

# E39 Rogfast. Utfylling i sjø Kvitsøy nord, Krossøy. Geoteknisk vurdering

## Sammendrag/konklusjon

Denne rapporten omfatter fylling i sjø utenfor Krossøy, også omtalt som Kvitsøy nord.

Beregningene viser at fyllingen må legges ut ved en kombinasjon av lekter og tipp. For å opprettholde tilfredsstillende stabilitet i anleggsfasen og i endelig fase må fyllingen utenfor Krossøy legges ut lagvis, med tid for utjevning av poreovertrykk, fra lekter til kote -10. Det er nødvendig å legge fyllingen med helning 1:2 eller slakere. Deretter anlegges det lagvis et ca. 60 meter bredt (bunnbredde på kote -10) «belte» fra lekter i ytre del av fyllingen opptil kote -4. Det fylles så videre fra tipp over dette beltet opp til kote +3. Fronthelningen på fyllingen skal til enhver tid ikke ha brattere helning enn 1:2. Det kan bli behov for utslaking av fyllingskråninger dersom disse blir brattere enn forutsatt underveis. Dette kan utføres med gravemaskin med lang arm eller med lekter der gravemaskin ikke er egnet.

Der hvor berget stikker opp ved Nordre Hestholmen og Hellesøy, kan helning på fyllingen anlegges med 1:1,5 i en endelig fase.

Utfyllingsarbeidene utføres lagvis, fra laveste nivå i utfyllingsområdet. Lagtykkelsen tilpasses aktuelt lekterutstyr, men bør være i størrelsesorden 2-3 m

Det forutsettes at utfyllingsarbeidene følges opp nøye med gjentatte mengde- og nivåkontroller, for eksempel scanning for kontroll av at hvert lag er etablert som forutsatt før utleggingen av neste lag igangsettes.

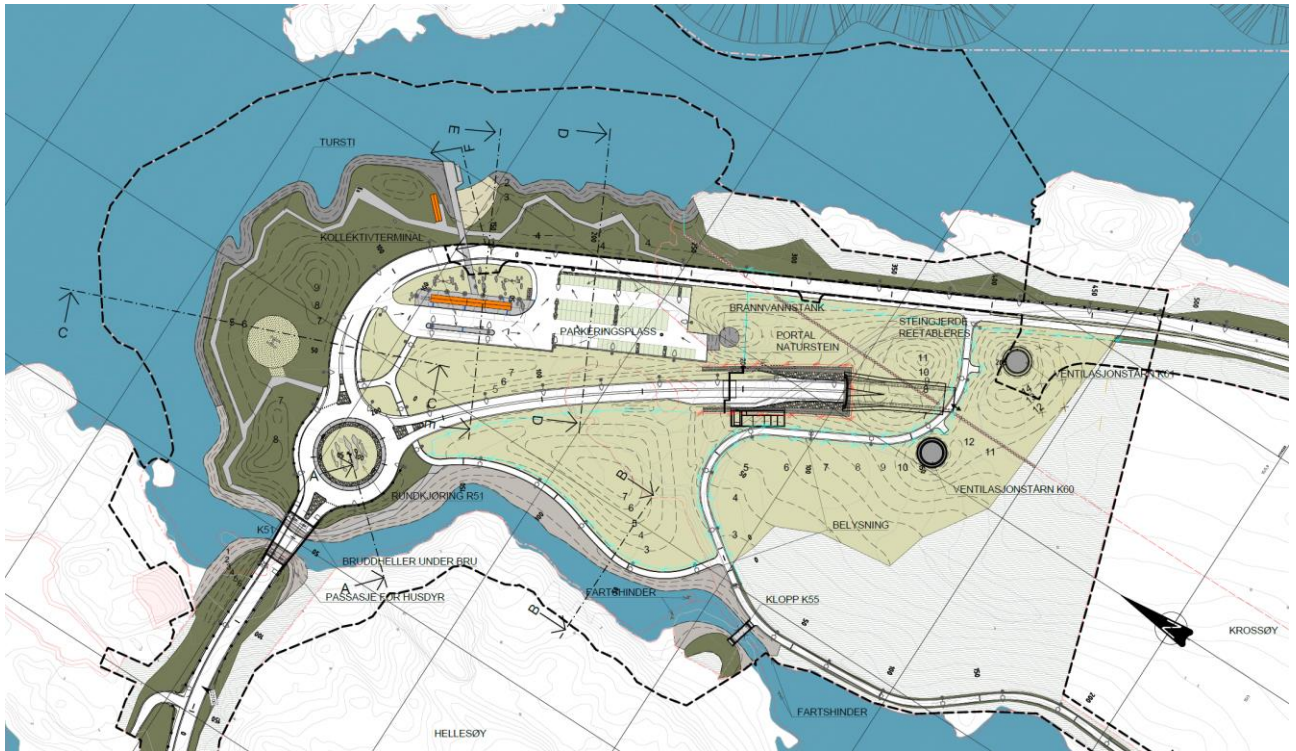
00A	2018-05-14	Konkurransesgrunnlag	OMTro	SHY	BjKle
<b>Versjon</b>	<b>Dato</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Utarbeidet</b>	<b>Fagkontrollert</b>	<b>Godkjent</b>

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

## 1 Innledning

Denne rapporten omfatter geotekniske vurderinger ved fylling i sjø utenfor Krossøy, også omtalt som Kvitsøy nord.

Utsnitt av illustrasjonsplan for området er vist på figur 1.



Figur 1 Utsnitt av illustrasjonsplan, utforming av utfylling Krossøy tegning nr. 02-001-500, utarbeidet av Norconsult, Konkurransgrunnlag 2018-02-09.

## 2 Geoteknisk prosjektering – forutsetninger og sikkerhetskrav

### 2.1 Regelverk

Gjeldende regelverk legges til grunn for prosjekteringen. For geoteknisk prosjektering gjelder

- Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging (2010)
- Håndbok V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger (2012)
- Eurokode 0
- Eurokode 7

Det vises også til Dimensjoneringsforutsetninger utarbeidet for byggeplan, dokumentnummer Felles-001.

### 2.2 Geoteknisk kategori og pålitelighetsklasse/konsekvensklasse

Fylling i sjøen er klassifisert som følger

- Geoteknisk kategori 2.
- Pålitelighets- og konsekvensklasse (RC/CC): 2

Det vises til V220 figur 0.1 og kapittel 0.6. Dette omfatter både anlegg –og permanent fase.

### 2.3 Kontroll

Konsekvensklasse 2 krever normal kontroll, figur 0.8 i håndbok V220.

### 2.4 Krav til partialfaktor

#### 2.4.1 Jordparametre

Et eventuelt brudd i fyllingen vurderes å kunne karakteriseres som seigt, dilatant brudd. Der det er lokalisert leire på sjøbunn karakteriseres et evt brudd som et nøytralt brudd.

Krav til partialfaktor blir dermed iht. figur 0.3 i håndbok V220 vist i tabellen under:

Tabell 1 Partialfaktor for jordparametre avh. av bruddmekanisme og konsekvensklasse fra håndbok V220.

Konsekvensklasse	Bruddmekanisme		
	Seigt, dilatant brudd	Nøytralt brudd	Sprøtt, kontraktant brudd
CC1 Mindre alvorlig	1,25 / 1,4 *	1,3 / 1,4 *	1,4
CC2 Alvorlig	1,3 / 1,4 *	1,4	1,5
CC3 Meget alvorlig	1,4	1,5	1,6

\* NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 krever at  $\gamma_M \geq 1,4$  ved totalspenningsanalyser

## 2.5 Lastforutsetninger

### 2.5.1 Trafikk og terenglaster

For stabilitetsberegninger regnes det med en trafikklast på 10 kPa på hele fyllingen i både anleggsfasen og permanent fase.

Laster for permanent fase vil stedvis være høyere enn dette. Disse lastene er ikke sjekket spesielt for men er hensyntatt ved lasten gitt over.

### 2.5.2 Jordskjelv

Dette er ikke vurdert.

### 2.5.3 Sjøvannstand og poretrykk.

Laveste lavvann i Stavanger er benyttet som ytre vannstand ved stabilitetsberegningene, kote -0,85. Poretrykk er regnet hydrostatisk.

Det er ikke utført beregninger med poretrykksoppbygging da dette anses som lite sannsynlig med grunnforholdene som er påvist i området. Trykksonderingene indikere et leirlag mellom 1-3 meters tykkelse i dyprenna mellom Hellesøy og Skarstein/Nordre Hestholmen. Trykksonderingene indikerer også at leirlaget er meget lagdelt, med drenerende lag som drenerer ut en evt. poretrykksoppbygging raskt. Utfyllingen vil uavhengig av fyllingsmetode, pågå over lang tid slik at eventuelle økte poretrykk under oppfylling vil dreneres ut før ferdig fyllingshøyde er oppnådd.

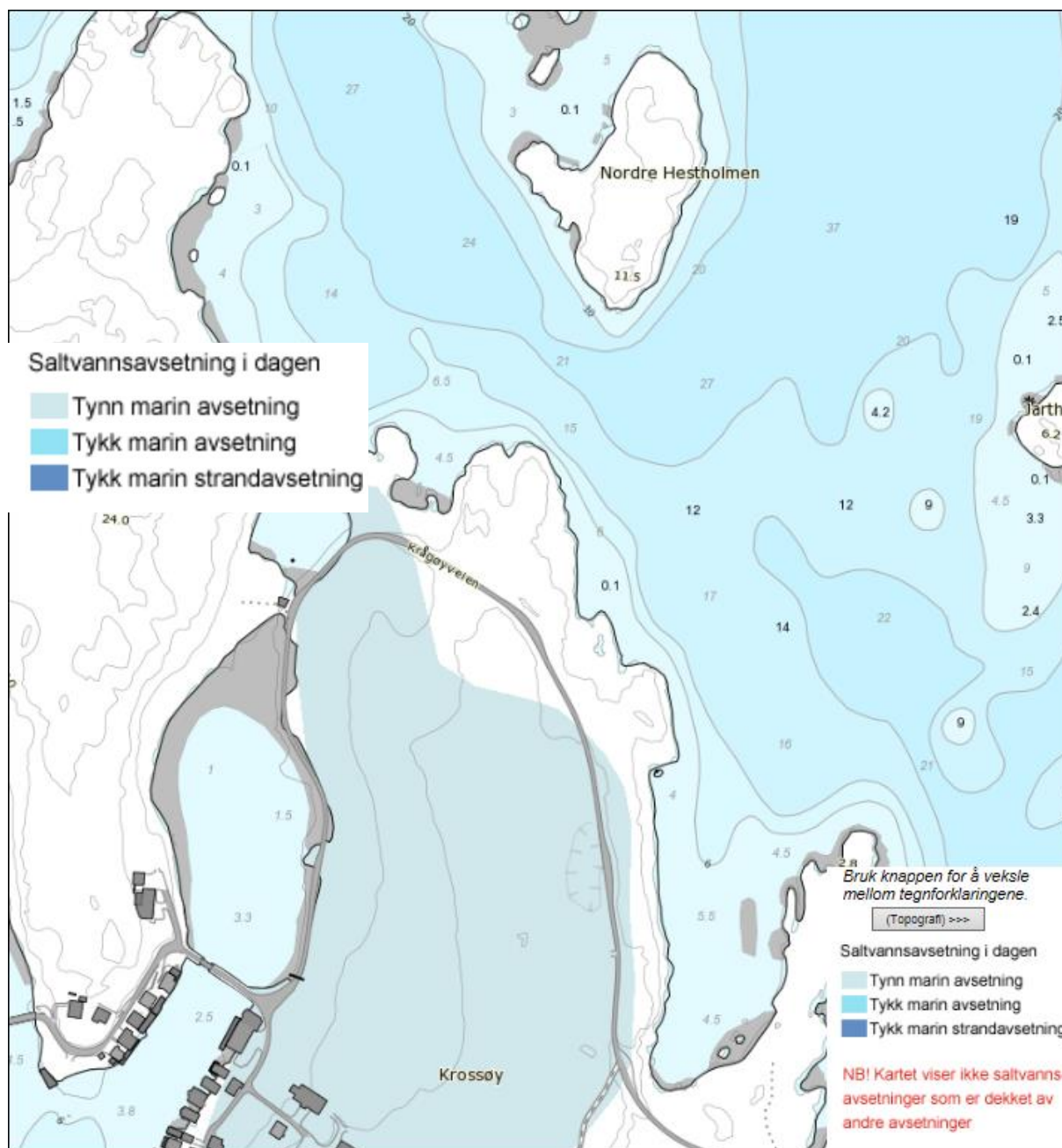
### 3 Grunnundersøkelser og grunnforhold

Multiconsult og Statens vegvesen har utført grunnundersøkelser i sjøen, det vises til geoteknisk datarapport 215943-3; E39 Rogfast. Massedeponi Kvitsøy 2011032186-006, datert 28. august 2012.

Norconsult utførte supplerende grunnundersøkelser i sjøen sommeren 2015. Det henvises til geoteknisk datarapport NO-049-GEO, E39 ROGFAST.

Beskrivelse av grunnforhold er fra Multiconsults rapport 215943-3.

Løsmassekart som viser saltvannsavsetninger er vist i figuren under.



Generelt refereres det til rapport nr. 215943-3 av 28.august 2012 for detaljert beskrivelse av grunnforholdene i området. Sammendraget i rapporten sier følgende, kfr. også utsnitt av borplanen (figur 3). Supplerende grunnundersøkelser utført av Norconsult samsvarer med funnene fra Multiconsult og Statens vegvesen. Borplan med supplerende grunnundersøkelser er vedlagt denne rapporten.

### 3.1 Området mellom Hellesøy og Skarstein

*Område I (Profiler A-J) - mellom Hellesøy og Skarstein*

*Antatt fjell er påtruffet i alle borpunktene, på fra kote minus 6.7 (i punkt nr. 41 i profilene E/F) til kote minus 43.0 (i punkt nr. 15 i profilene C/G), under inntil 16.1 m løsmasser. Løsmassene består av et øvre, løst til middels fast lag med tykkelse inntil 8-10 m. Prøvetakingene i punktene nr. 2 og 11 viser at dette laget består av skjellsand/knuste skjellmasser. Derunder er det sentralt i området registrert et inntil 3 m tykt lag av løse/bløte masser. Trykksonderinger indikerer at disse massene består av leire. Videre ned til antatt fjell er det påtruffet relativt fast lagrede masser av antatt morene.*

### 3.2 Området mellom Hellesøy og Nordre Hestholmen

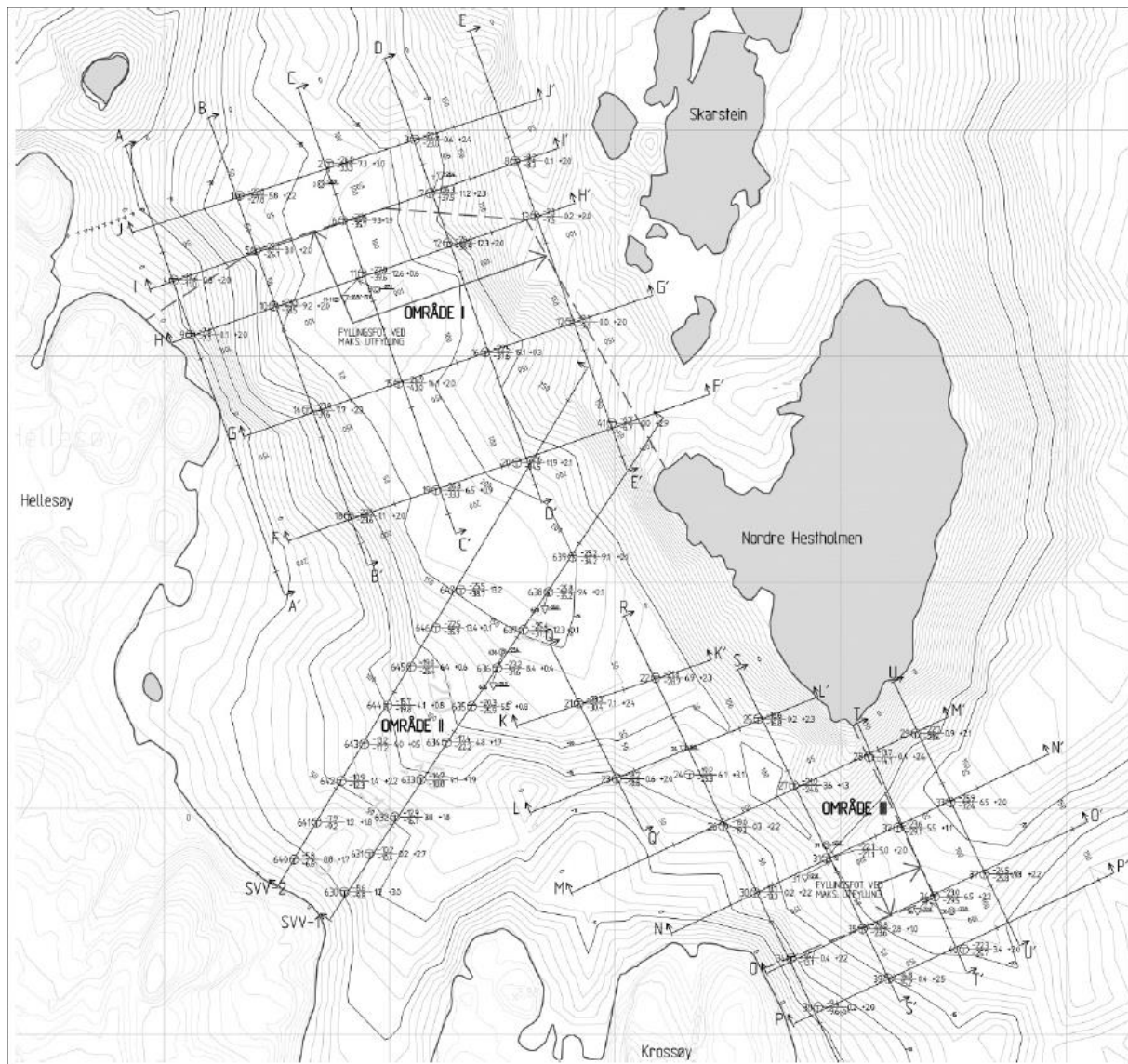
*Område II (Profiler SVV-1 og SVV-2) - mellom Hellesøy og Nordre Hestholmen*

*Antatt fjell er påtruffet i alle borpunktene, på fra kote minus 6.6 (i punkt nr. 640) til kote minus 38.7 (i punkt nr. 647), under inntil 13.4 m løsmasser. Løsmassene består av et øvre, løst til middels fast lag med tykkelse inntil 7-8 m, mektigst sentralt i området. Prøvetakingen i punkt nr. 636 viser at dette laget består av skjellsand/knuste skjellmasser. I den sentrale delen av området er det derunder påtruffet løse/bløte masser ned til inntil 13 m dybde. Trykksonderingen i punkt nr. 638 indikerer at disse massene består av normalkonsolidert, bløt til middels fast leire. Under disse massene og for øvrig i området er det videre ned til antatt fjell påtruffet relativt fast lagrede masser av antatt morene.*

### 3.3 Området mellom Krossøy og Nordre Hestholmen

*Område III (Profiler K-U) - mellom Krossøy og Nordre Hestholmen*

*Antatt fjell er påtruffet i alle borpunktene, på fra kote minus 9.6 (i punkt nr. 38) til kote minus 32.4 (i punkt nr. 33), under inntil 7.1 m løsmasser. Løsmassene består av et øvre, løst til middels fast lag med tykkelse inntil 5-6 m, mektigst i de dypeste delene av området, dvs. i nordvest og øst. Prøvetakingene i punktene nr. 31 og 36 viser at dette laget består av skjellsand/knuste skjellmasser ned til 2-4 m dybde. I punkt nr. 36 er det i 4-5 m dybde registrert siltig finsand. Under skjellsanden antas massene å bestå av sand og morene ned til antatt fjell.*



Figur 3 Utsnitt av borplan fra rapport nr. 215943-3 av 28.august 2012

## 4 Beregningsgrunnlag og parametervalg

### 4.1 Forutsetninger for fyllingsarbeidene.

#### 4.1.1 Skjellsand

Sjøbunn i området er dekket av skjellsand som betraktes som en ikke fornybar ressurs. Det har vært diskutert uttak av skjellsand før utfyllingsarbeider. Det er utført beregninger for å kontrollere påvirkningen av skjellsand på sjøbunn. Beregningene viser at sikkerheten ikke er avhengig av om det tas ut skjellsand eller ikke, endringen er marginal. Det er dermed ikke et krav om at skjellsanden må fjernes av hensyn til stabilitet ved utfylling.

#### 4.1.2 Skråningshelning

Figur 2-3-3 i håndbok V221 (her tabell 2) viser bratteste stabile skråningshelning for fylling over og under vann.

Tabell 2 Stabil skråningshelning for steinfyllinger. Fra håndbok V221.

Stein fra	Bratteste stabile skråningshelning			
	God stein kvalitet og kubisk kornform		Dårlig steinkvalitet og skifrig kornform	
	Over vann	Under vann	Over vann	Under vann
Dagbrudd	1 : 1,25	1 : 1,3	1 : 1,4	1 : 1,5- 1 : 2
Tunnelsprengning	1 : 1,3	1 : 1,3 - 1 : 1,5	1 : 1,4 - 1 : 1,5	1 : 1,5 – 1 : 1,6
Fullprofilmaskin	1 : 1,5	---	1 : 2-1 : 4	---

Figur 2-3-3 Antyder bratteste stabile fyllingsskråning avhengig av måten steinen er produsert på og steinkvalitet.

Tunnelstein fra tunneltraseen under Kvitsøy antas å bestå av bergartene grønnstein, grønnskifer, gabbro, gneis, fyllitt og noe svartskifer. Det er videre grovt regnet at ca. 15 % av massene består av fraksjon 20 mm eller finere.

Iht. håndbok V221 kan fyllinger som bygges opp av sprengt stein med dårlig kvalitet og/eller skifrig kornform og ugunstig størrelsesfordeling, eller ved fri fylling fra tipp, få betydelig slakere helning på skråningene.

Iht. tabellen over karakteriseres bergartene ved Kvitsøy som dårlig steinkvalitet, og det forutsettes at bratteste stabile skråningshelning under vann blir 1:1,5. Samme skråningshelning forutsettes over vann der reguleringsplan ikke angir en annen skråningshelning.

### 4.2 Lagdeling og materialparametere

Det er benyttet lagdeling og materialparametere iht. anbefalingene i rapport fra Multiconsult. Alle lagene foreligger ikke nødvendigvis i alle beregningsprofilene.



Tabell 3 Materialparametere

Parameter	Friksjonsvinkel $\phi'$	Attraksjon a (kN/m <sup>2</sup> )	Udrenert skjærstyrke $s_{uA}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Tyngdetetthet over vann $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Tyngdetetthet under vann $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Jordart					
Fylling	40	0		19	12
Skjellsand	34	0		17	7
Siltig leire/leirig silt	25	0		18	8
Morene	36	10		19	9

### 4.3 Udrenert skjærstyrke i det siltige leirlaget/ leirig siltlaget

Det er, som beskrevet i kap. 3, funnet et lag med siltig leire under skjellsanden på deler av sjøbunnen utenfor Krossøy. Fra trykksønderingene synes det at dette leirlaget er meget lagdelt med mange små drenerende lag innimellom. Disse drenerende lagene vil gi et betydelig bidrag til å forkorte konsolideringstiden til leirlagene.

Multiconsult har tolket den udrenerte skjærfastheten i leira. Denne tolkningen er også benyttet videre ved vurdering av stabiliteten i denne rapporten –  $s_{uA} = 20$  kPa i toppen av laget økende til  $s_{uA} = 40$  kPa i bunnen av laget.

I beregningene er det tatt hensyn til at leire er et anisotrop materiale. Det er brukt erfaringstall med et forhold mellom styrkeverdiene for aktiv sone, den plane delen av glideflaten og passiv sone på:

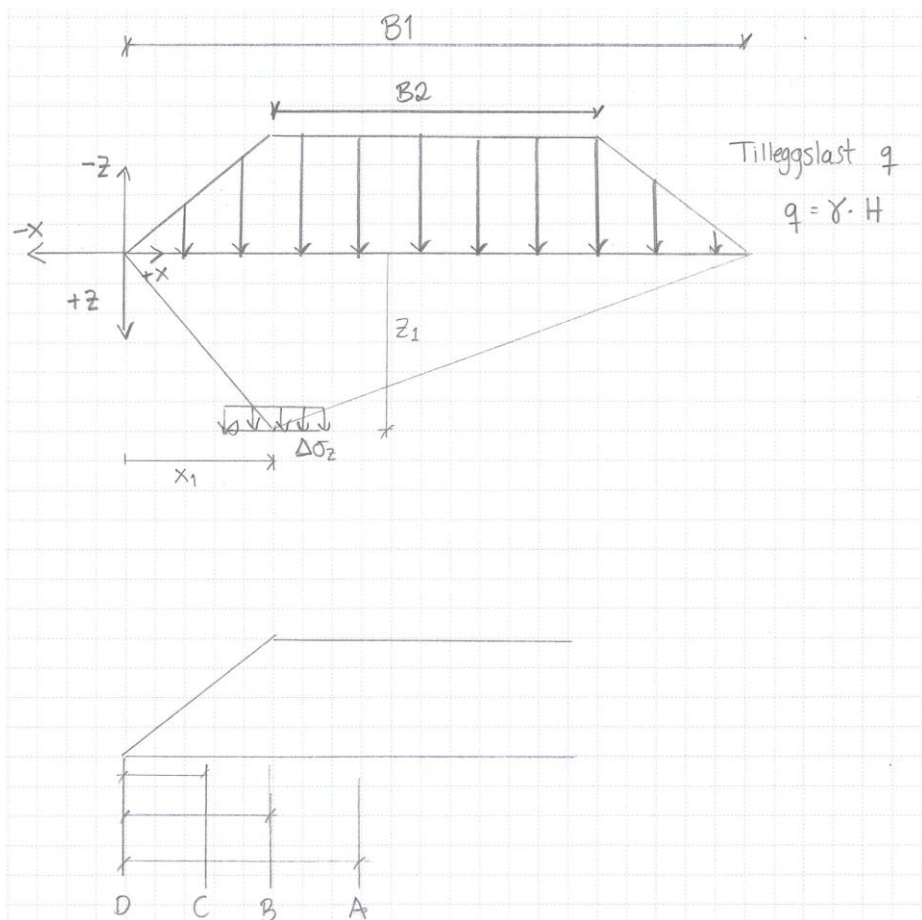
$$s_{u,D} = 0,67s_{u,A} \text{ og } s_{u,P} = 0,33s_{u,A}$$

Norconsult har valgt å regne en økning av skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved utlegging. Mellom lagene har den siltige leiren tid for konsolidering og derved styrkeoppbygging av den udrenerte skjærstyrken. I vurderingen av økt udrenert skjærstyrke er det lagt opp til 90% konsolidering mellom hvert lag.

#### Lastfordeling med dybden

Ved vurdering av tilleggslast med dybden (under utfyllingen) er det lagt til grunn at tilleggslasten kan modelleres som en trapeslast. Geometrien er forenklet og gitt som et horisontalt lag med en gitt maksimal tykkelse og avtrapping 1:2 i endene.

Det er brukt Bossinesq for vurdering av lastfordeling av tilleggslast med dybden. Se figur 4 og tabell 4 og 5 for tilleggslast og utregning av styrkeoppbygging som følge av konsolidering.



Figur 4 Prinsippskisse for utregning av tilleggslast

Ved beregninger med fjerning av skjellsand i snitt NO05 erstattes 5 meter med skjellsand av sprengstein. Det tas hensyn til differansen i den neddykkede romvekten ( $12-7 = 5 \text{ kN/m}^3$ ) ved utregning av tilleggslasten fra fyllingen. Det er beregnet styrkeoppbygging av leirlaget som følge av pålastning av hele fyllingen og opp til kote -10 (to tilfeller).

Ved at skjellsanden blir liggende, blir følgelig tykkelsen av steinfyllingen mindre.

### 4.3.1 Uttak av skjellsand

#### Styrkeoppbygging ved oppfylling av hele fyllingen

Det fylles i gjennomsnitt 33 meter med sprengstein fra fremtidig terreng ned til sjøbunn etter optak av skjellsand. Det tilsvarer en tilleggslast på:

$$q = \gamma H = (19 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m}) + (12 \text{ kN/m}^3 \times 23 \text{ m}) + (5 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m}) = 396 \text{ kPa}$$

Tabell 4 Ny skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved pålastning til endelig terreng

	Avstand fra fot fylling $x_1$ [m]	$z_1$ under UK fylling [m]	Tilleggs-spenning $\Delta\sigma_z$ [kPa]	$s_u^A$ (opprinnelig) [kPa]	$0,3 \cdot \Delta\sigma_z$ [kPa]	$s_u^{A_{ny}}$ [kPa]	$0,9 \times s_u^{A_{ny}}$ [kPa]
A	100	2	396	20	118,8	138,8	<b>125</b>
	100	5	396	40	118,8	158,8	<b>143</b>
B	70	2	392	20	117,6	137,6	<b>124</b>
	70	5	387	40	116,1	156,1	<b>140</b>
C	30	2	170	20	51	71	<b>64</b>
	30	5	170	40	51	91	<b>82</b>
D	0	2	4	20	1,2	21,2	<b>20</b>
	0	5	9	40	2,7	42,7	<b>40</b>

\*Hvis verdien  $0,9 \times s_u^{A_{ny}}$  blir lavere enn opprinnelig valgt karakteristisk skjærfasthet (fra karakteristiske styrkeprofiler) benyttes sistnevnte ved stabilitetsberegninger.

#### Styrkeoppbygging ved oppfylling til kote -10

Det fylles i gjennomsnitt 20 meter med sprengstein fra sjøbunn, etter optak av skjellsand, og opp til kote -10. Det tilsvarer en tilleggslast på:

$$q = \gamma H = (12 \text{ kN/m}^3 \times 15 \text{ m}) + (5 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m}) = 205 \text{ kPa}$$

Tabell 5 Ny skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved pålastning til kote -10

	Avstand fra fot fylling [m]	$z$ under UK fylling [m]	Tilleggs-spenning $\Delta q$ [kPa]	$s_u^A$ (opprinnelig) [kPa]	$0,3 \cdot \Delta q$ [kPa]	$s_u^A$ [kPa]	$0,9 \times s_u^A$ [kPa]
A	100	2	205	20	61,5	81,5	<b>73</b>
	100	5	205	40	61,5	101,5	<b>91</b>
B	70	2	205	20	61,5	81,5	<b>73</b>
	70	5	205	40	61,5	101,5	<b>91</b>
C	30	2	153,7	20	46,11	66,11	<b>59</b>
	30	5	153	40	45,9	85,9	<b>77</b>
D	0	2	3	20	0,9	20,9	<b>20</b>
	0	5	8	40	2,4	42,4	<b>40</b>

Styrkeoppbygging ved oppfylling til kote -4

Det fylles i gjennomsnitt 26 meter med sprengstein fra sjøbunn, etter opptak av skjellsand, og opp til kote -4. Det tilsvarer en tilleggslast på:

$$q = \gamma H = (12 \text{ kN/m}^3 \times 21 \text{ m}) + (5 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m}) = 277 \text{ kPa}$$

Tabell 6 Ny skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved pålastning til kote -4

	Avstand fra fot fylling [m]	z under UK fylling [m]	Tilleggs-spenning $\Delta q$ [kPa]	suA (opprinnelig) [kPa]	0,3* $\Delta q$ [kPa]	su <sup>A</sup> [kPa]	0,9 x su <sup>A</sup> [kPa]
A	100	2	234	20	70,2	90,2	<b>81</b>
	100	5	233	40	69,9	109,9	<b>99</b>
B	70	2	277	20	83,1	103,1	<b>93</b>
	70	5	276	40	82,8	122,8	<b>111</b>
C	30	2	159	20	47,7	67,7	<b>61</b>
	30	5	159	40	47,7	87,7	<b>79</b>
D	0	2	3	20	0,9	20,9	<b>20</b>
	0	5	8	40	2,4	42,4	<b>40</b>

**4.3.2 Med skjellsand**

Ved beregninger uten fjerning av skjellsand er det regnet styrkeoppbygging i leira som vist under.

Styrkeoppbygging ved oppfylling av hele fyllingen

Det fylles i gjennomsnitt 28 meter med sprengstein fra eksisterende terreng. Det tilsvarer en tilleggslast på:

$$q = \gamma H = (19 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m}) + (12 \text{ kN/m}^3 \times 23 \text{ m}) = 371 \text{ kPa}$$

Tabell 7 Ny skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved pålastning til endelig terreng

	Avstand fra fot fylling [m]	z under UK fylling [m]	Tilleggs-spenning $\Delta q$ [kPa]	suA (opprinnelig) [kPa]	0,3* $\Delta q$ [kPa]	su <sup>A</sup> [kPa]	0,9 x su <sup>A</sup> [kPa]
A	100	7	371	20	111,3	131,3	<b>118</b>
	100	10	371	40	111,3	151,3	<b>136</b>
B	70	7	370	20	111	131	<b>118</b>
	70	10	368	40	110,4	150,4	<b>135</b>
C	30	7	199	20	59,7	79,7	<b>72</b>
	30	10	195	40	58,5	98,5	<b>89</b>
D	0	7	15	20	4,5	24,5	<b>22</b>
	0	10	21	40	6,3	46,3	<b>42</b>

Styrkeoppbygging ved oppfylling til kote -4

Det fylles i gjennomsnitt 21 meter med sprengstein fra sjøbunn, og opp til kote -4. Det tilsvarer en tilleggslast på:

$$q = \gamma H = (12 \text{ kN/m}^3 \times 21 \text{ m}) = 252 \text{ kPa}$$

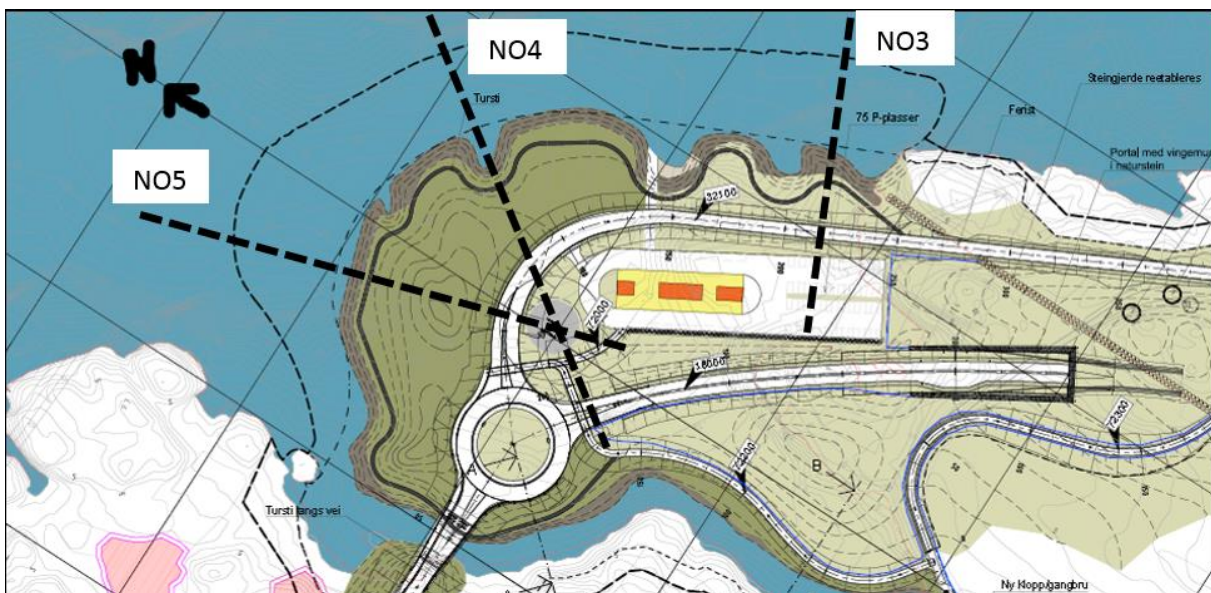
Tabell 8 Ny skjærfasthet som følge av økt konsolideringsspenning ved pålastning til kote -4

	Avstand fra fot fylling [m]	z under UK fylling [m]	Tilleggs-spenning $\Delta q$ [kPa]	suA (opprinnelig) [kPa]	$0,3 \cdot \Delta q$ [kPa]	$s_u^A$ [kPa]	$0,9 \times s_u^A$ [kPa]
A	100	7	143	20	42,9	62,9	<b>57</b>
	100	10	143	40	42,9	82,9	<b>75</b>
B	70	7	250	20	75	95	<b>86</b>
	70	10	248	40	74,4	114,4	<b>103</b>
C	30	7	179	20	53,7	73,7	<b>66</b>
	30	10	177	40	53,1	93,1	<b>84</b>
D	0	7	13	20	3,9	23,9	<b>22</b>
	0	10	18	40	5,4	45,4	<b>41</b>

## 5 Stabilitetsanalyser

### 5.1 Analyseverktøy for stabilitetsberegninger

Stabilitetsberegninger er utført med programmet Geosuite Stabilitet versjon 15.1.3.0. Beregningene er utført med både med sirkulære og egendefinerte glideflater. Plassering av de ulike profilene fremgår av figur 5.



Figur 5 Stiplet tykk linje viser plassering av de ulike beregningssnittene. Stiplet tynn linje viser regulert område under vann.

Resultater av beregningene med fjerning av skjellsand er vist i tabell 9.

Beregninger uten fjerning av skjellsand er vist i tabell 10. Beregningene viser marginale endringer i sikkerhet.

## 5.2 Valg av beregningsprofil

Det er utført stabilitetsanalyser i totalt tre profiler. Disse er videre omtalt som: Profil NO3, Profil NO4, og Profil NO5.

### 5.2.1 Beregningsprofil: Profil NO3

Boringer og kartgrunnlag viser at sjøbunnen og berget faller bratt, mellom 15-20 grader. Mellom skjellsandlaget og berg indikerer grunnundersøkelser at der ligger et tynt lag med morene.

### 5.2.2 Beregningsprofil: Profil NO4

Boringer og kartgrunnlag viser at sjøbunn og berg stiger oppover der fyllingsfoten kommer. Det er lite løsmasser ved fyllingsfot, mens det midt under fyllingen er påvist løsmasser i en tykkelse oppimot 13 meter. Det vil si at løsmassetykkelsen deretter er redusert ved stabilitetsberegningene. Det er lagt inn leirlag fra 0-3 meter tykkelse i beregningen. Under leirlaget er det registret et morenelag ned til berg.

Profilen representerer geometrien i endelig situasjon.

### 5.2.3 Beregningsprofil: Profil NO5

Utførte boringer og kartgrunnlag viser en «dyprenne» fra sørøst mot nordvest, med løsmassetykkelser oppimot 17 meter. Det vil si at løsmassetykkelsen deretter er redusert ved stabilitetsberegningene. Her er det fra trykksonderinger indikert et 0-3 meter tykt leirlag. Dette er lagt inn i beregningsprofilen. Under leirlaget er det registret et morenelag ned til berg.

På grunn av sjøbunn og bergforløp er det valgt å ta hensyn til en 3D-sideeffekt i dette profilet. Den beregnede sikkerheten økes med 10 % for å ta hensyn til denne sideeffekten.

#### NO5

Udrenert skjærstyrke tolket fra trykksonderinger er lagt inn i beregningen. Beregningen tilsvarer en utfylling fra tipp, der fyllingshelning legger seg på rasvinkel 1:1,5 og fyllingsvekten momentant blir tatt av et økt poretrykk – udrenert brudd.

I tillegg til å gjelde for endelig situasjon når fyllingen er ferdig, representerer profilet også midlertidig situasjon ved utfylling i «dyprenna» over hele området.

#### NO5\*

Beregningen tar for seg sikkerhet mot brudd i en endelig situasjon der fyllingen med helning 1:2 er lagt ut lagvis med lekter, og hvor det har vært tid for utjevning av et evt. poreovertrykk i leirlaget mellom utfyllingslagene. Økte konsolideringsspenninger fører til en økt udrenert skjærstyrke i leirlaget. Det henvises til kap. 4.2.

#### NO5\*\*

Beregningen tar for seg en situasjon med utfylling med lekter over hele området opp til kote -10. Deretter fylles det opp et belte fra ytterkant av fylling og ca 40 meter innover opp til kote -4 (kotenivå for reposit) med lekter, se figur 6. For tilfellet med styrkeoppbygging ved oppfylling til kote -10 er det kontrollert hvor langt ut man deretter kan fylle fra tipp før sikkerheten mot brudd blir så lavt at den ikke kan aksepteres.

#### NO5\*\*\*

Beregningen tar for seg en situasjon med utfylling med lekter over hele området opp til kote -10, og etablering av en sjete opp til kote +3. For å etablere sjeteen må det fylles med lekter i et belte med bunnbredde ca 60 meter bygd opp til kote -4, for så å fylle opp til kote +3 fra tipp i dette beltet. Beltet fylles opp med helning 1:2 og lekter fra ytterkant av fylling og ca 60 meter innover, se figur 6. For

tilfellet med styrkeoppbygging ved oppfylling til kote -4 er det kontrollert hvor langt ut man deretter kan fylle fra tipp før sikkerheten mot brudd blir så lavt at den ikke kan aksepteres.



Figur 6 Rødt omriss markere oppfylling av "belte" fra kote -10 til -4 (prinsipp, ikke i målestokk)

Når beltet er utlagt kan resten av fyllingen legges ut fra tipp. Beltet fungerer da som en motfylling.

### 5.3 Resultater

Resultater fra beregningene er presentert i tabell 7. Beregnede snitt og resultater er også vist i vedlagte tegninger.

#### Uttak av skjellsand

Tabell 9 Oppsummering av resultater fra beregninger ved fjerning av skjellsand

Profil	Helning	Sikkerhetsfaktor $\gamma_M$			Tegning
		Drenert	Udrenert	3D-effekt	
NO3	1:1,5	1,22	-	-	NO3
NO3	1:2	1,60	-	-	NO3
NO4	1:1,5	-	1,87	-	NO4
NO5	1:1,5	1,45	0,94	1,03	NO5
NO5*	1:2	-	1,28	1,41	NO5_tiltak
NO5**	1:2	-	1,24	1,36 (ok)	NO5_tiltak2
NO5***	1:2	-	1,23	1,35 (ok)	NO5_tiltak3
<b>Krav</b>		1,4	1,4	1,4	

\* - \*\*\* Krever lagvis utfylling med lektar og tid for konsolidering mellom hvert pålastningsstrinn, se videre forklaring angående endringer fra profil NO5 i kap. 5.2.3

## Med skjellsand

Tabell 10 Oppsummering av resultater fra beregninger med eksisterende skjellsand

Profil	Helning	Sikkerhetsfaktor $\gamma_M$			Tegning
		Drenert	Udrenert	3D-effekt	
NO3	1:1,5	1,21	-	-	NO3_tiltak
NO3	1:2	1,64	-	-	NO3_tiltak
NO5*	1:2	-	1,29	1,42	NO5_tiltak4
NO5***	1:2	-	1,29	1,42	NO5_tiltak5
<b>Krav</b>		1,4	1,4	1,4	

\* - \*\*\* Krever lagvis utfylling med lektet og tid for konsolidering mellom hvert pålastningstrinn, se videre forklaring angående endringer fra snitt NO5 i kap. 5.2.3

### 5.3.1 Profil NO3

#### Uttak av skjellsand

Se tegning NO3. Beregningene viser en minste sikkerhetsfaktor på  $\gamma_m=1,22$  med en helning på fyllingen på 1:1,5. Det er den bratte helningen på sjøbunn og berg som fører til den lave sikkerhetsfaktoren. Den kritiske sirkelen går ned gjennom morenelaget og er avgrenset av berg.

Ved en fyllingshelning 1:2 går fyllingen ut der sjøbunn og berg flater ut, og beregnet sikkerhet mot brudd er  $\gamma_m=1,6$ . Dette tilfredsstillt kravet på  $\gamma_m=1,4$ .

#### Med skjellsand

Beregningene viser marginale forskjeller i sikkerhet og er derfor ikke kommentert noe nærmere.

### 5.3.2 Profil NO4

Se tegning NO4. Beregninger viser en sikkerhetsfaktor på 1,84. Dette tilfredsstillt kravet på  $\gamma_m=1,4$ . Den kritiske sirkelen går kun gjennom fyllingen.

Det er ikke tatt hensyn til en økning av udrenert skjærstyrke som følge av økte konsolideringsspenninger ved beregningen pga. at resultatene med initiale (og lavere) styrkeverdier viser at det er tilfredsstillende sikkerhet.

Basert på beregning av snitt NO3 er det vurdert at det ikke er nødvendig med supplerende beregninger med eksisterende skjellsand i snitt NO4. Her vil ikke skjellsanden påvirke bruddsirkelen i særlig grad.

### 5.3.3 Profil NO5

#### Uttak av skjellsand

##### NO5

Beregningen viser en sikkerhetsfaktor på  $\gamma_m=1,03$ , inkludert en 3D-sideeffekt. Hvis fyllingen blir lagt ut med tipp vil den da, ifølge beregningene ligge rett over brudd. Den kritiske skjærflaten er sammensatt og vil gå i leirlaget.

##### NO5\*



Beregningen viser en oppnådd sikkerhetsfaktor på  $\gamma_m = 1,41$  inkludert 3D-sideeffekt. Dette tilfredsstillende kravet på  $\gamma_m = 1,4$ , og anses som akseptabelt. Den kritiske skjærflaten er sammensatt og vil gå i leirlaget.

#### NO5\*\*

Beregningen viser et oppnådd sikkerhetsfaktor på  $\gamma_m = 1,36$  inkludert 3D-sideeffekt. Dette aksepteres med bakgrunn i at skjærstyrken øker ytterligere underveis som resten av fyllingen blir lagt ut fra tipp. Denne ytterligere økningen er ikke lagt inn beregningen. Den kritiske skjærflaten er sammensatt og vil gå i leirlaget.

#### NO5\*\*\*

Beregningen viser et oppnådd sikkerhetsfaktor på  $\gamma_m = 1,35$  inkludert 3D-sideeffekt. Dette aksepteres med bakgrunn i at skjærstyrken øker ytterligere underveis som resten av fyllingen blir lagt ut fra tipp. Denne ytterligere økningen er ikke lagt inn beregningen. Den kritiske skjærflaten er sammensatt og vil gå i leirlaget.

### **Med skjellsand**

#### NO5\*

Beregningene viser marginale forskjeller i sikkerhet og er derfor ikke kommentert noe nærmere.

#### NO5\*\*\*

Beregningene viser marginale forskjeller i sikkerhet og er derfor ikke kommentert noe nærmere.

## 6 Geotekniske vurderinger

Beregningene viser at fyllingen kan legges ut ved en kombinasjon av lekter og tipp. For å opprettholde tilfredsstillende stabilitet i anleggsfasen og i endelig fase må fyllingen utenfor Krossøy legges ut lagvis, med tid for utjevning av poreovertrykk, fra lekter til kote -10. Det er nødvendig å legge fyllingen med minimum helning 1:2. Deretter fylles det lagvis ut et belte/sjete med lekter så langt opp som mulig (minimum kote -4) med tid for utjevning av poreovertrykk. Utjevningen av poreovertrykket antas å ta fra et par uker til 3-4 mnd. Grunnundersøkelsene indikerer at leirlaget er meget lagdelt med flere drenerende lag, så tiden for poretrykksutjevningen ligger mest sannsynlig i det lavere sjiktet enn det høyeste gitt over. Det må vurderes hvor lang tid det minimum er behov for mellom fylling av hvert lag, og evt. muligheter for å installere poretrykksmålere i leirlaget.

Anbefalt arbeidsrekkefølge for å tilfredsstille sikkerhetskravet er som følger:

1. Utfylling lagvis (lag på 2-3 m høyde) opp til kote -10 og ikke brattere helning enn 1:2
2. Utfylling av et 60 m bredt «belte» (bunnbredde på kote -10) med lekter opp til minimum kote -4
3. Utfylling fra tipp over beltet fra pkt. 2 opp til kote +3 med fronthelning ikke brattere enn 1:2, resten av fyllingen kan fylles fra tipp med fronthelning 1:1,5.
4. Utfylling over kote -4 fylles med samme fronthelning som under kote +3

Der hvor berget stikker opp ved Nordre Hestholmen og Hellesøy, kan helning på fyllingen anlegges med 1:1,5 i en endelig fase.

Beregningene viser at det har liten betydning for stabiliteten til fyllingen om skjellsanden fjernes eller ikke.

## 7 Kontroll og oppfølging

Det skal benyttes sprengstein fra tunnel i fyllingene. Utfyllingsarbeidene må utføres på en slik måte at risiko for mannskap og utstyr begrenses til et minimum. Utfylling med lekter opp til angitt nivå er da et vesentlig element. Utfyllingsarbeidene utføres lagvis, fra laveste nivå i utfyllingsområdet. Lagtykkelsen tilpasses aktuelt lekterutstyr, men bør være i størrelsesorden 2-3 m. Der hvor fyllingen legges ut fra tipp, skyves massene ut over tipp med doser. Det må utvises forsiktighet ved arbeider ved fyllingsfot.

Det er antatt at arbeidene vil strekke seg over adskillige måneder/år slik at undergrunnen får tid til i noen grad å konsolidere for hvert enkelt lagutlegg.

Det forutsettes at utfyllingsarbeidene følges opp nøye med gjentatte mengde- og nivåkontroller, for eksempel med scanning for kontroll av at hvert lag er etablert som forutsatt før utleggingen av neste lag igangsettes. Det bør derfor utarbeides detaljerte planer for utfyllingsarbeidene.

Det vises også til håndbok V221.

## 8 Referanser

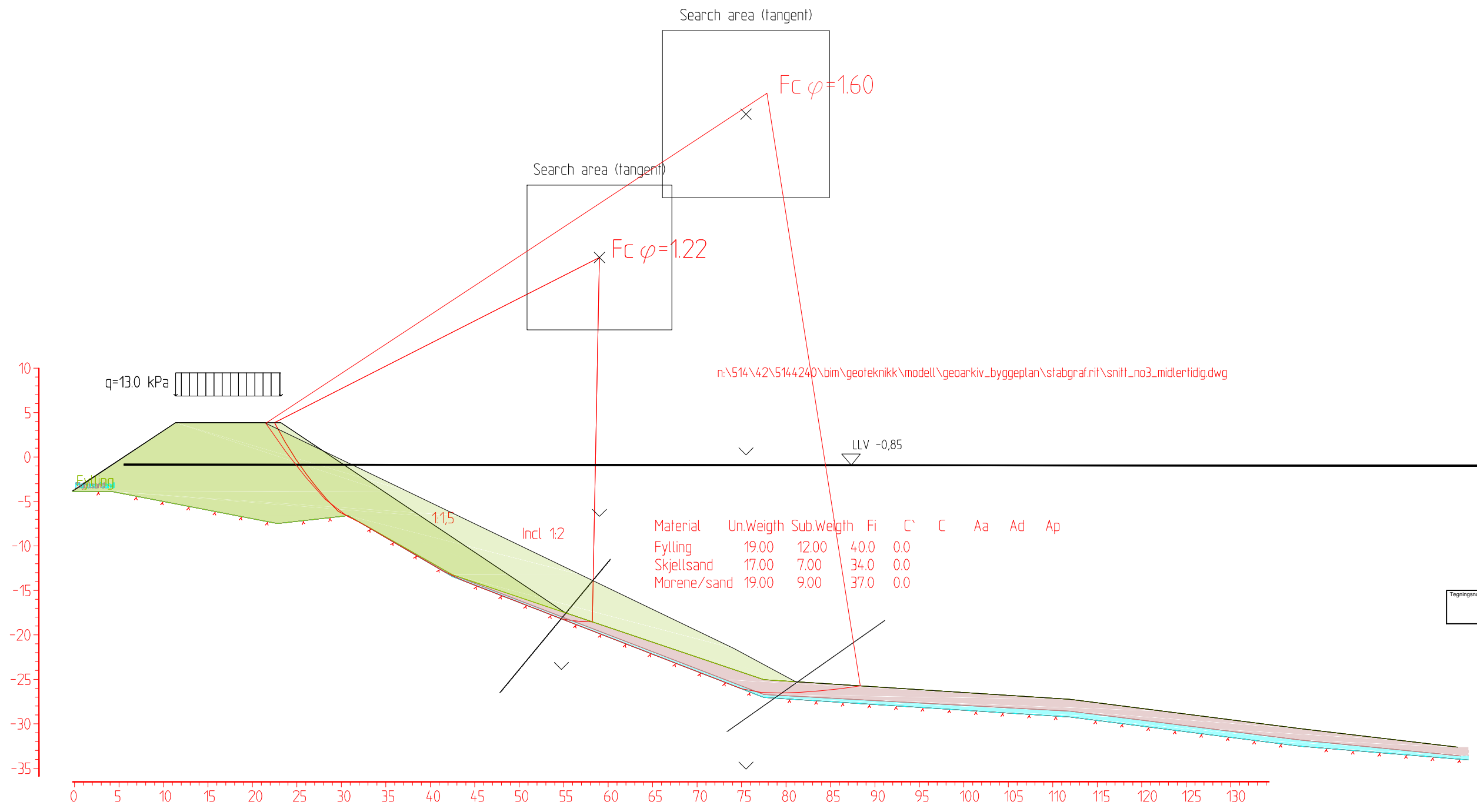
- /1/ Multiconsult AS  
E39 Rogfast. Massedeponi Kvitsøy. 2011032186-006.  
Geoteknisk datarapport nr. 215943-3; E39, datert 28.august 2012
- /2/ Norconsult AS  
Dok.nr.: Felles-001, revisjon 03  
Dimensjoneringsforutsetninger. Byggeplanfasen, datert 2014-12-05.
- /3/ Norconsult AS  
Utnyttelse av skjellsand i utfyllingsområdet ved Kvitsøy og Arsvågen.  
Dok.nr.: NO-053-YM, versjon J03, datert 2016-02-16.

## 9 Vedlegg

- Borplan: Sjøfylling Kvitsøy
- Tegning: NO3
- Tegning: NO3\_tiltak
- Tegning: NO4
- Tegning: NO5
- Tegning: NO5\_tiltak (NO5\*)
- Tegning: NO5\_tiltak2 (NO5\*\*)
- Tegning: NO5\_tiltak3 (NO5\*\*\*)
- Tegning: NO5\_tiltak4 (NO5\*)
- Tegning: NO5\_tiltak5 (NO5\*\*\*)



N:\514\42\5144240\BIM\Geoteknikk\Ar\Stabilitetsberegning\5144240 - Rogfast-kvitsøy nord\NO3.dwg - EIKL1 - Pldtst. 2016-05-10, 14:32:17 - XREF = SNITT\_NO3\_MIDLERTIDIG\_1\_2\_snitt\_no3\_midlertidig



Tegningsnummer	Revisjon
NO3	

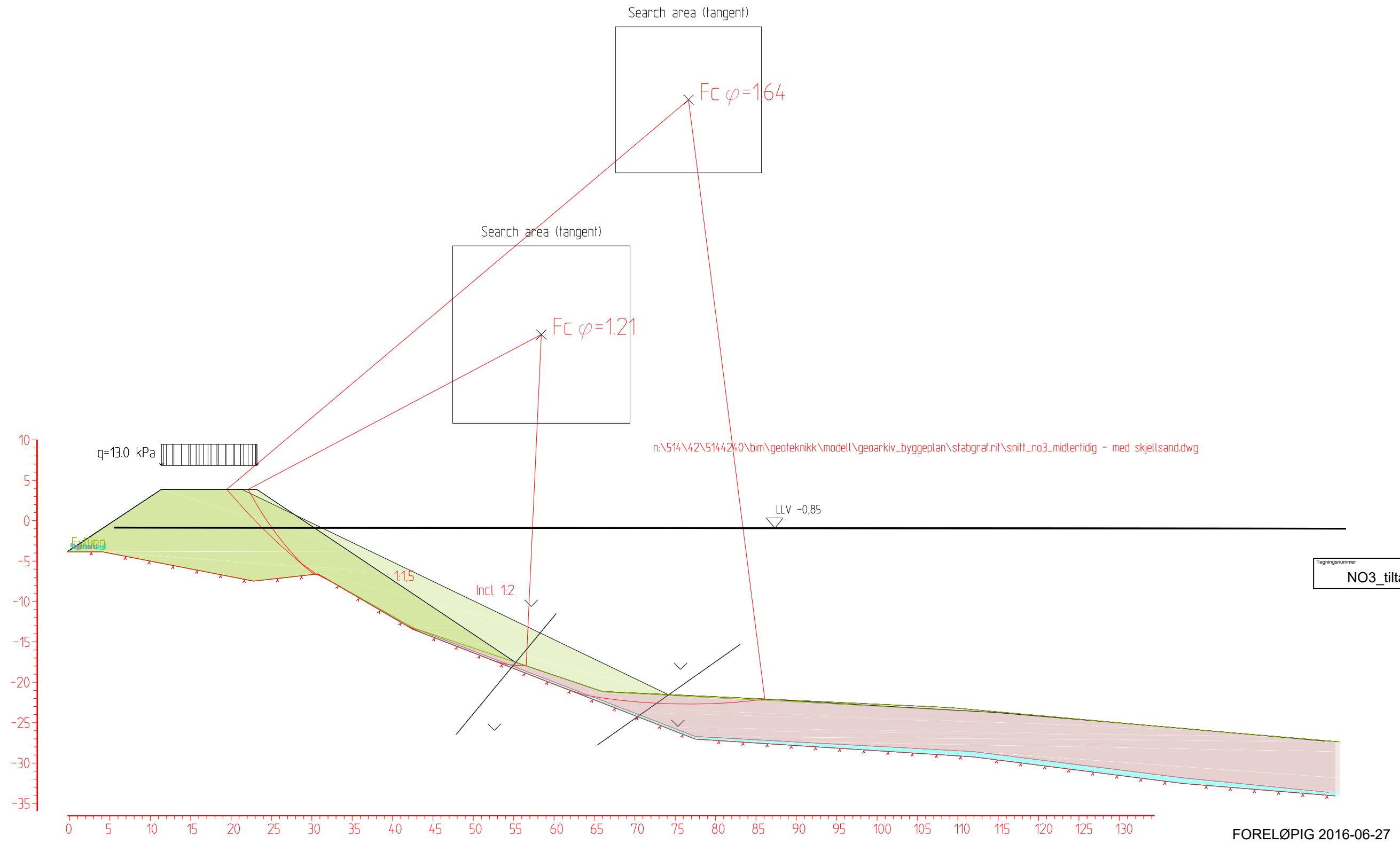
FORELØPIG 2016-04-18

n:\514\42\5144240\BIM\geoteknikk\modell\geoarkiv\_byggeplan\stabgraf.rit\snitt\_no3\_midlertidig\_1\_2.dwg

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Målestokk (gjelder A1)	
1:250	
Rogfast Kvitsøy nord - Krossøy NO3 Helning 1:1,5 og 1:2	
Norconsult	Oppdragsnummer 5144240
Tegningsnummer NO3	Revisjon

N:\514\42\5144240\BIM\Geoteknikk\Artif\Stabilitetsberegning\5144240 - Rogfast-kvitsøy nord\NO3 - med skjellsand.dwg - XREF - SNITT\_NO3\_MIDLERTIDIG - med skjellsand



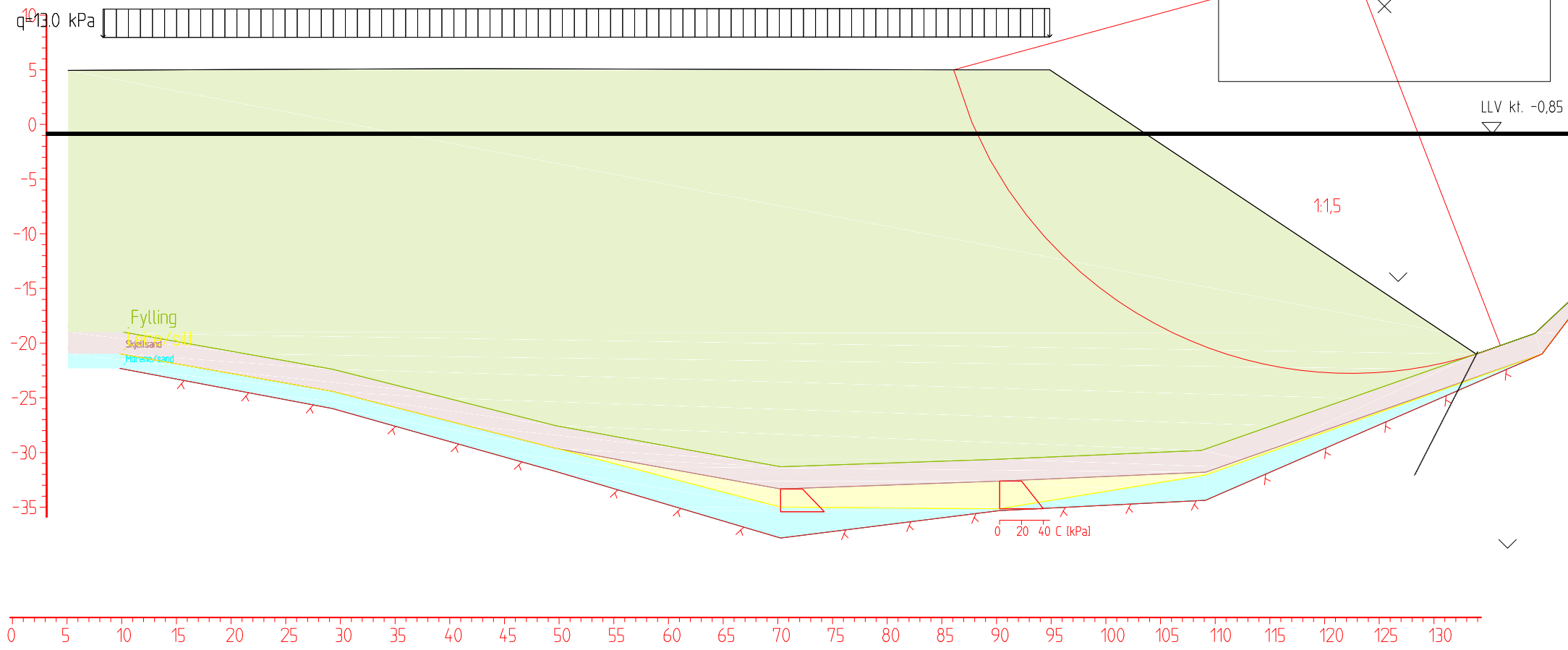
Tegningsnummer	Revisjon
NO3_tiltak	

n:\514\42\5144240\BIM\geoteknikk\modell\geoarkiv\_byggeplan\stabgraf.nit\snitt\_no3\_midlertidig 1.2 - med skjellsand.dwg

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.			Målestokk (gjelder A1)
			1:250
Rogfast Kvitsøy nord - Krossøy NO3 Helning 1:1,5 og 1:2			
Norconsult	Oppdragsnummer 5144240	Tegningsnummer NO3_tiltak	Revisjon

N:\514\2514\24\OBM\Geoteknik\Kvitsøy nord\NO4.dwg - EIKLI - Pldt. 2016-05-10, 14:52:01 - XREF = SNITT\_NO4\_MIDLERTIDIG - 1\_15"

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	12.00	40.0	0.0				
Skjellsand	17.00	7.00	34.0	0.0				
Leire/silt	18.00	8.00			C-prof	1.00	0.67	0.36
Morene/sand	19.00	9.00	37.0	0.0				



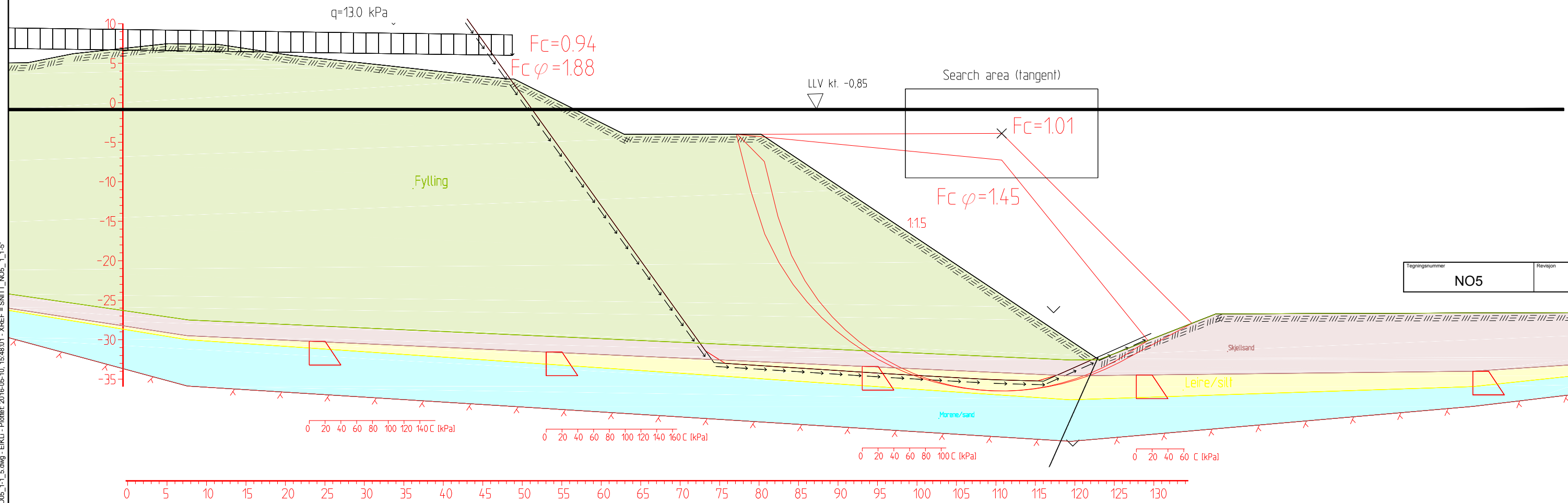
Tegningsnummer	Revisjon
NO4	

FORELØPIG 2016-5-10

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

		Målestokk (gjelder A1)
		1:250
<b>Rogfast</b> Kvitsøy nord - Krossøy NO4 Helning 1:1,5 (Ingen økning i skjærstyrke som følge av økte konsolideringsspenninger)		
Norconsult	Oppdragsnummer 5144240	Tegningsnummer NO4
		Revisjon

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	12.00	40.0	0.0				
Skjellsand	17.00	7.00	34.0	0.0				
Leire/silt	18.00	8.00	25.0		C-prof	1.00	0.67	0.36
Morene/sand	19.00	9.00	37.0	0.0				



Tegningsnummer	Revisjon
NO5	

FORELØPIG 2016-5-10

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Målestokk (gjelder A1)  
1:250

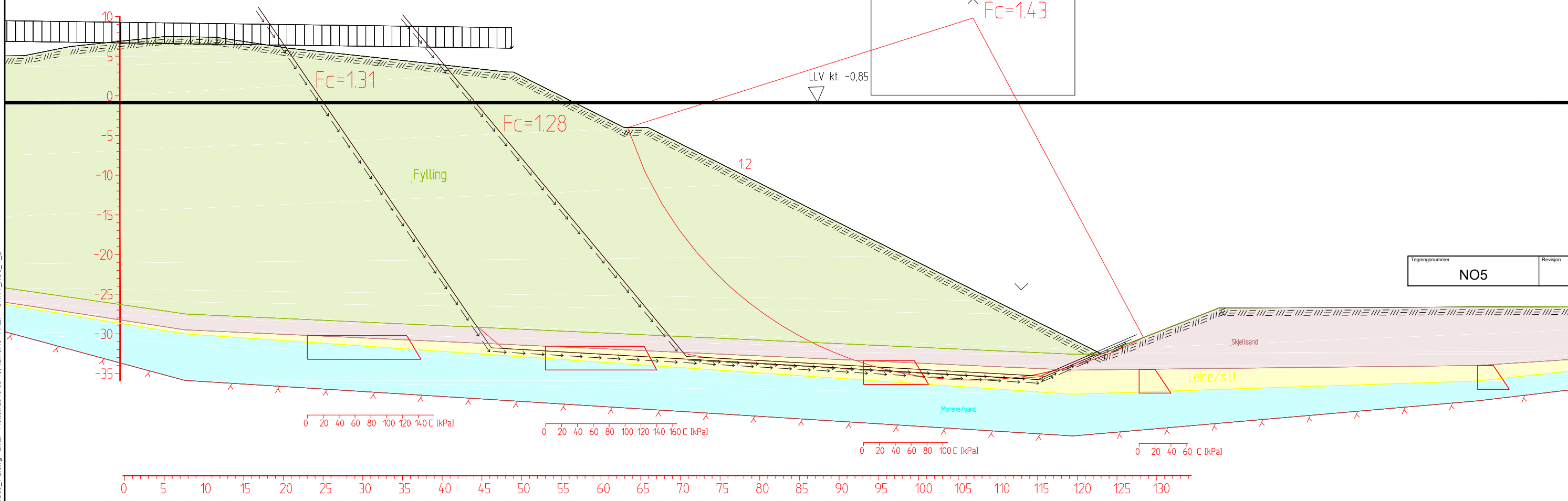
Rogfast  
Kvitsøy nord - Krossøy  
NO5  
Helning 1:1,5  
(Ingen økning i skjærstyrke som følge av økte konsolideringsspenninger)

Norconsult	Oppdragsnummer	Tegningsnummer	Revisjon
	5144240	NO5	

N:\514240\BIM\Geoteknikk\Kvits\Stabilitetsregning\5144240 - Rogfast kvitsøy nord\NO5\_1\_1\_5.dwg - EIKU - Plottet: 2016-05-10, 15:48:01 - XREF = SNITT\_NOS\_1\_1\_5'



Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	12.00	40.0	0.0				
Skjellsand	17.00	7.00	34.0	0.0				
Leire/silt	18.00	8.00	25.0		C-prof	1.00	0.67	0.36
Morene/sand	19.00	9.00	37.0	0.0				



Tegningsnummer	Revisjon
NO5	

FORELØPIG 2016-5-10

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Målestokk (gjelder A1)  
1:250

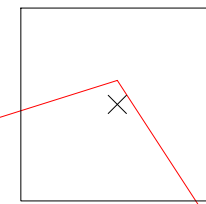
Rogfast  
Kvitsøy nord - Krossøy  
NO5  
Helning 1:2

Norconsult	Oppdragsnummer	Tegningsnummer	Revisjon
	5144240	NO5_tiltak	

N:\5144240\BIM\Geoteknikk\Kvits\Stabilitetsregning\5144240 - Rogfast-kvitsøy nord\NO5\_1\_2.dwg - EIKL - Plottet: 2016-05-18 12:13:46 - XREF = SNITT\_NO5\_1\_2

Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	12.00	40.0	0.0				
Skjellsand	17.00	7.00	34.0	0.0				
Leire/silt	18.00	8.00	25.0		C-prof	1.00	0.67	0.36
Morene/sand	19.00	9.00	37.0	0.0				

Search area (tangent)



$F_c=1.38$

LLV kt. -0,85

1.2

$F_c=1.31$

$F_c=1.29$

Fylling

Skjellsand

Leire/silt

Morene/sand

Tegningsnummer	Revisjon
NO5_tiltak4	

0 20 40 60 80 100 120 140 C [kPa]

0 20 40 60 80 100 120 140 160 C [kPa]

0 20 40 60 80 100 C [kPa]

0 20 40 60 C [kPa]

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130

FORELØPIG 2016-07-27

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Målestokk (gjelder A1)  
1:250

Rogfast  
Kvitsøy nord - Krossøy  
NO5  
Helning 1:2

Norconsult	Oppdragsnummer	Tegningsnummer	Revisjon
	5144240	NO5_tiltak4	

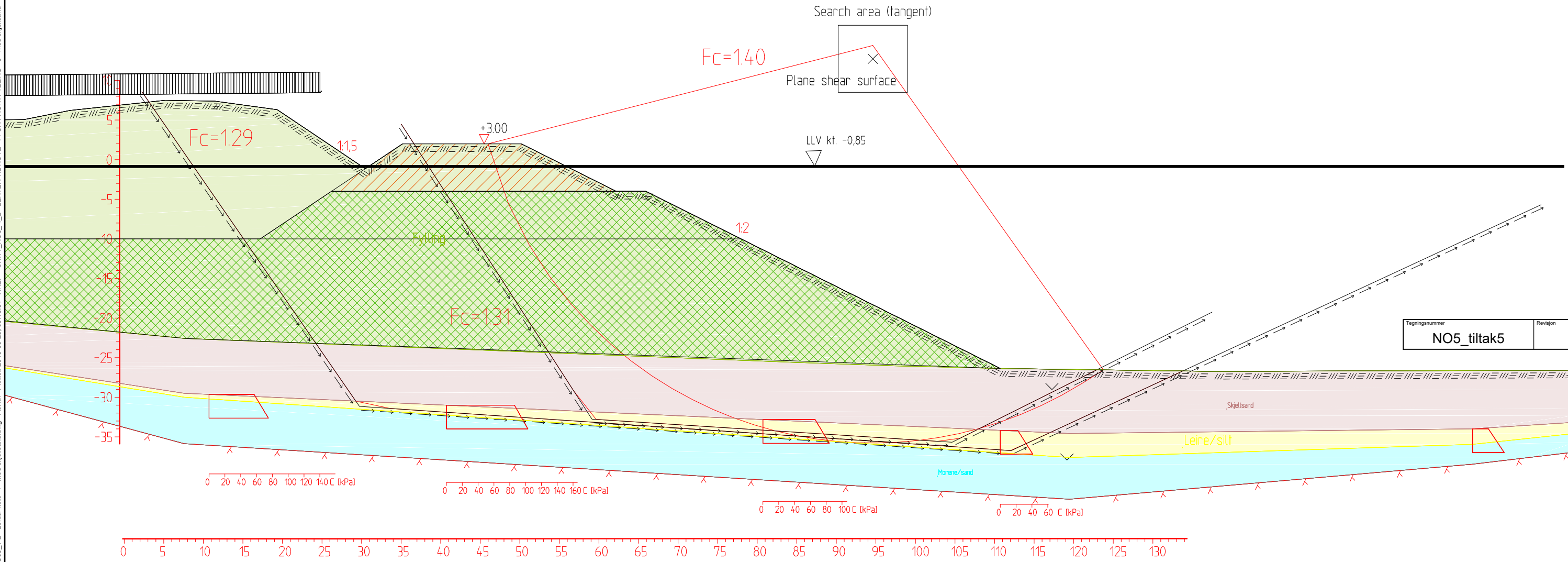
N:\S14\2\5144240\BIM\Geoteknikk\Kvits\Stabilitetsberegning\5144240 - Rogfast-kvitsøy nord\NO5\_1\_2 - med skjellsand.dwg - Aaskul - Plottet: 2016-06-27 15:50:32 - XREF = SNITT\_NO5\_1\_2 - eksisterende skjellsand





Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Fylling	19.00	12.00	40.0	0.0				
Skjellsand	17.00	7.00	34.0	0.0				
Leire/silt	18.00	8.00	25.0		C-prof	1.00	0.67	0.36
Morene/sand	19.00	9.00	37.0	0.0				




\*N:\S14\2\514424\OBIM\Geoteknik\Kvitsøy nord\NO5\_1\_2 - Lekter til kote -4 - med skjellsand.dwg - A4hul - Plottet: 2016-06-28 09:18:51 - XREF = SNITT\_NO5\_1\_2 - LEKTER TIL KOTE -4 FOR FRONTPYLLING +3 - med skjellsand



Tegningsnummer	Revisjon
NO5_tiltak5	

FORELØPIG 2016-6-24

**FORKLARINGER**

-  Fylles ut med lekter
-  Fylles ut fra tipp før resten av fyllingen fylles ut
-  Fylles fra tipp

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som fremgår nedenfor. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tillater.

Målestokk (gjelder A1)  
1:250

Rogfast  
Kvitsøy nord - Krossøy  
NO5  
Utlegging med lekter til kt. -4 og helning 1:2. Deretter med tipp.

Norconsult	Oppdragsnummer	Tegningsnummer	Revisjon
	5144240	NO5_tiltak5	