

Lufthavn: Ny lufthavn Bodø					
Prosjektittel: Forprosjekt NLBO					
Tittel: Områdestabilitet i sjø – østre del					
FE04	18.12.20	For implementering	GunHen	VikRen/OE	SAK
FB03	07.07.20	Revidert for uavhengig kontroll	GunHen	VikRen/OE	SAK
FB02	11.03.20	For uavhengig kontroll	VikRen	GunHen/OE	SAK
FA01	02.03.20	Intern revisjon	VikRen	GunHen/OE	SAK
Revisjon	Dato	Tekst	Laget	Kontrollert	Godkjent
Logo: 			Etg. 000	System 710	Antall sider: Side 1 av 26
Prosjektnr. 10001444	Kontraktsnr: 187075	Lufthavn/invnr. BO000	Fag: G1	Dokumenttype: NO	Løpenummer: 0111 Revisjon: FE04

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
2	Regelverk.....	4
2.1	Generelt.....	4
2.2	Krav til sikkerhet	5
3	Terreng- og grunnforhold	6
3.1	Terreng.....	6
3.2	Utførte grunnundersøkelser	7
3.3	Planlagt lokalisering av banesystem	8
3.4	Løsmasser og fjell.....	9
3.5	Grunnens materialeegenskaper	10
3.5.1	Tolkning av ødometer- og treksialforsøk.....	11
3.5.2	Geotekniske styrkeparametere	12
4	Geotekniske vurderinger - områdestabilitet.....	15
4.1	Innledning	15
4.2	Vurdering av utførte grunnundersøkelser	15
4.3	Soneutredning	16
4.3.1	Potensielle aktsomhetsområder (løsne- og utløpsområder).....	16
4.3.2	Stabilitetsberegning – dagens situasjon	20
4.3.3	Stabilitet – mudring og permanent fase	21
4.4	Avgrenset faresone	23
4.5	Vurdering av faregrad	23
5	Innledende vurdering av fundamenteringsprinsipp	25
6	Referanser	26

Bilag

Bilag 1:Tegning 10001444-187075-BO000-G1-710-V-3205 Områdestabilitet i sjø - østre del. Avgrensning av løsne- og utløpsområde.

1 INNLEDNING

I forbindelse med etablering av Ny lufthavn Bodø (NLBO) er det behov for sjøfyllinger for å opparbeide nødvendig areal. Nye innflygingslys er planlagt på borede stålørspeler ute i sjøen. Mellom pelene etableres stålbro langs senterlinjen med tverrgående betongbroer for lysrekker på tvers. Dette notatet omhandler geotekniske vurderinger knyttet til områdestabiliteten for østre del der det er påtruffet mulig sprøbruddmateriale. Påtruffet sprøbruddmateriale medfører at prosjektområdet må utredes med tanke på sikkerhet mot kvikkleireskred iht. NVEs regelverk.

Lokalisering av østre del av ny flyplass er vist i figur 1.



Figur 1: Oversiktskart der ett av de foreløpige fyllingsalternativene (1E) er vist. De røde pilene viser lokaliseringen av bergnabber på kartet.

2 REGELVERK

2.1 Generelt

Plan og bygningsloven sier i §28-1 at grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Skredfare er et av temaene som skal inngå i risiko- og sårbarhetsanalyser, som beskrevet i plan og bygningslovens §4-3. TEK10 presiserer i §7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger, at byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger som flom, stormflo og skred.

NVEs veileder 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» (3), beskriver hvordan skredfare kan utredes. Utredning i henhold til denne veilederen tilfredsstiller gjeldende lovkrav. Ifølge NVEs retningslinjer bør en på kommuneplannivå som et minimum identifisere og markere områder med potensiell fare for skred (aktsomhetsområder). Når NLBO skal bygges, er det antatt at den nye kvikkleireveilederen som ble sendt på høring i 2019 vil være gjeldende. Derfor er deler fra denne tatt hensyn til i våre vurderinger. For eksempel er ikke påtruffet leire å klassifisere som sprøbruddmateriale ifølge den gjeldende veilederen, mens den nye vil klassifisere leiren som sprøbruddmateriale.

Det presiseres at foreliggende rapport er begrenset til kartlegging av potensielle fareområder i tilknytning til henholdsvis planlagt fylling og pelefundamentering for innflygningslys i østre baneende. Det er lagt opp til mudring av fyllingsfront for sjøfylling og rundt peler som kommer innenfor faresonen.

2.2 Krav til sikkerhet

Krav til sikkerhet i områdestabilitetsberegninger avhenger av tiltakskategori definert i NVEs veileder (3). Utbygging av ny flyplass vurderes som et prosjekt i tiltakskategori K4. Denne kategorien omfatter blant annet tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner. Krav til sikkerhet er vist i Figur 2.

Tiltakskategori. Type tiltak som inngår i tiltakskategorien	Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet for ulike faregrad		
	Faregrad før utbygging: Lav	Faregrad før utbygging: Middels	Faregrad før utbygging: Høy
K2: Tiltak som er nevnt under kategori K1 når tiltaket vil påvirke stabiliteten negativt dersom det ikke gjennomføres stabiliserende tiltak utenom selve tiltaket. Dersom tiltaket medfører tilflytting av personer skal tiltaket plasseres i tiltakskategori K3 eller K4.	a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Ikke forverring ** Kvalitetssikres av kollega.*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Ikke forverring hvis $F > 1,2$, eller c) Forbedring hvis $F \leq 1,2$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K3: Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi (utover tiltak i K0-K2). Ved planlagt større tilflytting/ personopphold gjelder K4. Eksempler er bolighus og fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, mindre utendørs publikumsanlegg, mindre næringsbygg, større VA-anlegg.	a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Ikke forverring** Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Ikke forverring hvis $F \geq 1,2$, eller c) Forbedring hvis $F < 1,2$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K4: Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold enn tiltak i K3 samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner. Eksempler er mer enn to eneboliger/fritidsboliger, rekkehus/boligblokk, bolig- og hyttefelt, skole og barnehage, sykehjem, større næringsbygg, kontorbygg, idretts- og industrianlegg, større utendørs publikumsanlegg, lokale beredskapsinstitusjoner.	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller b) Vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*

Figur 2: Krav til dokumentasjon av sikkerhet for tiltakskategori K2-K4 (1)

Kravene i Figur 2 gjelder områdestabilitet. For lokal stabilitet gjelder krav i Norsk standard. NIFS (2016) legges til grunn for bestemmelse av grense mellom lokal- og områdestabilitet. Dette innebærer at alt av tiltak og eksisterende skråninger innenfor en definert faresone skal ha materialfaktor større eller lik 1,4 ifølge NVE 2014. Høringsutgaven av den nye kvikkleireveilederen (2019) har noen foreslåtte endringer til krav om partialfaktor, men da den fortsatt er på høring er ikke kravene som er listet i høringsutgaven lagt til grunn.

3 TERRENG- OG GRUNNFORHOLD

3.1 Terreng

Sjøbunn er målt inn med akustikk i samband med prosjektet NLBO, og områder på land er basert på laserdata (alt av høyder er i NN2000). Disse innmålingene er lagt inn i en Novapoint-modell som brukes som basis for vurderingene presentert i denne rapporten.

Terrenget i østre del av den planlagte lufthavnen er relativt flatt med stedvis oppstikkende berg. Sjøbunnen innenfor arealet varierer mellom kote 0 og ca. kote -10. Det skal maksimalt fylles ut til kote -8 i henhold til de gjeldende planene. Mot sør starter marbakken på det nærmeste ca. 20 meter utenfor fyllingsfoten. Marbakken heller bratt med en helling på ca. 1:3 ned mot ca. 200 meters dybde, der hellingen begynner å avta. Marbakken består hovedsakelig av berg, med en del løsmasser på toppen over det slakere platået, men uten løsmasseavsetninger i selve skråningen. Unntaket er en begrenset forsenkning (søkk) i berget der det er avsatt noe løsmasser. Fyllingen er planlagt ca. 80 meter vest for dette området.



Figur 3: 3D-foto av prosjektområdet. Hentet fra norgebilder.no, 2020-01-20

3.2 Utførte grunnundersøkelser

Det er utført geotekniske undersøkelser på prosjektområdet. Grunnundersøkelsene er vist i:

- Datarapport fra grunnundersøkelser. Ny lufthavn Bodø, Ref. 1.
- Datarapport fra supplerende grunnundersøkelser. Ny lufthavn Bodø, Ref. 11.

I denne undersøkelsen er det utførte geotekniske undersøkelser på sjø i øst omfatter 14 totalsonderinger, 4 linjer med refraksjonsseismikk og 4 CPTU-sonderinger. I tillegg er det utført uforstyrret (54 mm) prøvetaking i 3 hull.



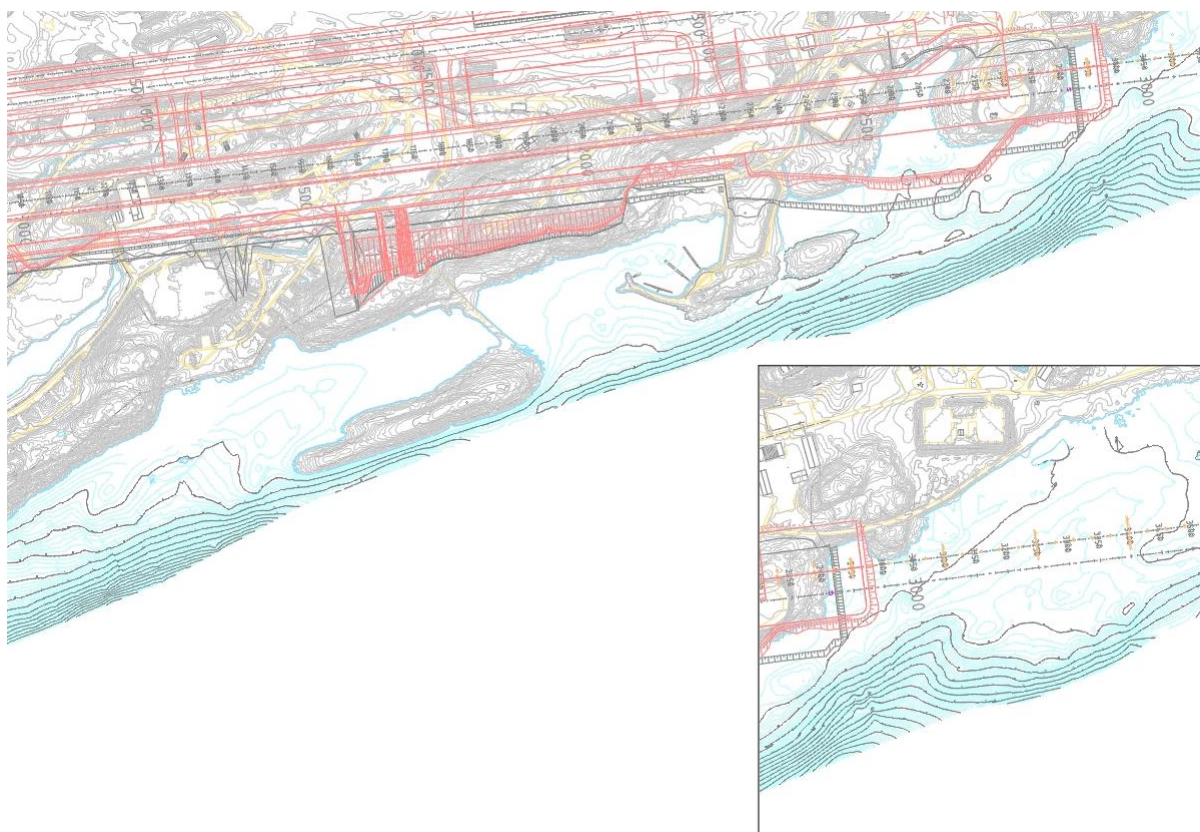
Figur 4: Plassering av refraksjonsseismikk linjene

Det er i tillegg utført supplerende grunnundersøkelser i 2020. Resultatet fra kompletterende grunnundersøkelse er hensyntatt i denne rapporten. Undersøkelsen inneholder kun totalsonderinger og en prøveserie. Borpunkter fra denne undersøkelsen er tatt med på Tegning 10001444-187075-BO000-G1-710-V-3205 Områdestabilitet i sjø - østre del. Avgrensning av løsne- og utløpsområde. Punktene har nummer merket med -NO20. Grunnundersøkelser utført i 2018 har borpunkt nummer merket -N18.

Alt av grunnundersøkelser er sammenstilt og lagt inn i prosjektets Quadri Novapointmodell.

3.3 Planlagt lokalisering av banesystem

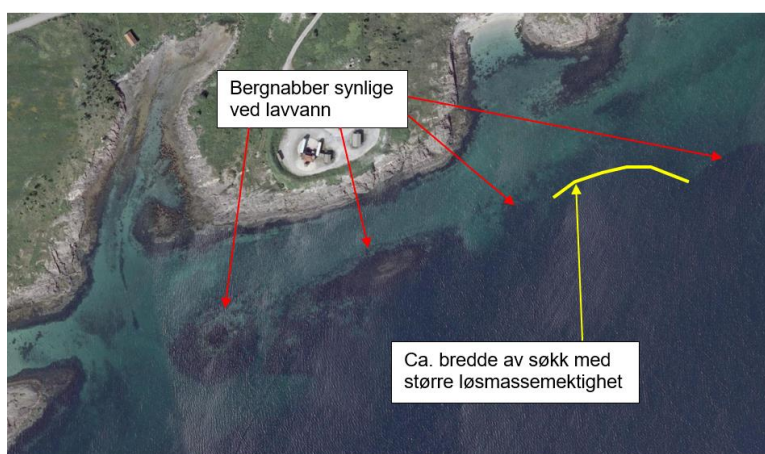
Det har vært arbeidet med flere alternative løsninger for detaljert lokalisering av banesystemet. De to mest aktuelle alternativene er vist på figuren nedenfor. Alternativ 1E ligger lengst sør, mens det andre alternativet (alt. 1E SP-3-R3) ligger lenger nord og lenger øst. Alternativ 1E-SP3-R3 er det alternativet som det har blitt valgt å arbeide videre med i forprosjektet, selv om alternativ 1E også er vist i denne rapporten. Foran fyllingen er det planlagt å etablere innflygningslys på en bru som fundamenteres med borede stålrørspeler til berg.



Figur 5: De to mest aktuelle alternativene, 1E (sorte streker) og 1E-SP3-R3 (røde streker)

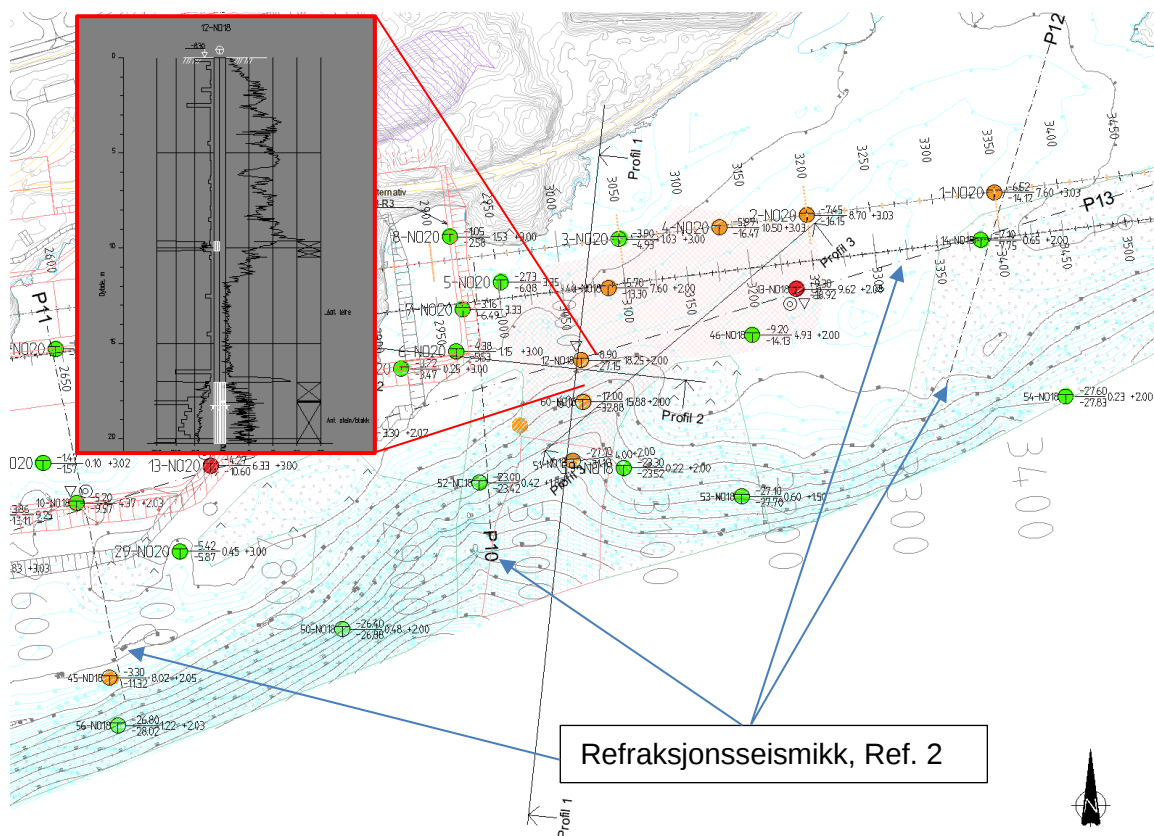
3.4 Løsmasser og fjell

Flyfoto av området er vist på Figur 6. Bildet viser berg i dagen under sjøen ved lavvann på historisk kart fra 2007 og et registret søkk med større løsmassemekthet.



Figur 6: Flyfoto av området. Hentet fra www.norgebilder.no, 2020-01-20

Generelt tilsier utførte sonderinger at grunnforholdene i sjøen på prosjektområdet i øst domineres av en lagdelt grunn bestående av sand og leire. Grunnforholdene består generelt av sand over normalkonsolidert bløt leire av varierende mektighet. De utførte totalsonderingene viser at løsmassemektheten varierer mellom ca. 0 – 20 meter. Sandens mektighet over leiren varierer fra ubetydelig til oppimot 12 meter, størst registrert leirmektighet er ca. 7 m i søkket som er lokalisert ca. 60 m sør for de planlagte landingslysene. Prøven tatt i hull 13 viser at leiren generelt er å klassifisere som mulig sprøbruddmateriale øst for planlagt fylling. Leiren har en udrenert aktiv skjærfasthet tilsvarende en normalkonsolidert leire.



Figur 7: Oversikt over utførte borer, refraksjonsseismikk, fylling 1E, fylling 1E-SP3-R3, innflygningslys og utklipp av totalsondering 12-NO18

Dybder til berg fra utført refraksjonsseismikk stemmer relativt godt med dybde til berg fra kontrollboringer som ble utført langs seismikk-linjene.

På noen steder er det litt differanse mellom seismikken og boringene. Dette er normalt og skyldes at seismikken ikke har samme nøyaktighetsgrad som boringene. Løsmassetype er ikke vektlagt/tolket fra seismikken i denne rapporten, da det er tolket samme p-bølgehastighet i bløt leire og sand i de oversendte profilene fra Geophysix, ref. (2).

3.5 Grunnens materialeegenskaper

Grunnen kan generelt deles opp i 2 lag.

1. Øvre lag med varierende mektighet bestående av sand/grus
2. Underliggende lag bestående av bløt leire ned til berg eller et morenelag av varierende mektighet

De opptatte prøvene viser at leiren er å klassifisere som mulig sprøbruddmateriale. Dette er basert på prøveserien som ble tatt opp i hull 13, øst for planlagt fylling langs innflygningslysene. Prøveserien viser en omrørt skjærstyrke < 2 kPa, mens sensitiviteten er < 15 . Dette hadde medført at leiren **ikke** er å klassifisere som sprøbruddmateriale iht. NVE (2014). Høringsutgaven av NVE (2019) har fjernet sensitivitet som en faktor ved klassifisering av sprøbruddmateriale og lagt til en faktor «Liquidity index (I_L)». Da denne klassifiseringen er antatt å ville være gjeldende ved bygging, er følgende definisjoner lagt til grunn:

- $C_{ur} < 2 \text{ kPa}$ = Sprøbruddmateriale
- $I_L > 1,2$ = Materiale med potensial for retrogressivt skred

Punktene der det er påtruffet tolket sprøbruddmateriale er vist på tegning 10001444-187075-BO000-G1-710-V-3205 (bilag 1).

Tabell 1: Sammenstilling av påtruffet sprøbruddmateriale

Hull nr	Kvikkleire 1) fra-til m	Sprøbrudd- materiale 2) fra-til m	Maks I_L	Min C_{ur} kPa	Tilhørende S_t
13	Ikke registrert	2 – 8	1,8	1,5	8

1) Kvikkleire dersom omrørt skjærstyrke er mindre eller lik 0,5 kPa

2) Sprøbruddmateriale dersom omrørt skjærstyrke er mindre eller lik 2,0 kPa

3.5.1 Tolkning av ødometer- og treaksialforsøk

Det ble utført 5 stykker CRS forsøk på prøver fra østre del av sjøarealet, 1 fra hull 10, 1 fra hull 11 og 3 fra hull 13.

Tabell 2: Tolkete parameterer fra utførts CRS forsøk

Hull	Dybde	Beregnet overlagrings-trykk p_o' (kPa)	Tolket prekonsoliderings-trykk p_c' (kPa)	OCR (-)	Modultall m (-)	M_{OC} M (MPa)	Konsolideringskoeffisient p_{nc}' c_v (m ² /år)	Konsolideringskoeffisient p_c' c_v (m ² /år)
10	2,4	22	75	3,5	17	6,5	12	15
11	1,7	15	45	2,9	17	2,5	2	9
13	2,4	22	-	-	20	-	10	-
13	5,3	48	48	1,0	17	1,5	25	60
13	6,6	59	70	1,2	18	2,0	6	12

Det ble utført 4 stk. aktive udrenerte treaksialforsøk på prøver fra øst, der 1 av prøvene var fra hull 10, 1 fra hull 11 og 2 fra hull 13.

Tabell 3: Tolkete parameterer fra utførts aktive udrenerte treaksialforsøk

Hull (m)	Dybde (m)	Tolket ved tøyning ϵ (%)	Fiksjonsvinkel (ϕ)	Attraksjon (kPa)	S_{uc} (kPa)	Prøvekvalitet
10	1,8	1,0	24	10,0	9	Dårlig
11	3,6	1,0	22	10,0	8	Akseptabel
13	5,4	0,5	24	10,0	17	Dårlig
13	6,7	0,5	23	10,0	20	Dårlig

Da det generelt er en god del prøveforstyrrelse av prøvene, brukes de høyere tolkede verdiene fra treaksialforsøkene i de videre vurderingene.

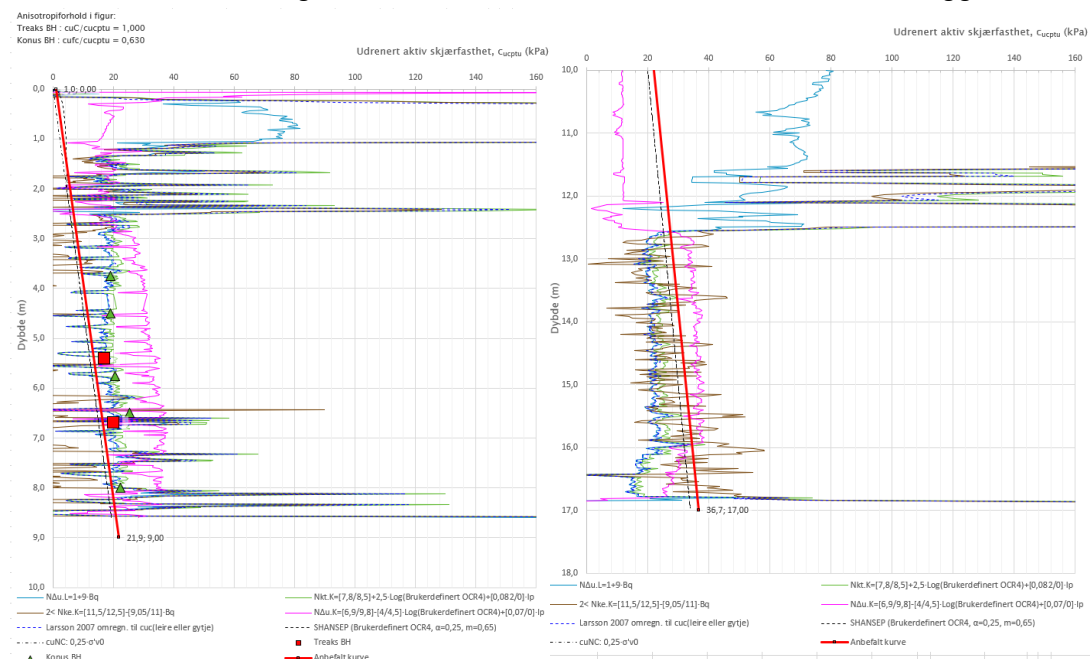
Det ble i tillegg utført ett passivt treaksialforsøk på en prøve fra hull 13.

Tabell 4: Tolkete parameterer fra utførts passive udrenerte treaksialforsøk.

Dybde (m)	Tolket ved tøyning ϵ (%)	Fiksjonsvinkel (ϕ)	Attraksjon (kPa)	S_{uc} (kPa)	Prøvekvalitet
5,5	1,0	14	0	6	Dårlig

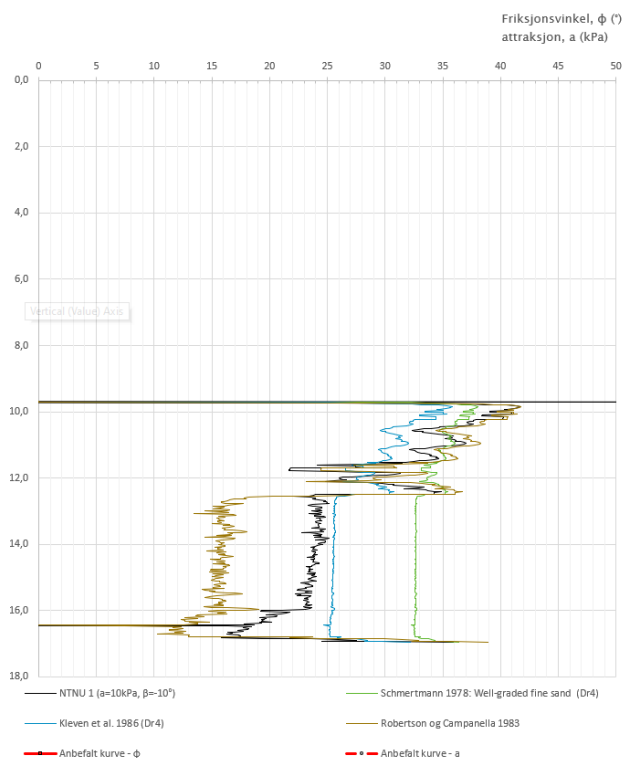
3.5.2 Geotekniske styrkeparametere

Brukte styrkeverdier i stabilitetsberegningene er oppsummert i tabell 5. Da prøvene fra leiren generellt viser at leiren er tilnærmet normalkonsolidert, brukes en styrkeøkning med dybden som er basert på erfaringsverdier for NC-leire med noe «ageing effekt» ($\Delta s_{u,A} = 0,27 \times 9 \text{ kN/m}^3 = 2,43 \text{ kPa/m}$ og $\Delta s_{u,A} = 0,27 \times 8 \text{ kN/m}^3 = 2,16 \text{ kPa/m}$ når leiren ligger under sand).



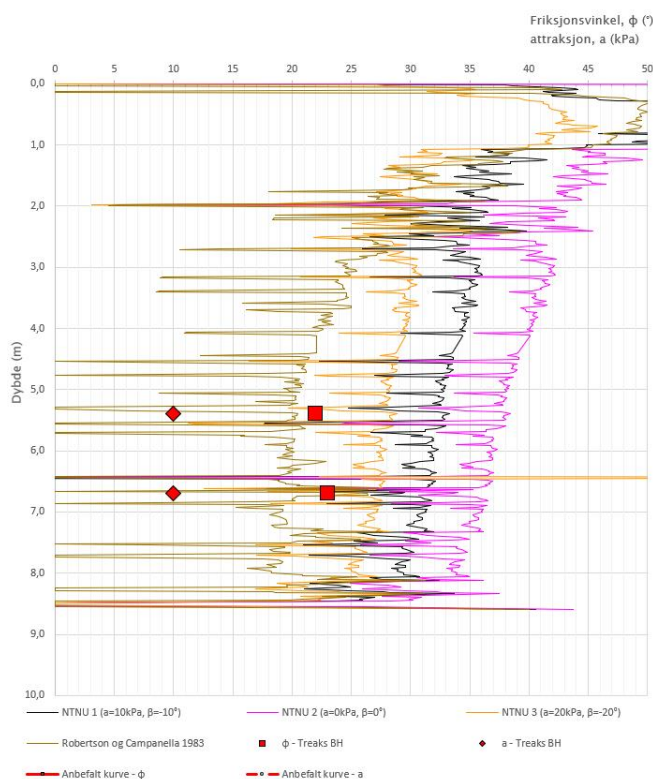
Figur 8: Venstre figur - Trykksonderinger utførte i hull 13 sammen med labbresultat fra samme hull. Høyre figur - Trykksondering fra hull 12 sammen med 0,27*p0' linjen.

Valg av effektive styrkeparametere i sanda er basert på tolkninger av trykksonderinger (CPTU), sammen med erfaringstall fra Håndbok V220 (Ref. 4). Tolkningene er vist i figurene under.



Figur 9: Trykksonderinger utførte i hull 12-NO18

Totalsonderingsprofilen i hull 12-NO18 viser høyere motstand i de øvre lagene, der det ikke er utført trykksondering. Basert på det, er det rimelig å anta at friksjonsvinkelen i det øvre sandlaget er minst like høy som mellom 10 - 12 m.



Figur 10: Trykksonderinger utførte i hull 13-NO18

I borpunkt 13-NO18 er det sand kun i den øverste meteren. Her viser trykksoneringsen høye verdier for friksjonsvinkelen. I leira er det valgt verdier primært basert på treksialforsøkene.

Parametere benyttet i stabilitetsberegningen er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Valgte parametere for stabilitetsberegningene

Lag	γ/γ' (kN/m ³)	Effektive styrkeparametere, c/ϕ' (kN/m ² / grader)	Udrenert aktiv skjærfasthet, $S_{u,A}$ (kN/m ²)
Sprengstein	19/12	5/42	-
Sand/grus	18/8	5/35	-
Leire	19/9	4/24	$0,27 \cdot p_0'$
Morene	19/9	8/38	-

Valg av ADP-faktorer for udrenert beregning baseres på anbefalinger fra NIFS (Ref. 5). Dette på bakgrunn av at de utførte laboratorieforsøkene til stor grad er påvirket av prøveforstyrrelse. Det er valgt følgende ADP-forhold:

$$\frac{Su_D}{Su_A} = 0,63$$

$$\frac{Su_P}{Su_A} = 0,35$$

Bransjepraksis har vært at tolkinger av udrenert skjærfasthet reduseres for sprøbruddsoppførsel hvis korrelasjonene er basert på blokkprøver. Under arbeidet med NIFS virker det som at bransjen begynner å være relativt enig i at dette ikke behøves når det handler om områdestabiliteten for naturlige skråninger uten vesentlige spenningsendring (Ref. 8 og Ref.9). Dette ansees å være tilfellet her. Det er derfor valgt å ikke redusere aktiv skjærfasthet for beregning av den opprinnelige skråningsstabiliteten. Ved tiltak innenfor faresonen som medfører spenningsendringer i grunnen, blir den aktive udrenerte skjærfastheten redusert.

4 GEOTEKNISKE VURDERINGER - OMRÅDESTABILITET

4.1 Innledning

Da det er påvist mulig sprøbruddmateriale under deler av sjøbunnen, må områdestabiliteten med tanke på sikkerhet mot kvikkleireskred utredes iht. NVEs kvikkleireveileder (Ref. 3). Norconsults vurdering av områdestabiliteten må iht. NVEs retningslinjer sendes til en uavhengig kvalitetssikring. Det er forventet at Avinor sender ut rapporten til kontrollør.

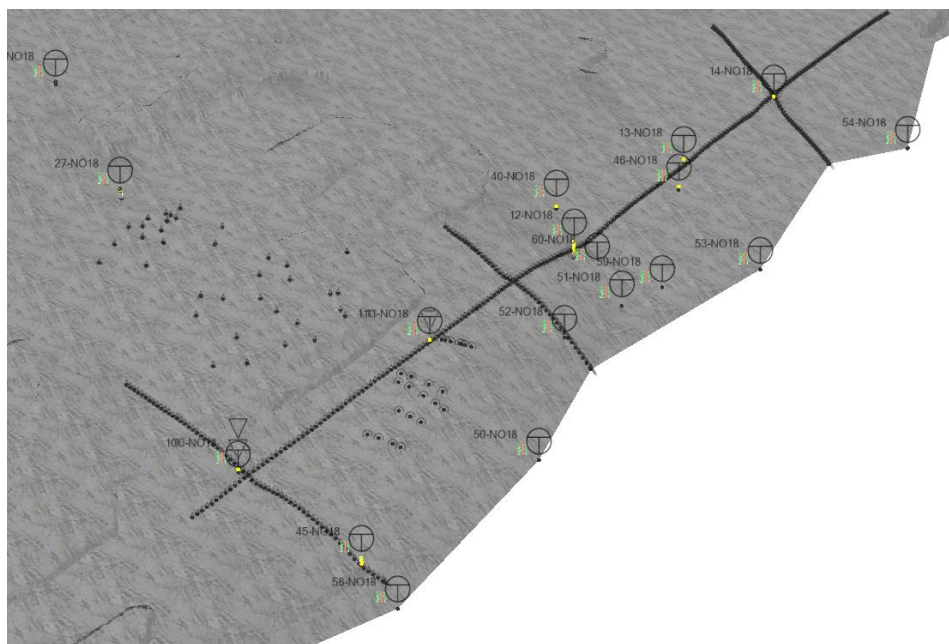
Avgrensingen av faresonen er vurdert etter retningslinjene angitt i NVE (2014) og høringsutgaven av NVE (2019).

4.2 Vurdering av utførte grunnundersøkelser

På situasjonsplanen for de utførte boringene (Ref. 1) er 3 av de utførte totalsonderingene supplert med prøvetaking og 4 med trykksonderinger.

Resultat fra CPTu i borpunkt 12-NO18 og 13-NO18 er sammen med de utførte laboratorieanalysene fra hull 13 benyttet for fastsettelse av de mekaniske egenskapene i det bløte leirlaget. Kalibreringsskjema og kvalitet av CPTuene som er benyttet i vurderingene er angitt i Ref. 1.

Dataen fra de utførte boringene er sammen med seismikken brukt i Novapoint for å lage en fjelloverflate sammen med synlig berg i dagen, flaten er vist i figur 11 (bergoverflate er vist med grå farge).



Figur 11: Generert fjelloverflate i Novapoint brukt i beregningene

4.3 Soneutreding

4.3.1 Potensielle aktsomhetsområder (løsne- og utløpsområder)

Et potensielt aktsomhetsområde for kvikkleireskred er vurdert å være begrenset av skredfaren i det registrerte løsmassesøkket, se tegning 10001444-187075-BO000-G1-710-V-3205 (bilag 1). Utstrekningen av aktsomhetsområdet begrenses av topografiske forhold, registrert berg og omfang av påvist sprøbruddmateriale. Det er planlagt mudring ned til fast grunn under fronten av planlagt sjøfylling for banesystemets østre del. Dette vil stoppe et eventuelt retrogressivt skred fra marbakken og innover mot land fra å kunne gå inn under fyllingen. I tillegg viser opptatte prøver fra hull (10 og 11), under fyllingsområdet, at leiren ikke er å klassifisere som sprøbruddmateriale under planlagt fylling. Det ble dog påtruffet sprøbruddmateriale ved de supplerende undersøkelsene i hull 13-NO20 i et tynt lag. Men da dette hullet er lokalisert mellom hull 10 og 11 er det vurdert å være en lokal forekomst og ikke et sammenhengende lag i dette område. Punkt 13-NO13 ligger langt fra den definerte sonen, og har et område med oppstikkende berg på sørsiden mot marbakken. Vår vurdering er at det kun er innflygingslysene som eventuelt kan rammes av et områdeskred, da det kun er løsmassesøkket i marbakken som er vurdert å være et potensielt løsneområde.

Et eventuelt initialscred er vurdert å kun ha mulighet til å starte innenfor løsmassesøkket, da marbakken ellers virker å bestå av berg som kun stedvis er dekket med tynnere lag av løsmasser. Løsneområdet avgrenses mot vest og øst av registrert berg, samt vurdert avstand vist i profil 2 og 3. Platået bakover fra kanten av marbakken, der innflygingslysene er planlagt, har en gjennomsnittlig helning på ca. 1:15 mot marbakken. Mot prosjektområdet der innflygningslysene er planlagt (nord) er løsneområdet fra søkket begrenset til ett kritisk snitt (profil 1).

Gjeldende kvikkleireveileder fra 2014 (ref. 3) setter ikke noe absolutt krav på hvordan et løsneområde skal avgrenses. Anbefalingen er at avstanden 1:15 fra bunn av skråning kan legges til grunn for hvor langt et retrogressivt skred kan påvirke bakover fra et initialscred. Det er i dette tilfellet lagt til grunn de retningslinjene som er foreslått i høringsutgaven av NVE (2019).

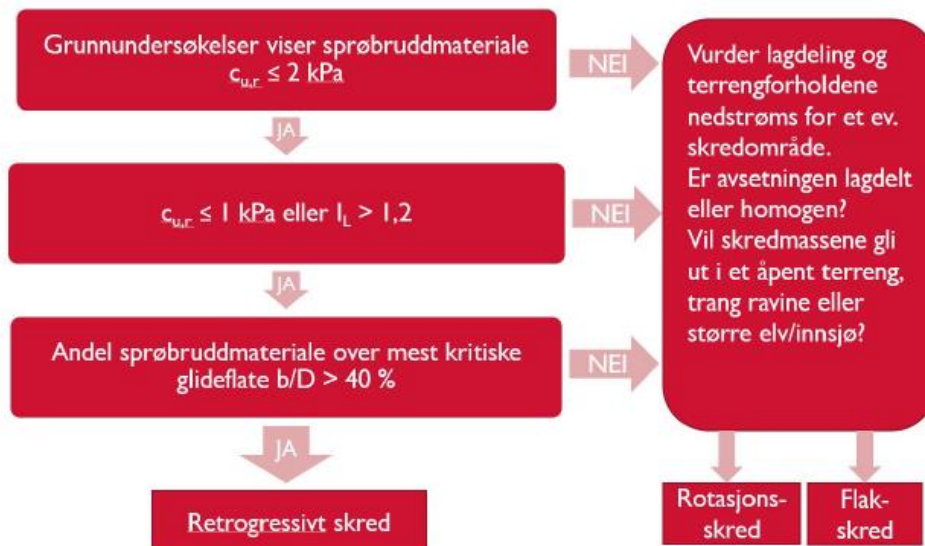
Norconsults faglige vurderinger av omfanget av en eventuell faresone samsvarer bedre med metodikken som er foreslått i NVE (2019). Dette er basert på:

- Løsmassenes begrensede omfang. Løsmasser av betydelig mektighet er begrenset til et definert søkk i marbakken
- > 1,0 kPa omrørt skjærstyrke. Registrert omrørt skjærstyrke varierer fra mellom ca. 1,5 - > 2,5 kPa i hull 13
- < 15 i sensitivitet for de opptatte prøvene, høyest registrerte sensitivitet er 8. Det vil si at leiren ikke er å klassifisere som sprøbruddmateriale iht. gjeldende kvikkleireveileder
- Den relativt høye sikkerheten mot glidninger for naturlig skråning.
- Bergets helling oppover mot de planlagte innflygningslysene og derav avtagende løsmassemekktighet
- Sjøbunnens slake helling bakenfor der lysene er planlagt

Alt dette gjør at det anses som usannsynlig at et skred som starter i søkket ved marbakken kan nå lengre bakover enn det retningslinjene i NVE (2019) angir.

Følgende metodikk er lagt til grunn for å avgrense hvor langt et eventuelt skred kan spre seg bakover mot innflygningslysene:

1. Potensiell skredmekanisme er vurdert med hjelp av følgende flytskjema:

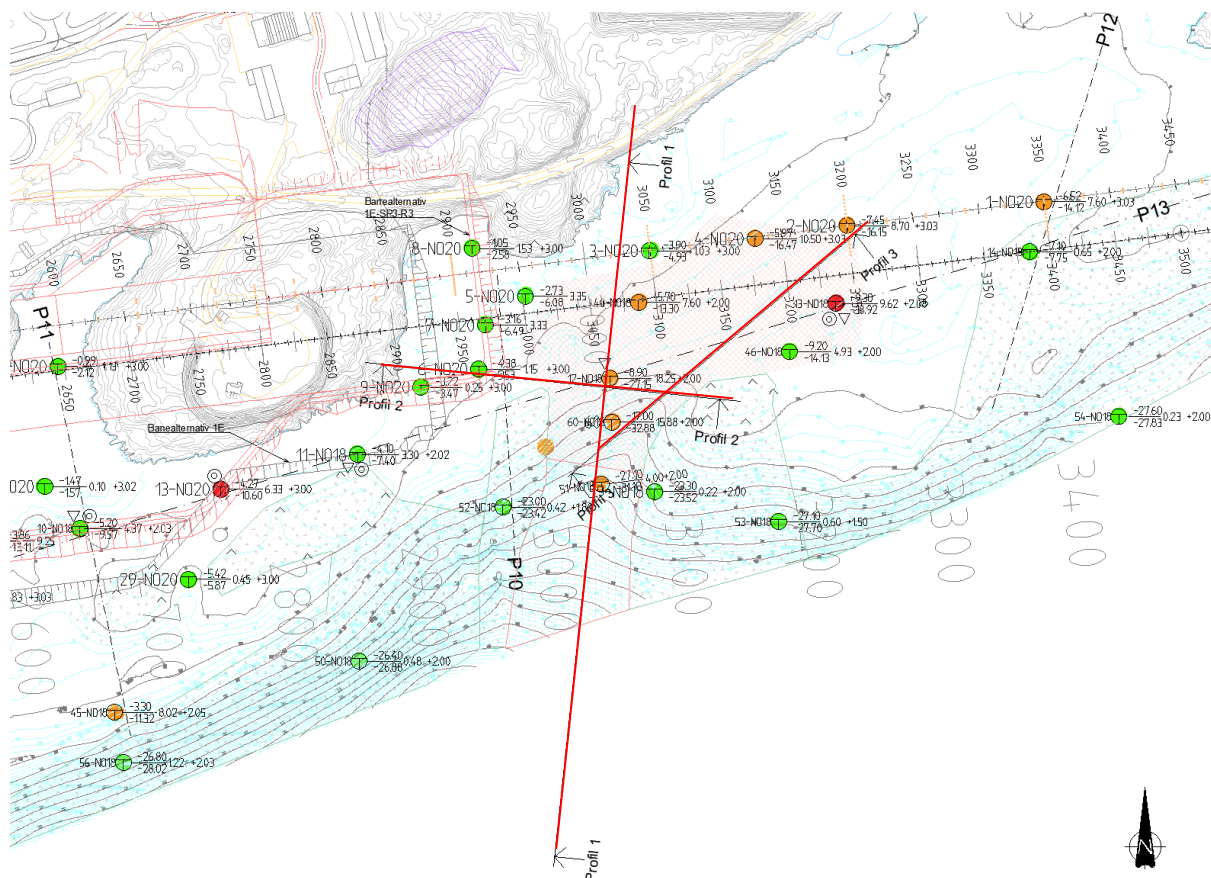


Figur 12: Flytskjema hentet fra høringsutgave av kvikkleireveilederen (2019)

Ved å følge flytskjemat er den sannsynlige bruddmekanismen i dette tilfellet et retrogressivt skred ($I_L > 1,2$).

2. Kritiske snitt er deretter vurdert
3. Videre er utstrekningen av hvor langt et slikt skred kan nå, basert på NGI-metoden beskrevet i høringsutgaven til NVE (2019)

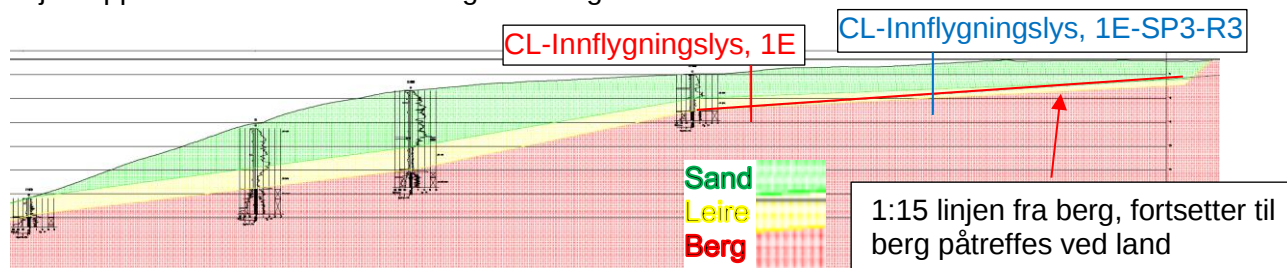
Det er foretatt en stabilitetsberegning for kritisk snitt ut mot sjøen (Profil 1). Plasseringen av snittet fremgår av Figur 13.



Figur 13: Plassering av profiler

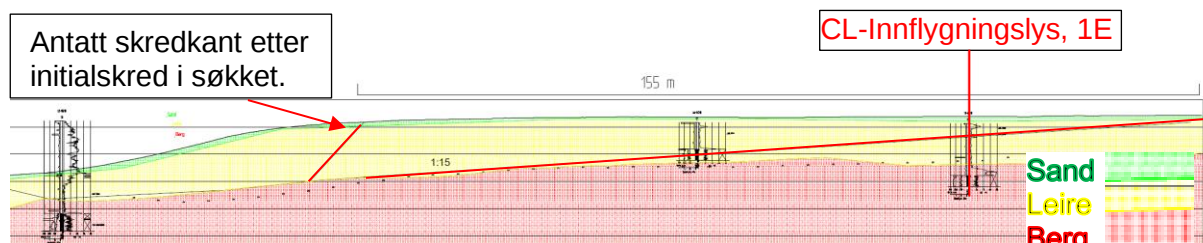
Profilen anses som representativt for løsmassesøkket. Profilet er avgrenset av berg i vest og øst, tolket bredde av søkket med løsmasser er som maksimalt ca. 70 meter. Derav er det inkludert tredimensjonale effekter i beregningene. Dette på grunn av at en eventuell initial utglidning vil være begrenset av berget sideveis. Geosuite stability foreslår sidefriksjonsfaktor lik $2/B$ der B er bredde på glideflaten inn i plan. For å være på konservativ side brukes 50 % av denne effekten, med $B=70$.

Beregninger uten 3D-faktor er utført for å synliggjøre 3D-effekten. Det er deretter lagt en 1:15 linje som tangent til kritisk glidesirkel for Profil 1. Der berg påtreffes av 1:15 linjen flyttes linjen opp til den har slakere helning enn berget.



Figur 14: Profil 1, avgrensing mot nord

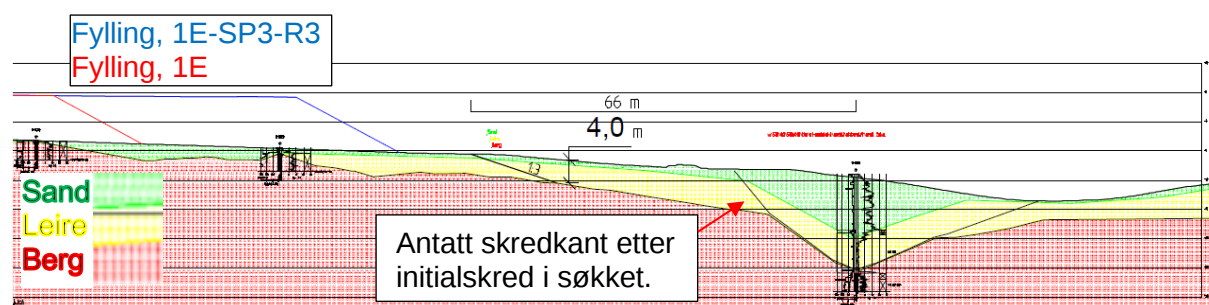
Avgrensning mot vest og øst er basert på Profil 2 og 3 der lagdelingen ligger til grunn for avgrensningen. Mot øst, profil 3, er det lagt til grunn en 1:15 linje fra bergoverflaten ved antatt skredkant til denne treffer sjøbunnen. Plassering av skredkant er basert på stabilitetsberegninger utført for profil 1. Øst for avgrenset sone er det også et parti der sjøbunnen stikker opp, der det er antatt å være små dybder til berg. Sonen er derfor ikke trukket inn over dette området.



Figur 15: Utklipp av deler av Profil 3, avgrensning mot øst

Mot vest er det vurdert at når løsmassemekktigheten er < 4 meter er det usannsynlig at skredet har retrogressiv oppførsel. Dette fordi helningen bakover er tilnærmet horisontal i tillegg til den begrensede høydedifferansen. Derfor er det lagt en linje 1:3 fra bergnivå som avgrensning når løsmassemekktigheten mot vest er < 4 meter.

Sør for den planlagte fyllingen begrenses den angitte sonen av berg i dagen, små dybder til berg og at det er ikke avdekket sprøbruddmateriale. Opptatte prøver og totalsonderinger i borpunkt 10-NO18 og 11-NO18 angir ikke sprøbruddmateriale. Nytt borpunkt 13-NO20 viser 6,3 meter til berg, her er det registrert et tynt lag med sprøbruddmateriale. Borpunkt 29-NO20, som også er tatt sør om fyllingen mellom 2 synlige bergområder, viser 0,5 meter med faste løsmasser over berg.



Figur 16: Utklipp av deler av Profil 2, avgrensning mot vest

Overgangen mellom løsneområde og utløpsområde er plassert der de kritiske skjærflatene kommer ut, rundt borpunkt 51-NO18, jfr. Figur 17 og Figur 18. Norconsult mener dette er et riktig prinsipp, selv om plasseringen er beheftet med noe usikkerhet.

4.3.2 Stabilitetsberegning – dagens situasjon

Stabilitetsberegningene er utført med Geosuite stabilitet V16.1.1. Geosuite stabilitet baserer seg på en 2-dimensjonal likevektsbetraktning i bruddgrensetilstand. Alle beregninger for sonens stabilitet er utført for Profil 1.

Lagdeling

Tolket lagdeling i området, baserer seg primært på utførte totalsonderinger, laboratorieanalyser og trykksonderinger.

Havnivået er i beregningene lagt som et hydrostatisk grunnvannsspeil fra LAT (-178 cm).

Brudmekanismer

Aktuelle brudmekanismer vurderes til å være et rotasjonsskred/flaskskred som starter ved bunn av marbakken med eventuell retrogressiv spredning bakover.

Det vurderes som lite sannsynlig at et retrogressivt skred sprer seg mer enn angitt avgrenset sone. Denne vurderingen er basert på:

- Områdets i utgangspunktet relativt høye sikkerhet mot glidning
- Omrørt skjærstyrke $> 1,0$ kPa og sensitivitet < 15
- Terrengets utforming med bergnabber som kommer opp rundt søkket, samt det plane (slakt hellende) arealet bak marbakken der lysene er planlagt

Resultat

Utførte stabilitetsberegninger er vist på figur 17 og 18. Resultatene er oppsummert i Tabell 6.

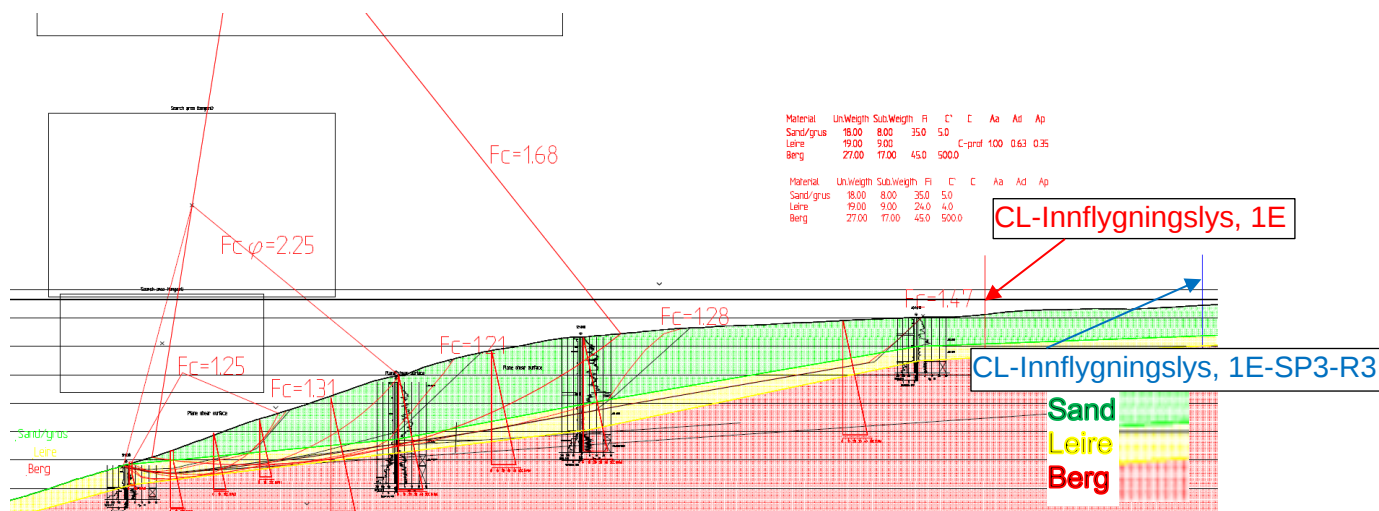
Tabell 6: Resultat fra stabilitetsberegning

Situasjon	Partialfaktor på materialet – oppnådd
Dagens situasjon - ADP (totalspenningsanalyse)	1,21 ¹ 1,09 ²
Dagens situasjon -a-phi (effektivspenningsanalyse)	2,25 ¹ 2,19 ²
Lange glideflater til planlagte peler - ADP (totalspenningsanalyse)	1,47 ¹ 1,24 ²

1) Med 3D effekter

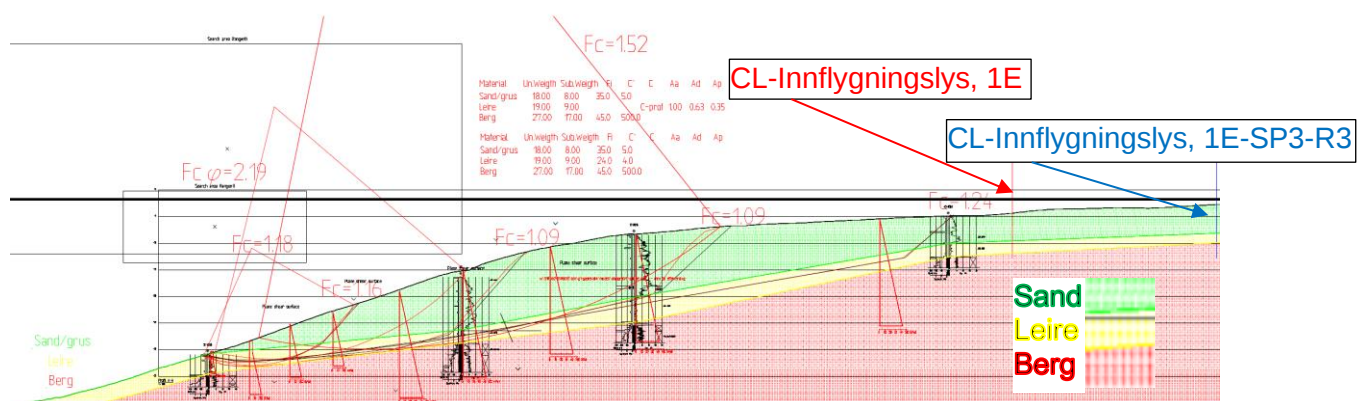
2) Uten 3D effekter

Figur 17 viser en stabilitetsberegning med 3D effekter.



Figur 17: Stabilitetsberegning med 3D effekter (innflygningslysene kommer omtrent ved boring 40-NO18)

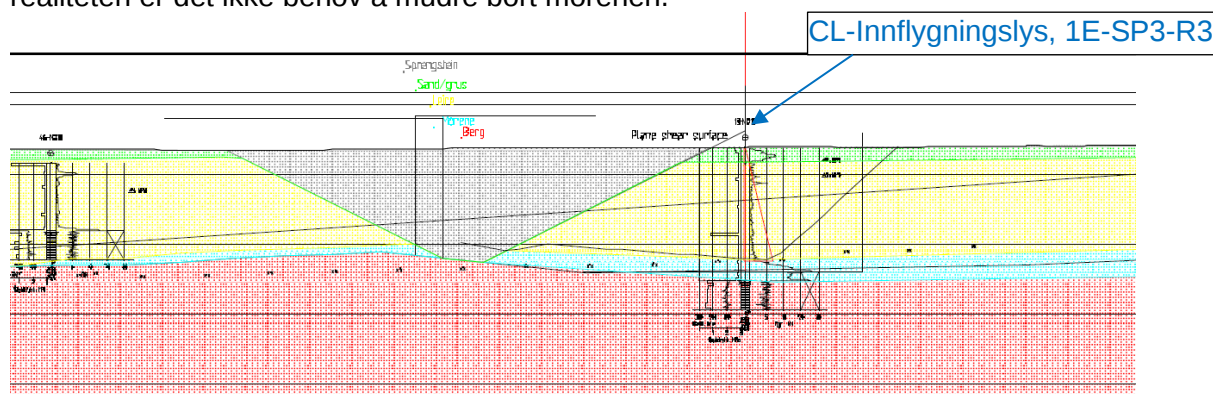
Figur 18 viser en stabilitetsberegning uten 3D effekter.



Figur 18: Stabilitetsberegning uten 3D effekter

4.3.3 Stabilitet – mudring og permanent fase

Programvare og forutsetninger er generelt som for dagens situasjon, presentert i kap. 4.3.2. Unntaket er et nedre morenelag som er innført over berg, da dette er mer fremtredende i de grunnere områdene for profil 3. Beregninger er utført i profil 3 for en situasjon der det mudres og fylles tilbake med sprengstein foran innflygningslysene. Skissen er av illustrativ type, i realiteten er det ikke behov å mudre bort morenen.

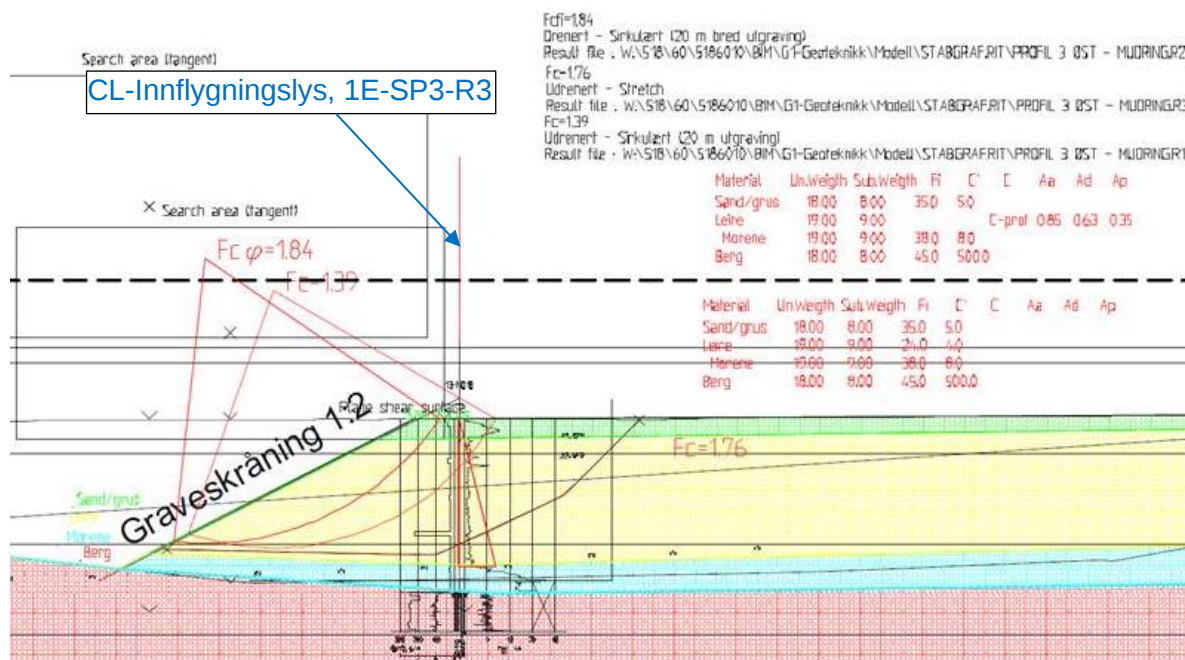


Figur 19: Permanent situasjon etter mudring

Det er beregnet stabilitet for to situasjoner langs profil 3 for alternativet 1E-SP3-R3, da dette alternativet er det som prosjektet per nå jobber videre med.

Mudring:

Stabilitet er kontrollert for et snitt rett sør for planlagt plassering av innflygningslys, langs profil 3. En skråningshelning for mudringen på 1:2, gir en sikkerhet på ca. 1;4 for et profil med større leirmektighet enn for mesteparten av mudringsrenna. Det er forutsatt 20 m lange seksjoner, og 3D-effekt tilsvarende 20 m bredde er tatt med i beregningen.

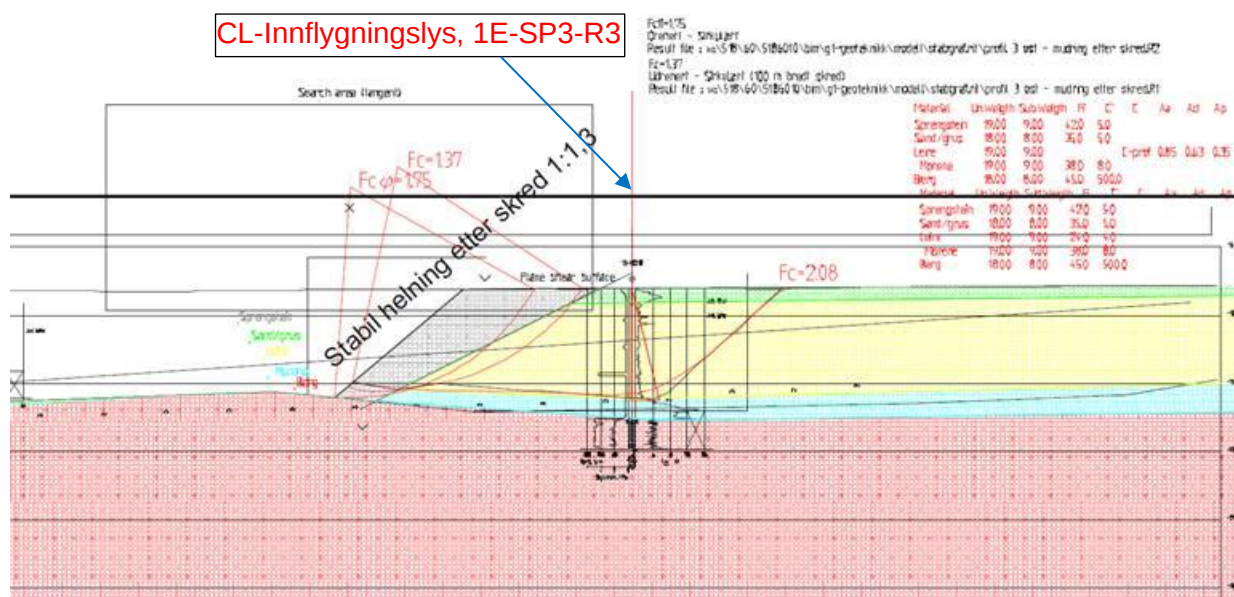


Figur 20: Stabilitetsberegning for Mudring (profil 3)

Etter et potensielt skred:

Det er beregnet å være nødvendig med masseutskifting i en bredde på minimum 4 meter ned til berg.

I beregningen har det konservativt forutsatt at steinfyllingen står igjen med helning 1:1,3 ved hendelse av et skred (sannsynligvis står den igjen brattere enn 1:1 i realiteten og resterende del av sprengsteinen legger seg foran skred kant). Denne situasjonen har en sikkerhet på rundt rett under 1,4, og er vurdert å være tilfredsstillende.



Figur 21: Stabilitetsberegning etter potensielt skred (profil 3)

Resultat

Utførte stabilitetsberegninger er vist på figur 20 og 21. Resultatene er oppsummert i Tabell 7.

Tabell 7: Resultat fra stabilitetsberegning

Situasjon	Partialfaktor på materialet – oppnådd
Mudringsstabilitet (20 m bred seksjon) (totalspenningsanalyse)	1,39 ¹
Stabilitet etter 100 m bredt skred (totalspenningsanalyse)	1,37 ¹

1) Med 3D effekter, godtar noe under 1,40 da profilene/situasjonene generelt er konservative.

4.4 Avgrenset faresone

Kartlagt faresone er vist på tegning 10001444-187075-BO000-G1-710-V-3205 (bilag 1).

4.5 Vurdering av faregrad

Vurdering av faregrad er utført i henhold til NVEs veileder, og presentert i figuren under. Faresonen vurderes til klasse 1, lav faregrad.

Kommentarer til valg av faregrad for noen tema er gitt nedenfor.

Tidligere skredaktivitet:

Tidligere skredaktivitet er vurdert på et overordnet nivå der vi har informasjon om bunntopografi, og som kan påvirke tiltaksområdet. Vår vurdering er at dette ikke avdekker tegn på tidligere skredaktivitet. I fordypningen der det er løsmasser av betydning, ville et tidligere skred ha tatt med seg det meste av løsmasser.

Skråningshøyde:

Maksimal skråningshøyde er vurdert å være høyden på løснеområdet.
Det vises til figur 4.1 i NVE Veileder 7/2014; Sikkerhet mot kvikkleireskred.
Høyden kommer frem i Figur 17 og Figur 18, og er vurdert å ligge på rundt 25 meter.

Erosjon:

Erosjon er vurdert å være lite relevant for vurdering av områdestabiliteten i sjøen. Bølgeerosjon kan oppstå i sand i de grunneste områdene, der bølgene bryter inn mot land. Dette er ikke kritisk for de dype glideflatene med lavest sikkerhet, der vanddypet er rundt 10 m eller mer.

Inngrep:

Etablering av steinfylling skal utføres på en slik måte at lokalstabiliteten er ivaretatt. Beregninger for stabilitet under mudring er tatt med i kap. 0. Etter mudring og tilbakefylling med stein er stabiliteten vurdert å være som før eller forbedret. Dette er dokumentert i beregninger der masseutskiftingen er inkludert.

Vedlegg 1

Klassifisering av kvikkleirefaresone

Norconsult

Basert på: "Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire." NGL-Rapport 20001008-2, Revisjon 3, datert 8. oktober

Norconsult-oppgagsnr.	5186010									
Oppdragsgiver:	Avinor									
Oppdragsnavn:	Ny lufthavn Bodø									
Sted:	Bodø - Bodø kommune									

Faktor	Vekttall	Faregrad, score				Score	Sum	Kommentar
		3	2	1	0			
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	0	0	Ingen kjente skredaktivitet
Skråningshøyde (m)	2	>30	20-30	15-20	<15	2	4	Ca. 23 m i det bratteste
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	3	6	Ødometerforsøk viser OCR lik 1,0 - 1,2. Derfor er det lagt til grunn (OCR = 1-1.2)
Poretrykk, Overtrykk (kPa)	3	>+30	10-30	0-10	Hydrostatisk	0	0	Ikke målt, men antas å være hydrostatisk ut fra topografiske forhold
Poretrykk, Undertrykk (kPa)	-3	>-50	-(20-50)	-(0-20)	Hydrostatisk	0	0	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	2	4	Konservativt er det antatt ca. 1/3 av høyden
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	0	0	Maks påvist sensitivitet er 8 i borpunkt 13
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen	1	3	Konservativt er det antatt lite erosjon
Inngrep: Forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen	0	0	Tiltaket vil ikke medføre noen forverring
Inngrep: Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	Ingen	0	0	Ingen forbedring
Sum							17	

Faregrad	lav
0 - 17 = lav	
18 - 25 = middels	
26 - 51 = høy	

Dato	11.12.2019
Utført	VikRen
Kontrollert	GunHen
Godkjent	SAK

Figur 22: Faregradsklassifisering

5 INNLEDENDE VURDERING AV FUNDAMENTERINGSPRINSIPP

Slik fyllingen for østre del av banesystemet er planlagt, ligger den utenfor den kartlagte faresonen. Hvis fyllingen flyttes innenfor faresonen i en senere prosjektfase, kan tiltak være å mudre ned til fast grunn under fyllingsfronten for å avskjære fyllingen fra sonen. Det er lagt opp til mudring av fronten for sjøfyllingen i øst med tilbakefylling med sprengstein for å oppnå tilstrekkelig lokalstabilitet. Dermed avskjæres fyllingen uansett fra et eventuelt retrogressivt skred som starter innenfor den kartlagte faresonen.

Alle dagens banealternativer har innflyginingslys innenfor den kartlagte faresonen. Foreslått tiltak vil være mudring foran pelene for alle banealternativer, der det som skiller mellom alternativene er volum mudring.

Når ny utgave av kvikkleireveilederen fra NVE foreligger (sendt ut på høring i 2019), må konsekvensen av eventuelle nye krav vurderes. Hvis ny veileder viser at beregnede partialfaktorer (stabilitet) er innenfor kravene, kan tiltak for innflygningslysene utgå.

Dagens stabilitetsforhold for eksisterende skråning tilfredsstiller ikke kravene til et tiltak i tiltakskategori 4 (K4) innenfor faresonen. Dette er iht. gjeldende utgave av kvikkleireveilederen (NVE, 2014). Avbøtende tiltak kan være å mudre ned til fast grunn i en 4 meter bred renne og tilbakefylle med sprengstein der det kommer peler for innflygningslys innenfor faresonen. Derved avskjæres disse fra et eventuelt skred som starter innenfor den kartlagte faresonen. Stabilitet for et slik tiltak er vist under 4.3.3. For alternativ 1E-SP3-R3 er det behov for dette mellom profil 3070 – 3170. Alternativt kan det utføres analyser der skredtrykket fra et retrogressivt skred mot pelene vurderes/beregnes for å se om det er mulig å etablere et system der denne kraften opptas i pelene.

6 REFERANSER

- REF. 1 RAMBØLL (2019): GEOTEKNISK DATARAPPORT, NY BODØ LUFTHAVN
- REF. 2 GEOPHYSIX (2019): REFRAKSJONSSEISMISKE UNDERSØKELSER PÅ SJØEN. NY LUFTHAVN BODØ.
- REF. 3 SIKKERHET MOT KVIKKLEIRESKRED, VEILEDER NR 7-2014, NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
- REF. 4 GEOTEKNIKK I VEGBYGGING, HÅNDBOK V220, VEGDIREKTORATET 2014
- REF. 5 NATURFAREPROSJEKT DP. 6 KVIKKLEIRE – EN OMFORENT ANBEFALING FOR BRUK AV ANISOTROPIFAKTORER I PROSJEKTERING I NORSKE LEIRER, NVE 2014
- REF. 6 RAPPORT NR 14-2016, METODE FOR VURDERING AV LØSNE- OG UTLØPSOMRÅDER FOR OMRÅDESKRED. NATURFAREPROSJEKT: NVE, 2016
- REF. 7 KARLSRUD, K., LUNNE, T., KORT, D.A. OG STRANDVIK, S. (2005): CPTU CORRELATIONS FOR CLAYS. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 16. OSAKA 2005. PROCEEDINGS, VOL. 2, PP. 693-702.
- REF. 8 NATURFAREPROSJEKT DP. 6 KVIKKLEIRE (2015): RAPPORT 104. WORKSHOP OM SIKKERHETSFILOSOFI.
- REF. 9 NGI (2014): ANBEFALING TIL NY SIKKERHETSFILOSOFI I FORBINDELSE MED UTBYGGING/TILTAK I OMRÅDER MED SENSITIV LEIRE.
- REF. 10 SIKKERHET MOT KVIKKLEIRESKRED (HØRINGSOKUMENT), NR 3-2019, NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
- REF. 11 NORCONSULT (2020): GEOTEKNISK DATARAPPORT. SUPPLERENDE GRUNNUNDERSØKELSER, NY BODØ LUFTHAVN