. Videre viser Figur 2-2 et flyfoto over aktuelt område.



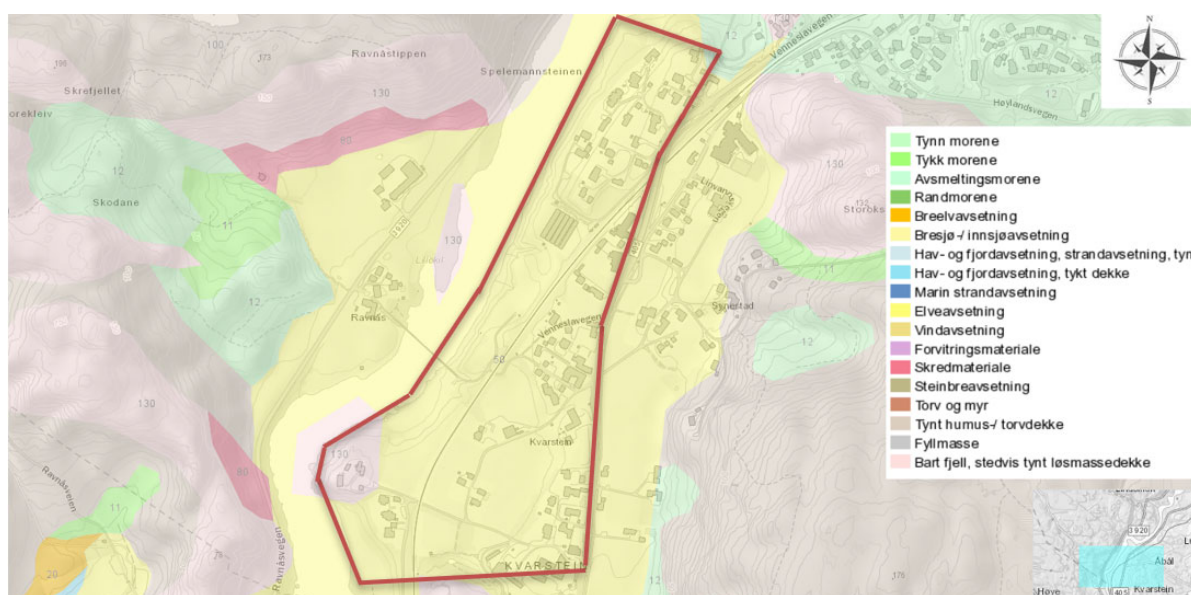
Figur 2-1 Kartutsnitt over området, undersøkelsesområde er markert med rødt omriss



Figur 2-2 Flyfoto av området, undersøkelsesområdet markert med rødt

Området består hovedsakelig av bebygde eiendommer og jordbruksarealer/grøntområder.

Ifølge løsmassekart utarbeidet av NGU domineres området av elve- og bekkeavsetninger, jfr. Figur 2-3. Området som er undersøkt er markert med rød ring. Marin grense i området er anslått til mellom ca. kote +35 og +40, og det undersøkte området er dermed under Marin grense.



Figur 2-3 NGU; Løsmassekart /1/

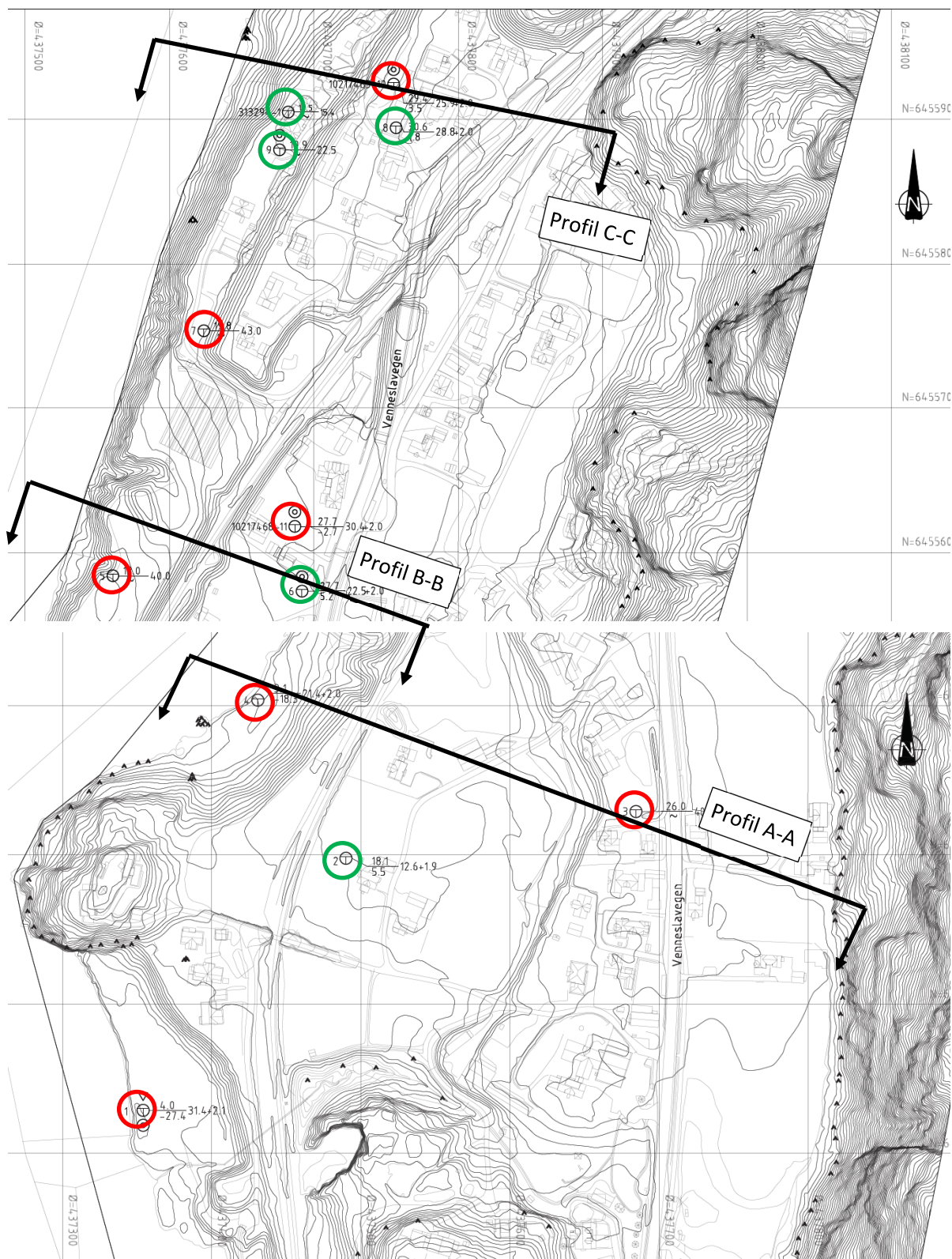
Det ble i februar 2020 utført totalsonderinger i 9 punkter, prøvetaking med opptak av prøver for laboratorieanalyser i 3 punkter og trykksøndering (CPTu) i 1 punkt.

Det er i 5 av 9 totalsonderinger påvist berg imellom 12,6 og 31,4 m dybde under terreng. De resterende totalsonderingene er avsluttet i løsmasser i dybder mellom 22,5 og 43,1 m under terreng.

De utførte grunnundersøkelsene indikerer for øvrig grunnforhold hovedsakelig bestående av sand, silt og leire (stedvis med sprøbruddoppførsel) ned til antatt berg eller avsluttet boring.

Det er for øvrig registrert flere lokale områder/koller med berg i dagen, i tillegg til ovennevnte bergskranningen i den østre begrensningen av området.

Utsnitt av borplanene (/1/) fremgår av Figur 2-4. For ytterligere detaljer fra undersøkelsene henvises det til ovennevnte geotekniske datarapport (/1/). Det er i nevnte rapport i tillegg inkludert resultatene av geotekniske grunnundersøkelser utført i forbindelse med andre oppdrag i området, hhv. 313294-1, 10217463-10 og 10217468-11.



Figur 2-4 Utsnitt av borplaner (/1/) påført markering av kvikkleire/ikke kvikkleire samt beregningsprofiler

3 Faresonekartlegging

Det aktuelle området er ikke tidligere kartlagt mht. faresone for kvikkleireskred, og det er dermed nå foretatt en faresoneutredning i området med kartlegging av utstrekning, faregrad, konsekvens og risiko. Utredningene er foretatt iht. NVE retningslinjer 2/2011 med tilhørende tekniske veileder 7/2014 (/2/).

På utsnittet av borplanen i Figur 2-4 er det med rød markering vist undersøkelser der det er kvikkleire/sprøbruddmateriale, enten påvist med sikkerhet vha. prøvetaking eller vurdert som meget sannsynlig basert på sonderingsmotstanden. Dette gjelder følgende borpkt.:

- Nr. 1 (kvikkleire/sprøbruddmateriale bekreftet vha. prøvetaking)
- Nr. 3, 4, 5, 7 (vurdert/antatt basert på sonderingsmotstanden)
- Nr. 10217463-10, 10217468-11 (vurdert/antatt basert på sonderingsmotstanden)

I tillegg er det med grønn markering vist undersøkelser der det ikke er kvikkleire/sprøbruddmateriale, enten avkreftet med sikkerhet vha. prøvetaking eller vurdert som meget sannsynlig basert på sonderingsmotstanden. Dette gjelder følgende borpkt.:

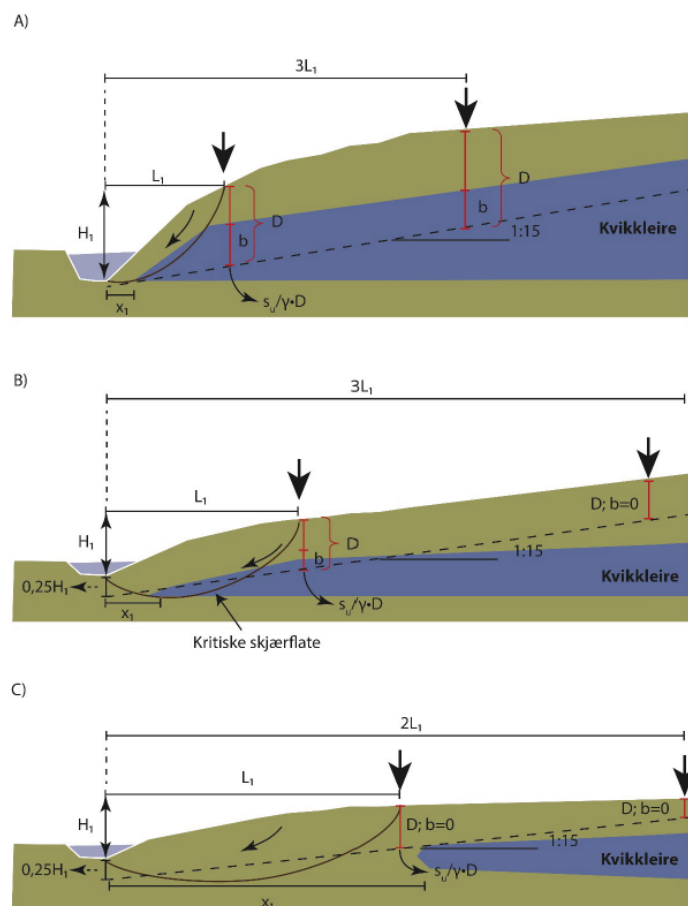
- Nr. 6 (kvikkleire/sprøbruddmateriale avkreftet vha. prøvetaking)
- Nr. 2, 8, 9 (vurdert/antatt basert på sonderingsmotstanden)
- Nr. 313294-1 (vurdert/antatt basert på sonderingsmotstanden)

Basert på resultatene av undersøkelsene er det foretatt en vurdering av faresonen mht:

- Utstrekning
Her er også benyttet L/H-metoden som beskrevet i NIFS (**N**aturfare, **I**nfrastruktur, **F**lom, **S**kred) rapport R 14-2016 vedr. «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» /4/.
- Klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko

3.1 Utstrekning

Det er foretatt en vurdering av faresonens utstrekning med hensyn til løsne- og utløpsområde. Det er som nevnt over i denne forbindelsen tatt hensyn til L/H-metoden som beskrevet i nevnte NIFS rapport nr. 14-2016 vedr. «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» og tilhørende NGIs tekniske notat 201440848-01-TN-rev2 vedr. «Beskrivelse av L/H tabellen for vurdering av løsneområdet for områdeskred» datert 01.02.2016 (/4/). Prinsippene fremgår av Figur 3-1. De viktigste elementer som viser seg å ha betydning, og som det er lagt vekt på i metoden er kvikkleirelommens form og beliggenhet i skråningen, terrengform i utløpsområdet og stabilitetstallet langs en antatt glideflate.



Figur 2: Skisse som illustrerer de forskjellige parametre som inngår i vurdering av L/H kriteriet for å vurdere løseområdet for kvikkleireskred. Eksempel i A) illustrerer en typisk terrasse-skråning med tykk kvikkleireavsetning og hvor det er fare for at løseområdet er stor ($L/H \sim 15$). Eksempel i B) en slakere skråning hvor løseområdet vurderes å være middels ($L/H \sim 10$). Nederste bildet i C) illustrerer en skråning hvor løseområdet antas å være liten ($L/H \leq 5$).

Tabell 1: Evaluering av L/H basert på kriterier presentert i Figur 2.

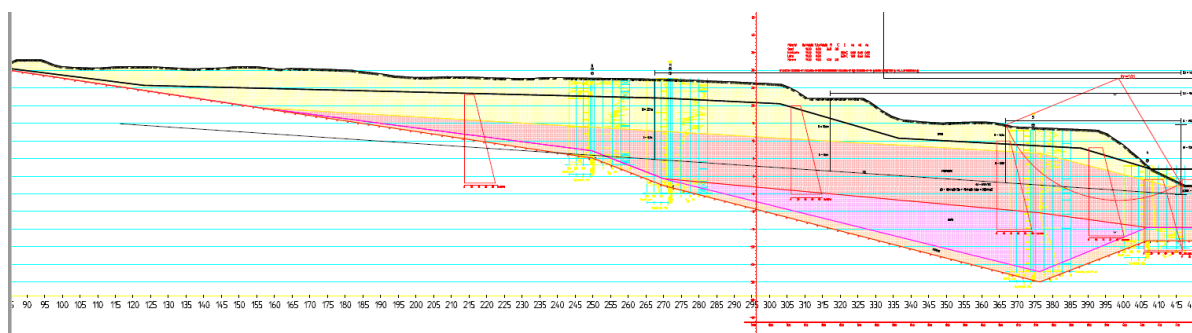
Indikator	Vekttall	Stor L/H	Middels L/H	Lav L/H	Null
		3	2	1	0
b/D ved L1	1	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
b/D ved 2L1 eller 3L1*	2	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
Avstand fra foten av initial skred til kvikkleirelomma	1	$x_1 < L_1$	$x_1 \sim L_1$	$x_1 > L_1$	—
Forhold ved skredporten	2	Stor elv eller dal	Bekkedal/ravine med bredde av samme størrelse som skredporten	Flere hindringer og/eller veldig trang ravine	—
Tidligere skredhendelser	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H \leq 5$	—
$s_u/\gamma \cdot D$	1	$s_u/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq s_u/\gamma \cdot D \leq 0.25$	$s_u/\gamma \cdot D > 0.25$	—
SUM		24			

*Avhengig av type skråning.

Figur 3-1 NIFS rapport R 14-2016 - Figur 2 og Tabell 1 (/4/)

Ved å ta utgangspunkt i et terrengprofil og så fylle inn i tabellen over oppnås en poengsum (minimum 5 og maksimum 24) som så benyttes til vurdering av faresonens utstrekning (L)

Profil B-B:

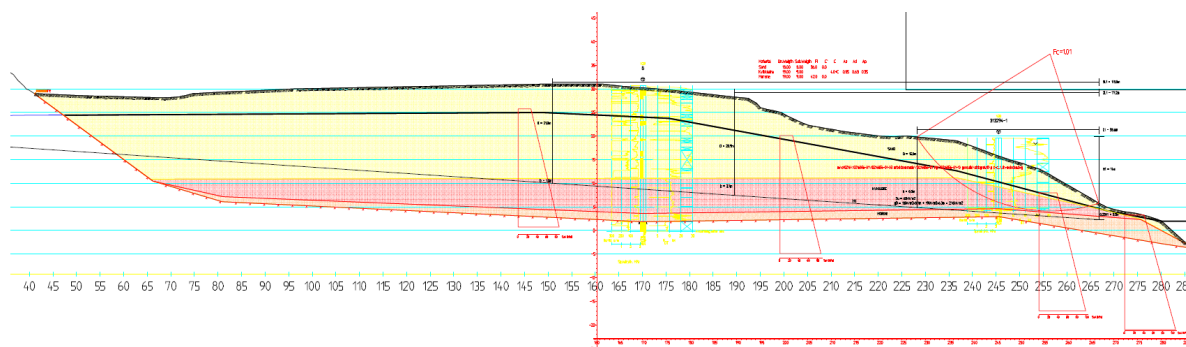


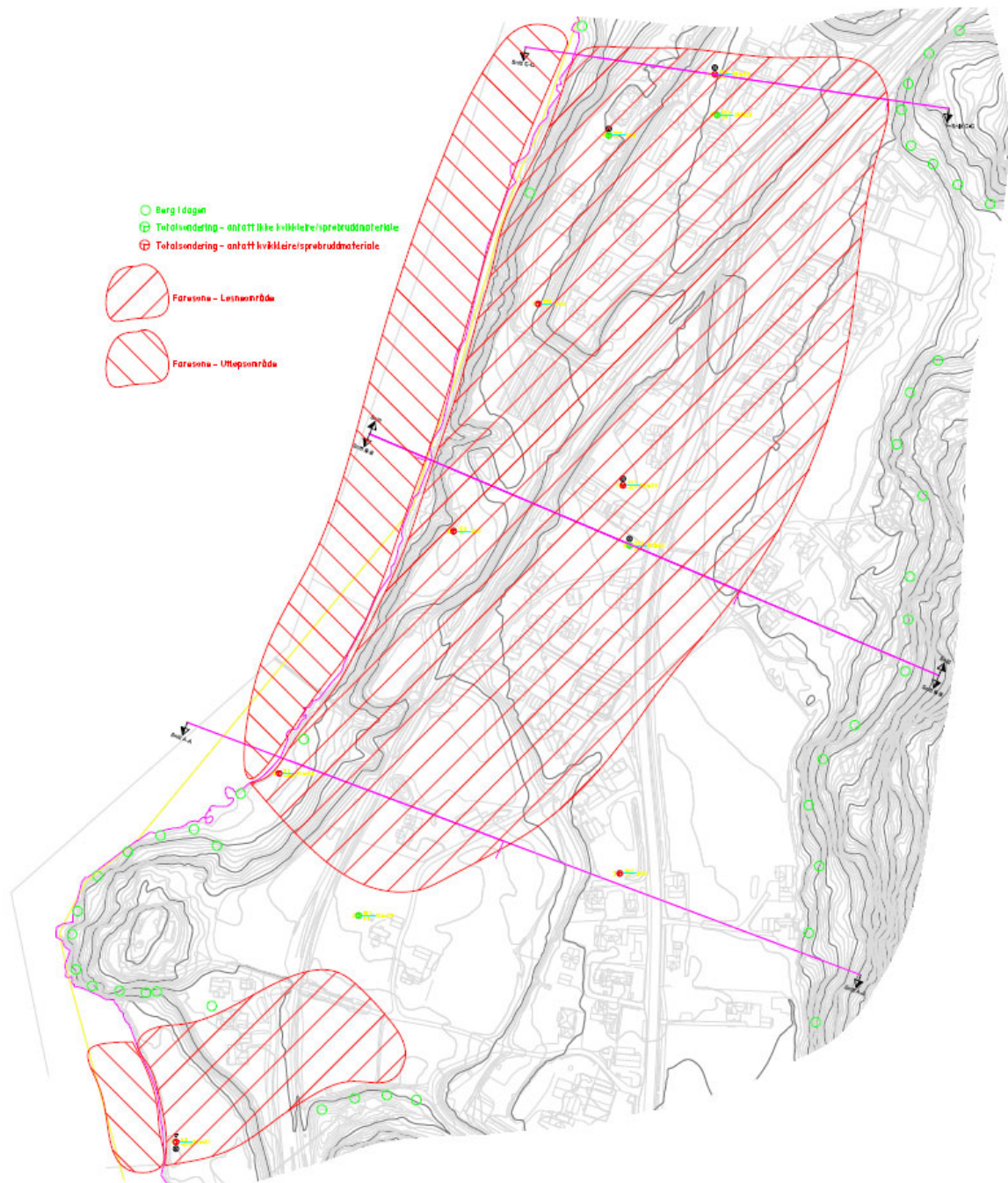
Figur 3-3 L/H-metoden - vurdering av Profil B-B

Tabell 3-2 L/H-metoden - vurdering av Profil B-B

Indikator	Utrechnet	Vekt tall	Stor L/H	Middels L/H	Lav L/H	Null	Subtot
	verdi		3	2	1	0	
b/D ved L1	0,54	1	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0	3
b/D ved 2L1 eller 3L1*	0,36	2	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0	4
Avstand fra foten av initial skred til kvikkleirelomma	$x_1 = 0$ m	1	$x_1 < L_1$	$x_1 \sim L_1$	$x_1 > L_1$	—	3
Forhold ved skredporten		2	Stor elv eller dal	Bekkedal- ravine med bredde av samme størrelse som skredporten	Flere hindring er og/eller veldig trang ravine	—	4
Tidligere skredhendelser	Overflate- glidning	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H \leq 5$	—	2
$s_u/\gamma \cdot D$	0,22	1	$s_u/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq s_u/\gamma \cdot D \leq 0.25$	$s_u/\gamma \cdot D > 0.25$	—	2
	SUM						18

Dvs. $L/H = 15$. Med $H = 17$ m (fot glideflate kote -2 og platå på kote +28) $\Rightarrow L = 450$ m. Men pga. fravær av kvikkleire øst for pkt. ca. $x=155$, så begrenses L til ca. 260 m

Profil C-C:



Figur 3-5 Faresone - skisse

3.2 Faresoneklassifisering

3.2.1 Faregrad

Evalueringen er utført iht. Tabell 3-4 og Tabell 3-5 under:

Tabell 3-4 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	Aktiv/glidning	Noe	Lite	Ingen
Inngrep Forverring	+3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum poeng		51	34	16	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Faresoner er inndelt i tre faregradsklasser iht. /2/.

- 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 3-5):

Tabell 3-5 Faregrad, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Tidl. skredaktivitet	1	1	1	Overflateglidning i brattere del av skråning ned mot Otra (meddelt av nabo)
Skråningshøyde, meter	2	2	4	Total høydeforskjell er generelt lavere enn 30 m
OCR	2	2	4	Antar at lavere deler av skråningen er forkonsolidert til et tidligere terrengnivå ca. kote +16.
Poretrykk	3/-3	0	0	Det antas hydrostatisk fordeling i dybden
Kvikkleiremektighet	2	2	4	Mektighet av kvikkleire/sprøbruddmateriale er sterkt varierende - antar gjennomsnittlig ca. 10 m
Sensitivitet	1	3	3	Sensitiviteten er for enkeltprøver målt opptil $s_t = 428 \text{ v/1}$
Erosjon	3	1	3	Antar litt erosjon
Inngrep	3	0 ¹	0 ¹	Gjelder for dagens situasjon
Poengverdi			19	Gir faregradsklasse «Middels»

Faregradsevalueringen for dagens situasjon gir en poengverdi på 19 og medfører at sonen plasseres i faregradsklasse «Middels», og som omfatter soner med poengverdi fra 18 til 25 poeng (jfr. /2/). På grunnlag av de oppsatte kriteriene vil dermed sonen, relativt sett, ha middels sannsynlighet for at skred skal inntreffe.

Den beregnede poengverdien er 37 % av maksimal poengverdi for hhv. dagens situasjon.

3.2.2 Skadekonsekvens

Evalueringen er utført iht. Tabell 3-6 og Tabell 3-7 under:

Tabell 3-6 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, baneprioritet	2	1 – 2	3 – 4	5	Ingen
Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
Oppdemning/flom	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum poeng		45	30	15	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Faresoner er inndelt i tre skadekonsekvensklasser iht. /2/.

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

En evaluering av faresonen mht. skadekonsekvens gir følgende resultat (Tabell 3-7):

Tabell 3-7 Skadekonsekvens, kartlagte verdier

Faktorer	Vekttall	Score	Produkt	Merknad/vurdering
Boligheter, antall	4	3	12	
Næringsbygg, personer	3	2	6	Joker-butikk
Annen bebyggelse, verdi	1	0	0	Ingen
Vei, ÅDT	2	3	6	ÅDT ca. 10000
Toglinje, baneprioritet	2	2	4	Sørlandsbanen (prioritet 3-4)
Kraftnett	1	1	1	Antar distribusjon

Skadekonsekvensevalueringen for dagens situasjon gir en poengverdi på 33 og medfører at sonen plasseres i skadekonsekvensklasse «meget alvorlig», som omfatter soner med poengverdi fra 23 til 45 poeng (jfr. /2/). 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 73 % av maksimal poengverdi.

3.2.3 Risikoklasse

Risiko er iht. /2/ 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 klasser). 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:

- Faregrad lik 37 % av maksimal poengverdi
- Skadekonsekvens lik 73 % av maksimal poengverdi

Dette gir risiko med tallverdi lik 2701, og dermed Risikoklasse 4.

4 Beskrivelse av formål for faresoneutredning

Det foreligger ingen konkrete reguleringsplaner i området som danner grunnlaget for å foreta faresonekartleggingen, men det forekommer med jevne mellomrom fradelingssaker og byggesaker hovedsakelig knyttet til oppføring av eneboliger, garasjer eller påbygg til eksisterende bebyggelse. Hensikten med faresonekartleggingen er å gi kommunen en oversikt over faren for kvikkleireskred og de generelle stabilitetsforholdene, samt hvilke evt. negative konsekvenser en utbygging kan ha for skredfaren i området, og evt. tiltak som må iverksettes.

5 Områdestabilitet - Stabilitetsberegninger og -vurderinger

5.1 Innledning

Det er foretatt geotekniske beregninger og vurderinger mht. stabiliteten

5.2 Stabilitetsberegninger og -vurderinger

Det er som tidligere nevnt i kap. 5.1 foretatt geotekniske beregninger i 3 beregningsprofiler for å vurdere stabiliteten av området ned mot Otra i vest.

5.2.1 Kritisk snitt

Det er som nevnt over foretatt beregninger i 3 beregningsprofiler A-A, B-B og C-C som anses som kritiske mht. grunnforhold og topografi. Beliggenheten av beregningsprofilene fremgår av Figur 2-4.

Det er også observert berg i dagen i følgende partier i skråningen ned mot og langsmed Otra, som også danner grunnlaget for valget av plasseringen av beregningsprofilene:

- I syd og sydvest (like øst for pkt. nr. 1 samt mellom pkt. nr. 1 og nr. 4).
- I nordvest (mellom pkt. nr. 7 og nr. 9 samt nord for pkt. nr. 9)
- I tillegg er det registrert berg i dagen stort sett langs hele den østre begrensningen av området.

Det kan bemerkes at det er en rekke andre skråninger i området som i utgangspunktet burde undersøkes mht. vurdering av områdestabilitet da skråningene er høyere enn 5 m og brattere enn 1:15:

- Skråningen ved plataet i den indre delen av området i nærheten av sondering nr. 3:

Kommentar:

Denne skråningen, som ligger i den indre delen av beregningsprofil A-A (se Figur 3-2), er her inntil ca. 8 m høy. Sondering nr. 3 viser at laget av antatt leire/kvikkleire ligger dypere enn 20 m under terreng, som er ca. 2,5 x skråningshøyden. Dette er langt dypere enn 1,5 x skråningshøyden som ifølge NVE er kritisk nivå for evt. kvikkleireforekomst av noe utstrekning som vil kunne medføre skredfare. Områdeskred for denne skråningen kan dermed utelukkes.

- Skråning i den søndre delen av området (mellom sondering nr. 1 og 2):

Kommentar:

Det er i sondering nr. 1 (i foten av skråningen) påvist kvikkleire, mens det i sondering 2 (innenfor toppen av skråningen) antas å ikke være kvikkleire. Siden det er relativt stor avstand mellom disse sonderingene (ca. 220 m) og sondering nr. 2 ligger relativt langt unna toppen av skråningen, så kan det inntil videre ikke utelukkes at det er kvikkleire/sprøbruddmateriale grunnen nærmere skråningstoppen. Det er dermed valgt å inkludere denne skråningen som en faresone. Det er imidlertid ikke foretatt stabilitetsberegninger her.

strekker seg østover til ca. Venneslavegen. Faresonens utstrekning som er vurdert basert på den høyere skråningen nærmere elva i Profil B-B strekker seg imidlertid videre øst for Venneslavegen, og omfavner dermed også et potensielt løснеområde i skråningen like nedenfor sonderingene 6 og 11. Dermed er faresonens utstrekning for denne skråningen hensyntatt.

- Brattere partier i skråningen sør for snitt C-C ved boring nr. 7:

Kommentar:

Sondering nr. 7 er utført i foten av en inntil ca. 8 m høy skråning opp til et indre platå. Sonderingen viser at laget av antatt leire/kvikkleire ligger dypere enn ca. 25 m under terreng, som er langt dypere enn 1,5 x skråningshøyden. Det er ikke foretatt noen sonderinger på toppen av platået like ovenfor sondering nr. 7, men sondering nr. 8 som er utført på toppen av platået, men ca. 190 m nordøst for boring nr. 7, viser at laget av antatt leire (antas å ikke være kvikkleire) ligger dypere en ca. 20 m under terreng, som også er dypere enn 1,5 x skråningshøyden. Sondering nr. 10 som er utført på toppen av platået, men ca. 230 m nordøst for boring nr. 7, viser at laget av antatt leire/kvikkleire ligger dypere en ca. 15 m under terreng, som også er dypere enn 1,5 x skråningshøyden. Områdeskred for denne skråningen kan dermed utelukkes. Dette platået ligger imidlertid innenfor et løснеområde som vurderes basert på den høyere skråningen ned mot elva.

5.2.2 Laster

Det er ikke medtatt terrengbelastning, jfr. /2/ i forbindelse med vurdering av områdestabiliteten.

5.2.3 Jordparametere

Tolkning av parametere for grunnen i beregningsprofilene er utført på basis av opptatte 54 mm prøveserier, treaksialforsøk, trykksonderinger og erfaringsdata (/5/). For vurdering av beliggenheten av laggrensene er i tillegg resultatene av utførte totalsonderinger hensyntatt.

Grunnvannstand

Grunnvannstanden ble ikke påtruffet i forbindelse med undersøkelsene til tross for at enkelte prøver ble tatt i relativt stor dybde (inntil 17 m under terreng), men dette kan skyldes at deler av borhullet hadde kollapset. Basert på registrert vanninnhold i opptatt prøvemateriale samt resultatene av nærliggende undersøkelser (der vannstanden ble påtruffet), så er grunnvannstanden imidlertid antatt til ca. 5-6 m dybde under terreng på platået frem mot skråningen ned til Otra, for så å falle slakt ned til vannstanden i Otra.

Det antas økende med hydrostatisk trykkfordeling med dybden.

Rutinedata

Vanninnhold

Konsolideringsforhold

Det er ikke foretatt ødometerforsøk for å avdekke massenes prekonsolideringsforhold. Ved å tolke massenes skjærfasthet basert på resultatene av utførte trykksonderinger, så er massene i de lavere nivåene imidlertid vurdert til å være forkonsoliderte siden udrenert skjærfasthet stedvis er langt høyere enn det man skulle forvente basert på normalkonsoliderte forhold. Det er dermed foretatt Shansep analyser for å vurdere massenes forkonsolideringsforhold for så å beregne en udrenert skjærfasthet s_{uc} som i størst mulig grad samsvarer med skjærfastheten som dels er tolket fra utførte trykksonderinger og dels er målt på uforstyrrede 54 mm sylinderprøver i geoteknisk laboratorium:

$$s_{uc} = \alpha \times OCR^m \times \sigma'_{v0}$$

$$\text{der: } \alpha = 0,3 \quad OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v0} \quad m = 0,7$$

Det er således anslått at massene i de lavereliggende partiene er forkonsolidert for en belastning tilsvarende et tidligere terrengnivå beliggende på ca. kote +16,3. Dette medfører at udrenert skjærfasthet er anslått som følger (antatt en generell tyngdetetthet lik 18 kN/m³):

Ved et generelt terrengnivå kote +4 (gvst. i ca. 2 m dybde):

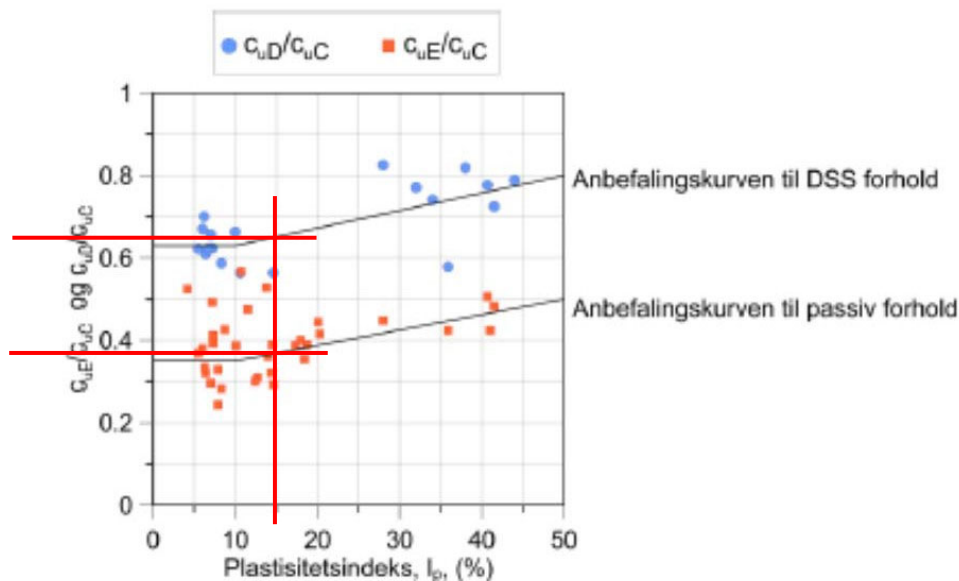
- 5 m dybde: $\sigma'_{v0} = 60 \text{ kN/m}^2$ $\Delta s'_c = 221 \text{ kN/m}^2$ $\sigma'_c = 281 \text{ kN/m}^2$ $OCR = 4,7$
 $\sigma'_{uc} = 53 \text{ kN/m}^2$
- 25 m dybde: $\sigma'_{v0} = 220 \text{ kN/m}^2$ $\Delta s'_c = 221 \text{ kN/m}^2$ $\sigma'_c = 441 \text{ kN/m}^2$ $OCR = 2,0$
 $\sigma'_{uc} = 108 \text{ kN/m}^2$

Ved et generelt terrengnivå kote +13 (gvst. i ca. 5 m dybde):

- 5 m dybde: $\sigma'_{v0} = 90 \text{ kN/m}^2$ $\Delta s'_c = 56 \text{ kN/m}^2$ $\sigma'_c = 146 \text{ kN/m}^2$ $OCR = 1,6$
 $\sigma'_{uc} = 38 \text{ kN/m}^2$
- 30 m dybde: $\sigma'_{v0} = 290 \text{ kN/m}^2$ $\Delta s'_c = 56 \text{ kN/m}^2$ $\sigma'_c = 346 \text{ kN/m}^2$ $OCR = 1,2$
 $\sigma'_{uc} = 99 \text{ kN/m}^2$

$s_{uD} / s_{uA} = 0,63$ (direkte anisotropifaktor)

$s_{uP} / s_{uA} = 0,35$ (passiv anisotropifaktor)



Figur 5-1 Anisotropifaktorer (/6/)

Det er benyttet jordparametere på total- og effektivspenningsbasis slik det fremgår av Tabell 5-1 under:

Tabell 5-1 Jordparametere

Lag	Friksjonsvinkel, ϕ	Attraksjon, a	Udrenert skjærfasthet, s_u
	Karakteristisk		Karakteristisk
Sand	36°	0	-
Kvikkleire Leire	27° 29°	5	s_u -profil
Morene	42°	0	-

5.2.4 Beregningsresultater

Sikkerhetsnivå mot utglidning representeres ved sikkerhetsfaktor F . Krav til sikkerhetsnivå er avhengig av tiltakskategori og faregradsklasse slik det fremgår av NVE sine retningslinjer «Flaum- og skredfare i arealplaner» med tilhørende tekniske veileder (/2/).

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsprogrammet GeoSuite Stability, versjon 15.1.0.0. 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 ($a\phi$). For udrenert analyse er det benyttet karakteristiske aktive skjærfasthetsprofiler (s_{uA} -profiler) uten 15 % reduksjon (jfr. kap. 5.2.3) samt direkte- og passiv anisotropifaktor omtalt i kap. 5.2.3. Reduksjon av den aktive skjærfastheten er foretatt ved å legge inn en aktiv anisotropifaktor lik 0,85 i Geosuite.

Stabilitetsberegningene resulterer i en beregnet sikkerhetsfaktor SF . En sikkerhetsfaktor SF

Der beregnet sikkerhetsfaktor evt. er lavere enn 1,0, så er det for udrenert analyse foretatt en liten justering av jordparametre for å øke beregnet sikkerhetsfaktor til ca. 1,0 (se under med gult).

Resultatene av beregningene fremgår av Tabell 5-2, og er også vist i vedlegg C.

Tabell 5-2 Stabilitetsberegninger og -resultater

Beregningsmetode	Sikkerhetsfaktor, SF	Kommentar
Profil A-A		
Udrenert analyse (s_u) - GF1	1,03	Dagens situasjon. Stor glideflate.
Drenert analyse ($a\phi$) - GF1	1,58	Dagens situasjon. Stor glideflate.
Profil B-B		
Udrenert analyse (s_u) - GF1	1,01	Dagens situasjon. Glideflate i relativt bratt terreng ned mot Otra. Udrenert skjærfasthet økt med 5 kPa.
Drenert analyse ($a\phi$) - GF1	0,98	Dagens situasjon. Glideflate i relativt bratt terreng ned mot Otra. Det er ikke foretatt en justering av jordparametre.
Profil C-C		
Udrenert analyse (s_u) - GF1	1,01	Dagens situasjon. Glideflate i relativt bratt terreng ned mot Otra. Udrenert skjærfasthet økt med 4 kPa.
Drenert analyse ($a\phi$) - GF1	1,11	Dagens situasjon. Liten glideflate i foten av en relativt bratt skråningen ned mot Otra

Som det fremgår av Tabell 5-2 så er beregnet sikkerhetsfaktor SF hovedsakelig i området 1,0 - 1,1, og dermed langt lavere enn 1,4 for samtlige beregninger, med unntak av drenert analyse i profil A-A.

5.3 Konsekvenser for fremtidige tiltak

Som nevnt i kap. 5.2.4 er beregningsmessig sikkerhetsfaktor SF i området 1,0 - 1,1, som tilsier at faresonens stabilitet ned mot Otra må anses for å være relativt dårlig.

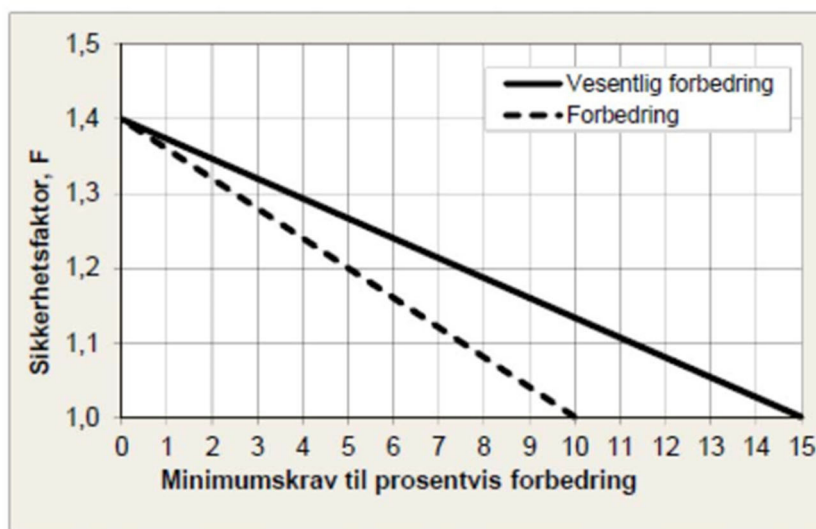
Det er som tidligere nevnt ikke noen konkrete reguleringsplaner som danner grunnlaget for faresoneutredningen, og utredningen er tenkt som underlag i den kommunale saksbehandlingen og generelle arealplanleggingen.

Krav til sikkerhet mht. områdestabilitet avhenger av tiltakskategori (K0 - K4, jfr. ref. /2/) og faresonens faregrad («Lav», «Middels» eller «Høy»), som for Kvarstein er vurdert til «Middels» faregrad (kap. 3.2.1).

Under arbeidet med vurderingen av områdestabiliteten på Kvarstein er veileder 7/2014 blitt oppdatert - NVE veileder 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred; Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kv

Dersom tiltaket forverrer stabiliteten må det gjøres videre vurderinger avhengig av tiltakskategori.

2. For tiltak i kategoriene K3 eller K4 der stabiliteten forverres skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$, der f_s er sprøhetsforholdet som korregerer for sprøbruddeffekt 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 iht. Figur 5-2. Det bemerkes at forbedring av områdestabiliteten kun kan utføres ved å foreta topografiske endringer (for eksempel ved å avlaste toppen skråning og/eller foreta stabiliserende motfylling i foten) eller ved å masseutskifte med lette masser i toppen av skråningen. For ytterligere detaljer henvises det til NVE teknisk veileder 1/2019 (/3/).



Figur 5-2 Krav til %-vis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser (/2/)

NB:

Det påpekes at kravene til lokalstabilitet iht. Eurokode 7 også må overholdes

- Supplerende prøvetaking ved utførte totalsonderinger og tilhørende undersøkelser i geoteknisk laboratorium. Det kan bli nødvendig med spesialforsøk mht. analyse av:
 - Forkonsolideringsnivå (ødometerforsøk)
 - Skjærfasthet (treaksialforsøk)
- Beliggenhet av grunnvannstand vha. nedsetting av elektriske piezometere evt. i kombinasjon med hydrauliske poretrykksmålere.
- Befaring langs elvebredden for å mer detaljert kartlegge erosjonsforholdene samt evt. supplerende bergblotninger. Som følge av bratte skråninger ned mot elvebredden samt tett vegetasjon bør en slik befarings foretas fra båt.

Når disse undersøkelsene er utført og rapportert, så kan det foretas en revidering av faresonekartleggingen, spesielt mht. utstrekning, og supplerende stabilitetsberegninger for å mer nøyaktig kartlegge stabilitetsforholdene med tilhørende behov for stabiliserende tiltak.

Inntil slike undersøkelser utføres anbefales det å legge til grunn foreliggende faresonekartlegging, som dermed anses for å være en noe konservativ tilnærming basert på resultatene av undersøkelsene utført så langt siden det er antatt et relativt omfattende lag av kvikkleire/sprøbrudmateriale i grunnen.

Det bemerkes at områdestabiliteten til enkelte lokale skråninger lengre inn på Kvarsteins-platået kan vurderes utelukke (som følge av terreng- og grunnforhold), evt. at de medfører en mindre omfattende utstrekning av løснеområdet («Faresone») sammenlignet med vurderingene knyttet til de brattere og høyere skråningene langs elvebredden.

Tegninger

10216856-01 Borplan

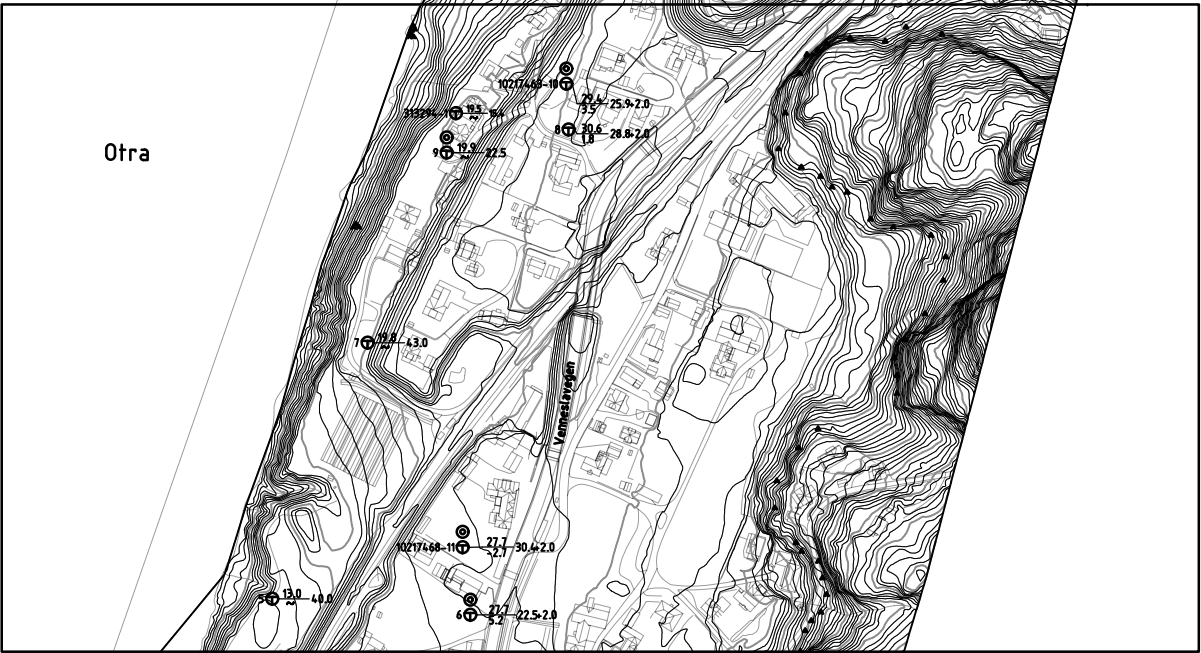
Vedlegg

- A LH-metoden - Profil A-A, B-B og C-C
- B Skisse - Faresone
- C Resultat av stabilitetsberegninger

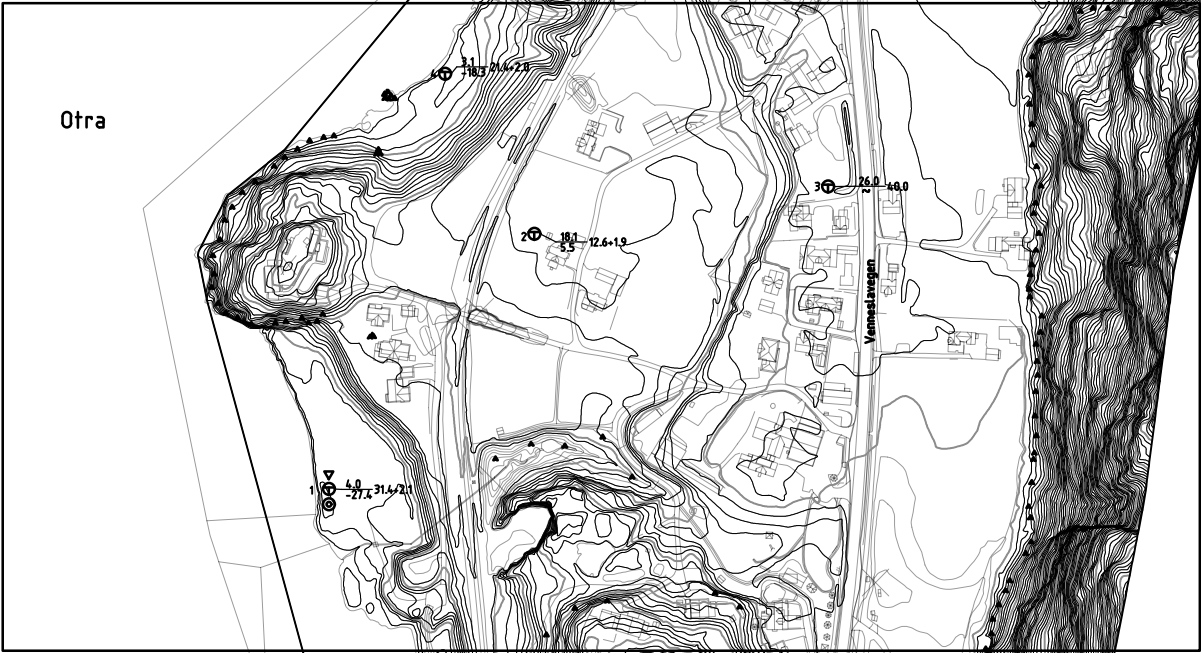
Referanser

- /1/ Multiconsult; Geoteknisk rapport 10216856-RIG-RAP-001 vedr. «Områdestabilitet Kvarsteinsområdet, Vennesla; Geotekniske grunnundersøkelser; Datarapport», datert 16.02.17
- /2/ Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE); Retningslinjer nr. 2/2011 «*Flaum- og skredfare i arealplanar*» og tilhørende tekniske veileder 7/2014 «*Sikkerhet mot kvikkleireskred; Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*»
- /3/ Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE); tekniske veileder 1/2019 «*Sikkerhet mot kvikkleireskred; Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*» (oppdatert versjon av veileder 7/2014)
- /4

BORPLAN 2



BORPLAN 1



SYMBOLER

- Dreiesondering

○ Enkel sondering

▽ Trykksondering
- ✱ Bergkontrollboring

◆ Dreietrykksondering

⊕ Totalsondering
- ⊙ Prøveserie (PR)/ Naver (SK)

□ Prøvegrop

+ Vinge-boring
- ⊖ Poretrykksmåling

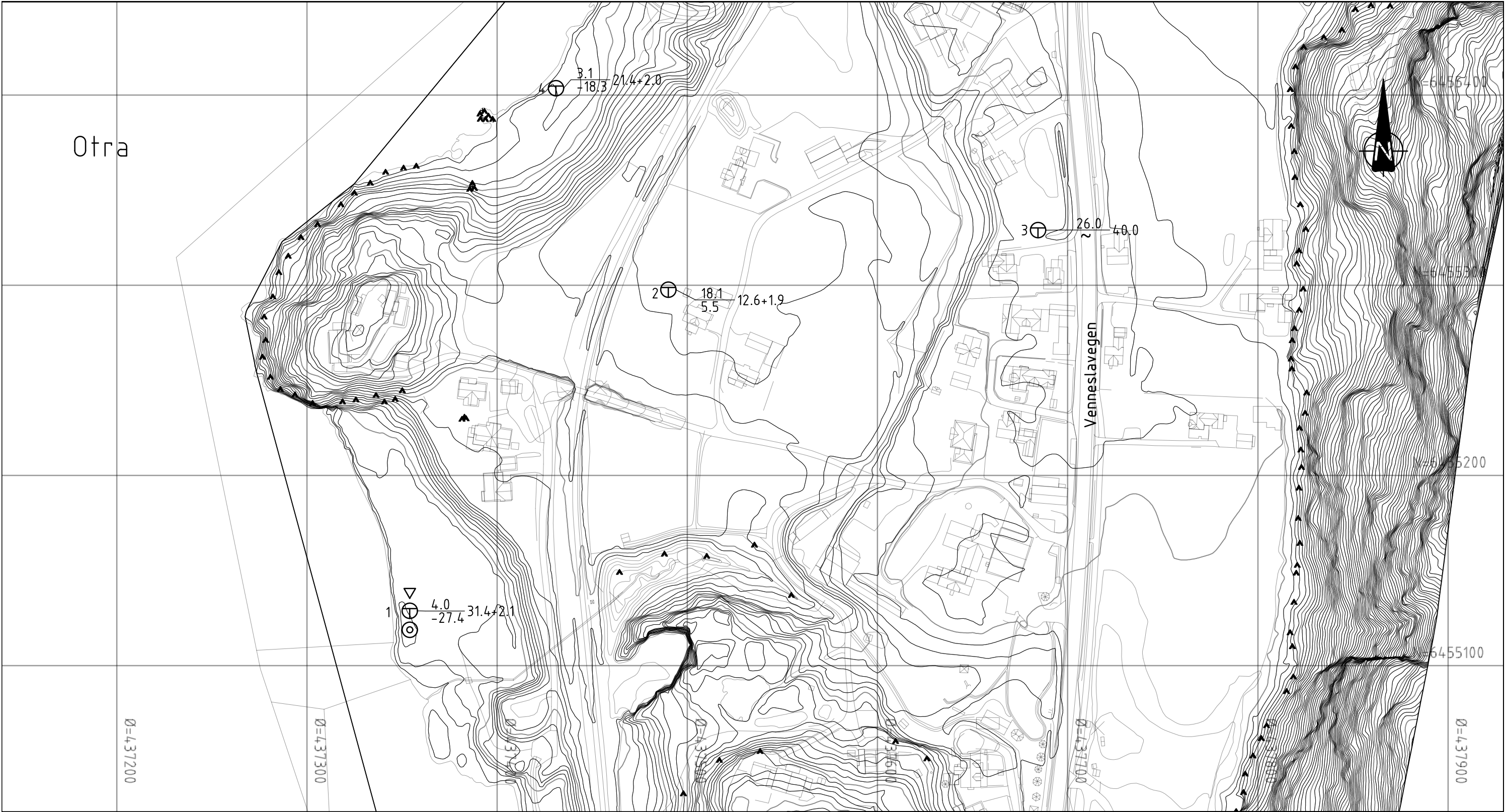
▲ Berg i dagen

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

Borboknr. : Digital

Kartgrunnlag : Fra oppdragsgiver

00	UTARBEIDET BORPLAN		13.03.2020	MIO	RENM	MIO
Rev.	Beskrivelse	Endr.liste	Dato	Tegn.	Kontr.	Godk.j.
VENNESLA KOMMUNE			Original format A3	Fag GEO		
OMRÅDESTABILITET KVARSTEINSOMRÅDET			Status TIL DATARAPPORT			
GEOTEKNISKE GRUNNUNDERSØKELSER			Målestokk 1:5000			
BORPLAN, OVERSIKT						
Multiconsult www.multiconsult.no		Dato 13.03.2020	Konstr./Tegnet MIO	Kontrollert RENM	Godkjent MIO	
		Oppdragsnr. 10216856	Tegningsnr. RIG-TEG-001	Rev.	00	



SYMBOLER

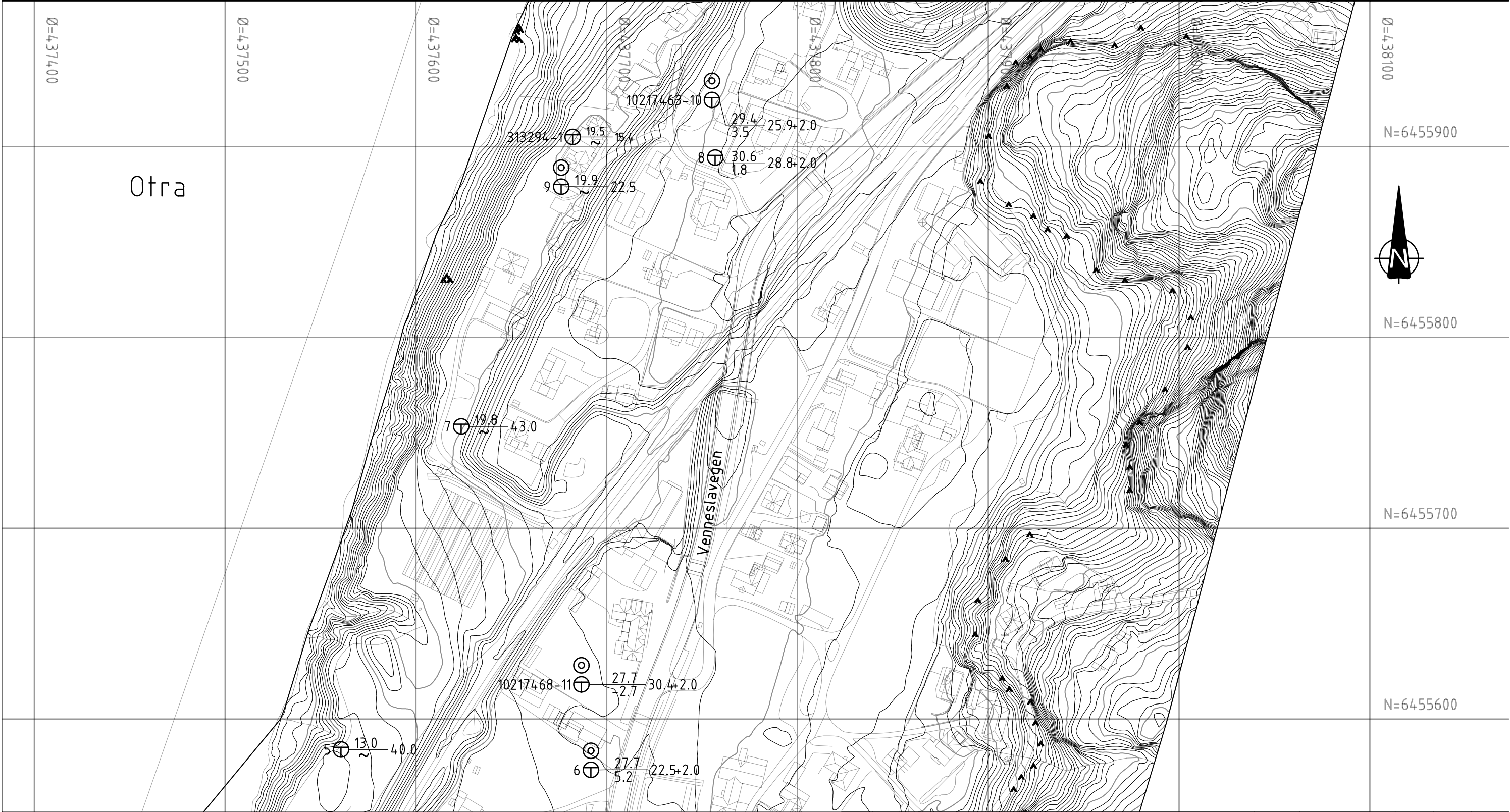
- Dreiesondering ✱ Bergkontrollboring ⊙ Prøveserie (PR)/ Naver (SK) ⊖ Poretrykksmåling
○ Enkel sondering ◆ Dreietrykksondering □ Prøvegrop ▲ Berg i dagen
▽ Trykksondering ⊕ Totalsondering + Vinge-boring

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

Borboknr. : Digital

Kartgrunnlag : Fra oppdragsgiver

00	UTARBEIDET BORPLAN		13.03.2020	MIO	RENM	MIO
Rev.	Beskrivelse	Endr.liste	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
VENNESLA KOMMUNE			Original format A3	Fag GEO		
OMRÅDESTABILITET KVARSTEINSOMRÅDET			Status TIL DATARAPPORT			
GEOTEKNISKE GRUNNUNDERSØKELSER BORPLAN 1			Målestokk 1:2000			
Multiconsult www.multiconsult.no		Dato 13.03.2020	Konstr./Tegnet MIO	Kontrollert RENM	Godkjent MIO	
		Oppdragsnr. 10216856	Tegningsnr. RIG-TEG-002	Rev. 00		



SYMBOLER

- Dreiesondering

○ Enkel sondering

▽ Trykksondering
- ✱ Bergkontrollboring

◆ Dreietrykksondering

⊕ Totalsondering
- ⊙ Prøveserie (PR)/ Naver (SK)

□ Prøvegrop

+ Vinge-boring
- ⊖ Poretrykksmåling

▲ Berg i dagen

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

Borboknr. : Digital

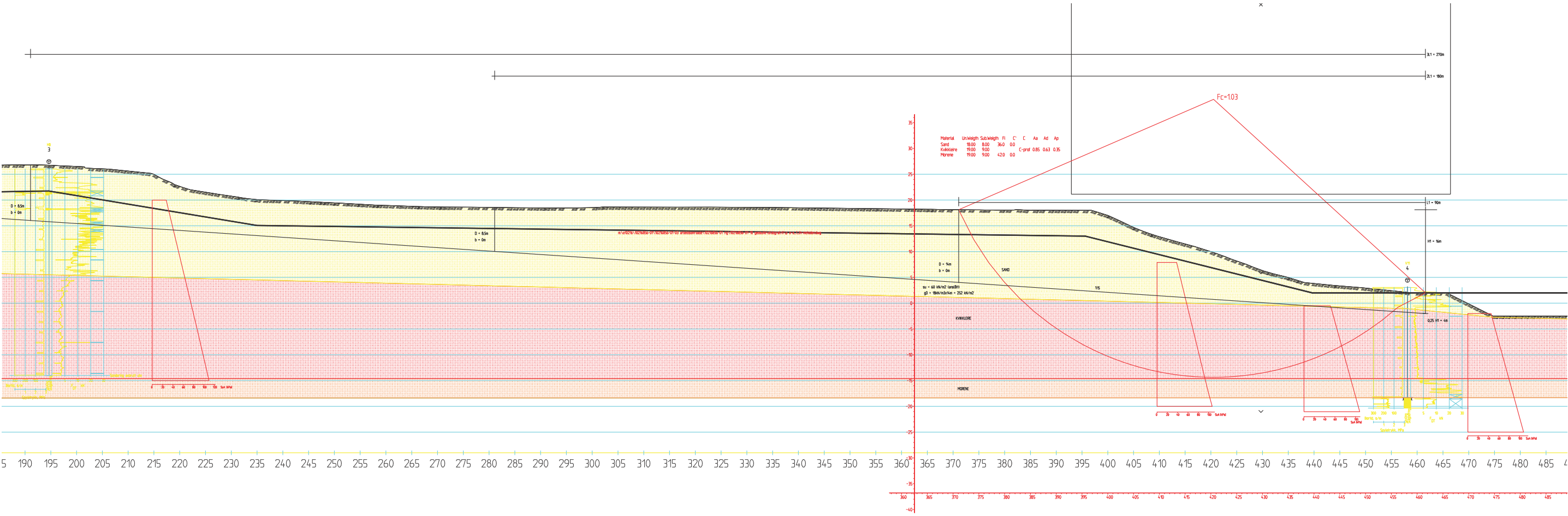
Kartgrunnlag : Fra oppdragsgiver

00	UTARBEIDET BORPLAN		13.03.2020	MIO	RENM	MIO
Rev.	Beskrivelse	Endr.liste	Dato	Tegn.	Kontr.	Godk.j.
VENNESLA KOMMUNE OMRÅDESTABILITET KVARSTEINSOMRÅDET			Original format A3	Fag GEO		
			Status TIL DATARAPPORT			
GEOTEKNISKE GRUNNUNDERSØKELSER BORPLAN 2			Målestokk 1:2000			
Multiconsult www.multiconsult.no		Dato 13.03.2020	Konstr./Tegnet MIO	Kontrollert RENM	Godkjent MIO	
		Oppdragsnr. 10216856	Tegningsnr. RIG-TEG-003	Rev. 00		

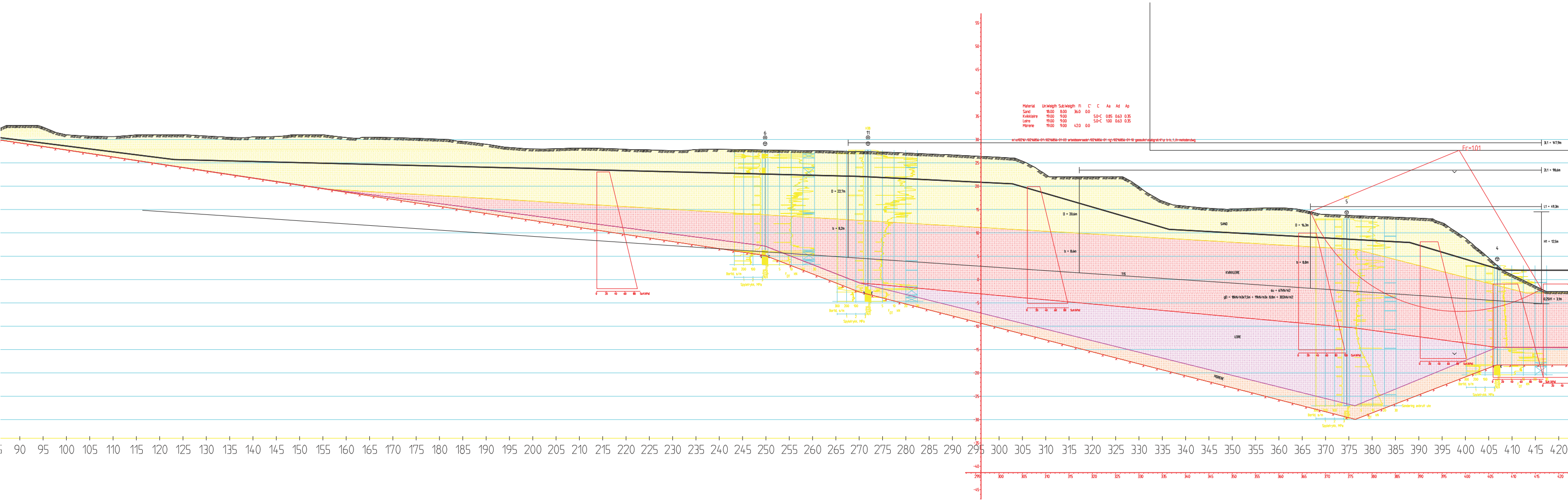
VEDLEGG A

LH-metoden - Profil A-A, B-B og C-C

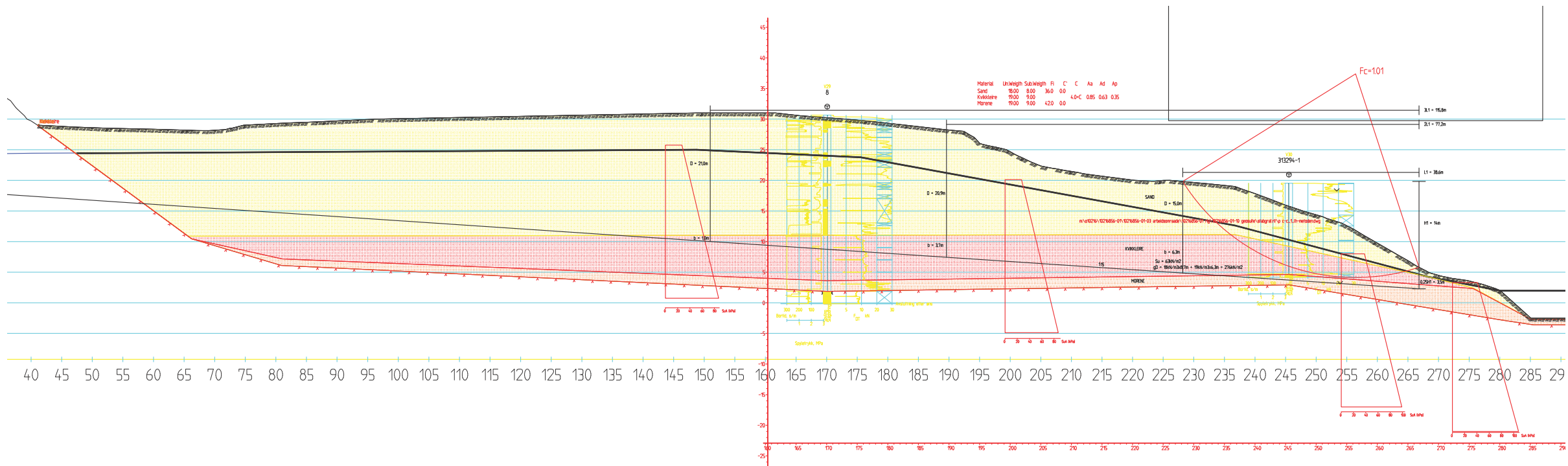
Profil A-A



Profil B-B



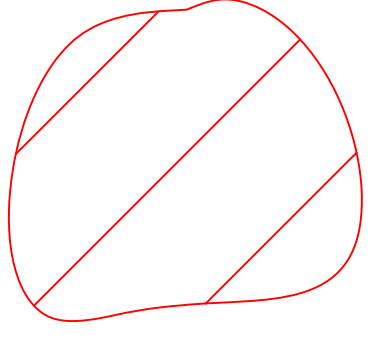
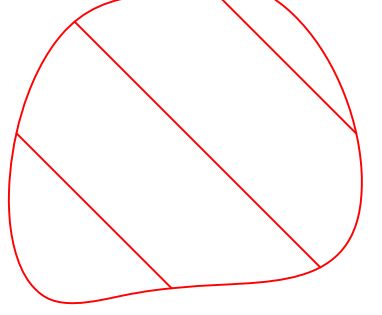
Profil C-C

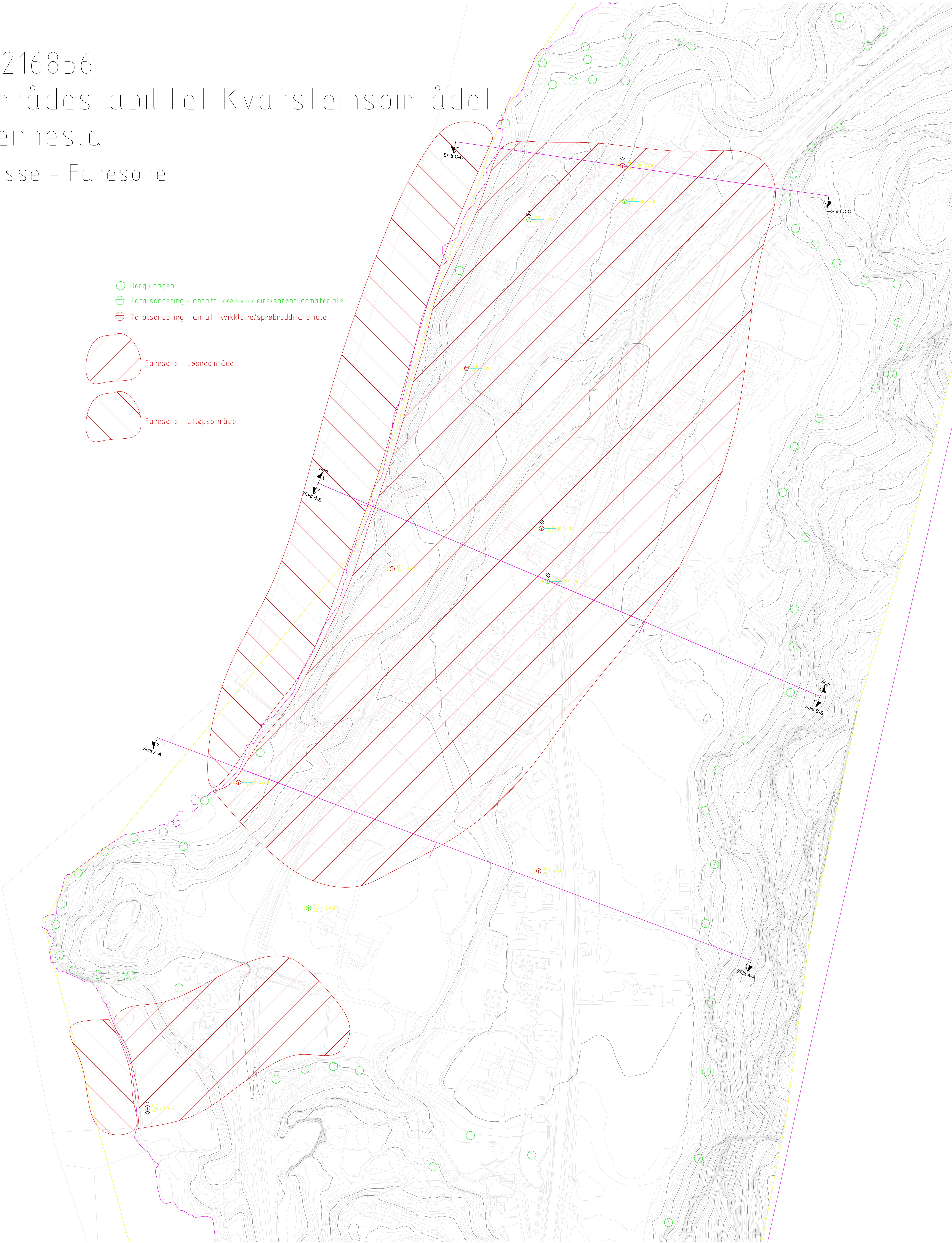


VEDLEGG B

Skisse - Faresone

10216856
Områdestabilitet Kvarsteinsområdet
Vennesla
Skisse - Faresone

-  Berg i dagen
-  Totalsondering - antatt ikke kvikkleire/sprøbruddmateriale
-  Totalsondering - antatt kvikkleire/sprøbruddmateriale
-  Faresone - Løsneområde
-  Faresone - Utløpsområde

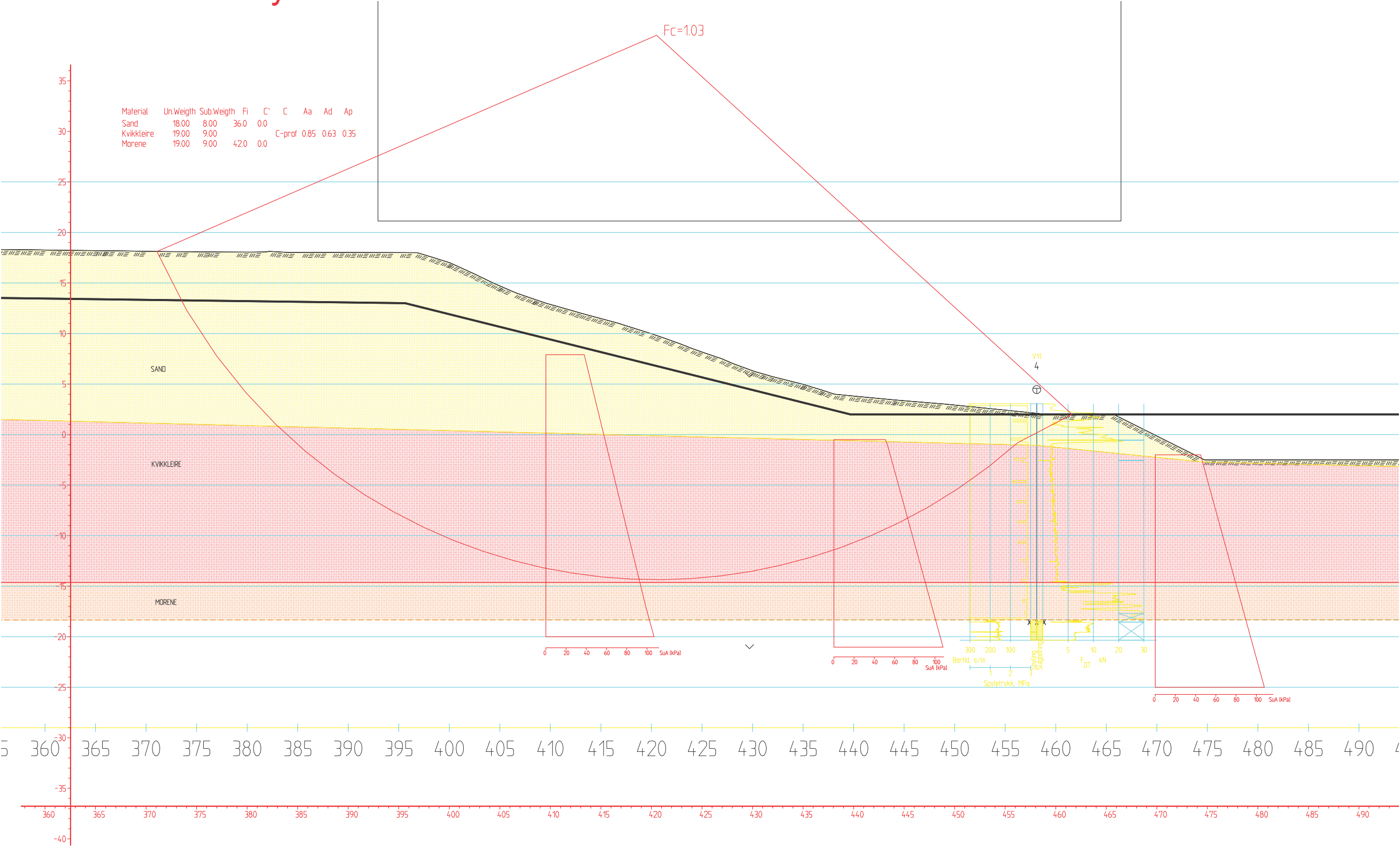


VEDLEGG C

Resultat av stabilitetsberegninger

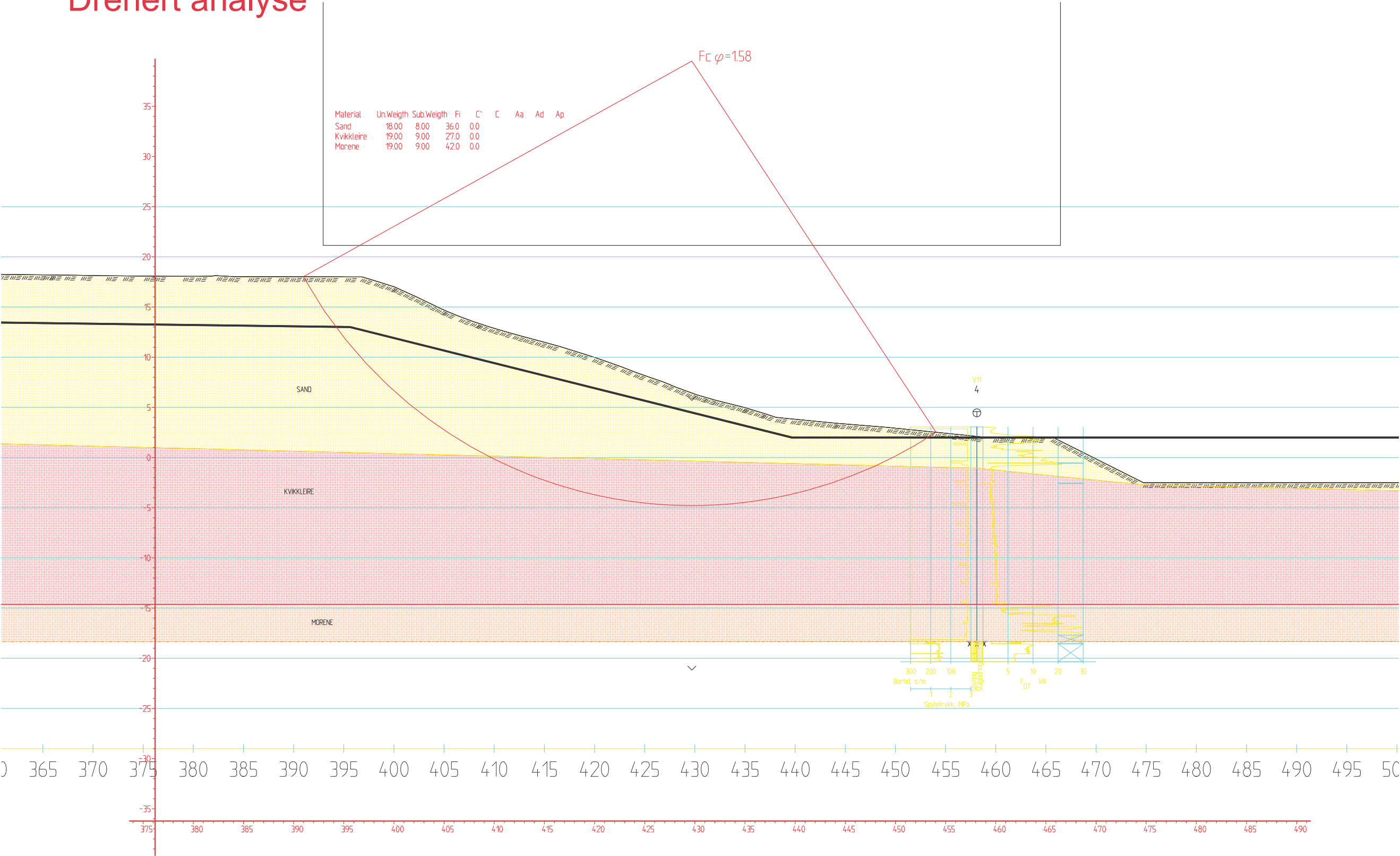
Profil A-A

Udrenert analyse



Profil A-A

Drenert analyse

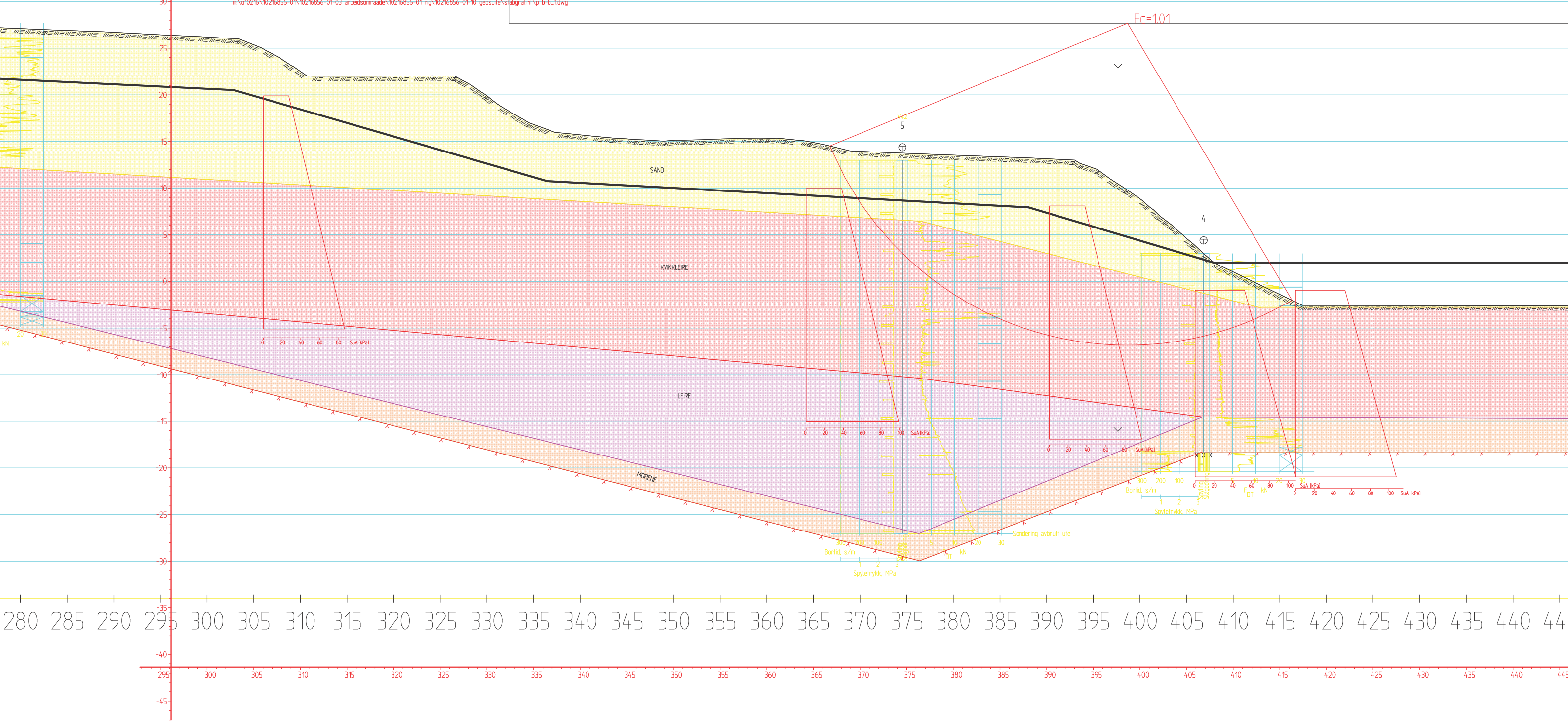


Profil B-B

Udrenert analyse

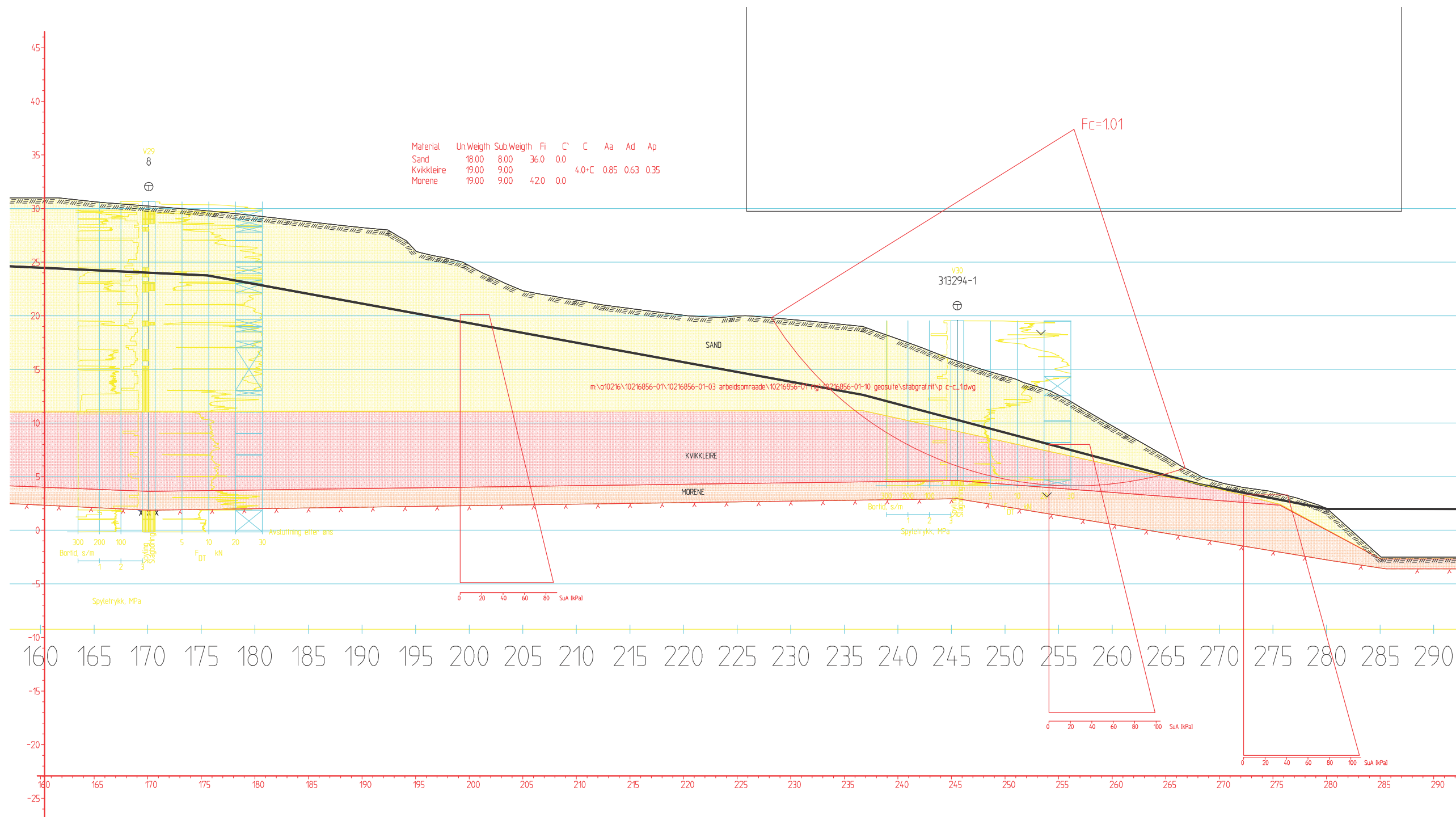
Material	Un.Weight	Sub.Weight	Fi	C	C	Aa	Ad	Ap
Sand	18.00	8.00	36.0	0.0				
Kvikkleire	19.00	9.00		5.0+C	0.85	0.63	0.35	
Leire	19.00	9.00		5.0+C	1.00	0.63	0.35	
Morene	19.00	9.00	42.0	0.0				

m:\0216\10216856-01\10216856-01-03 arbeidsomraade\10216856-01 rig\10216856-01-10 geosuite\stabigraf\nt\p-b-b.dwg



Profil C-C

Udrenert analyse



Profil C-C

Drenert analyse

