

Breivika Utvikling Bodø AS

► **Utviklingsområde vest**

Vurdering av områdestabiliteten

Oppdragsnr.: 5192886 Dokumentnr.: 5192886-RIG04 Versjon: 02 Dato: 2020-04-27



Oppdragsgiver: Breivika Utvikling Bodø AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Håvard Engseth
Rådgiver: Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Gøran Antonsen
Geoteknisk saksbehandler: Tellef Kydland
Andre nøkkelpersoner: Viktor Renstrøm, Erling Romstad

02	2020-04-27	Til utsending	Tellef Kydland	Viktor Renstrøm	Gøran Antonsen
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. 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.

► Sammendrag

Norconsult er engasjert av Breivika utvikling Bodø AS for å vurdere områdestabiliteten i forbindelse med en utvidelse av bykjernen i Bodø kommune. Det er gjort vurderinger for området etter dagens situasjon for eksisterende fylling i Breivika, med forutsetning om en eventuell utbygging med tiltaksklasse K4.

Tidligere og i flere omganger er det blitt gjennomført grunnundersøkelser i planområdet. Det er påvist sprøbruddsmateriale i sjøbunnen tilknyttet planområdet, og områdestabiliteten må derfor vurderes og kvalitetssikres av et uavhengig firma iht. NVEs kvikkleireveileder.

Formålet med rapporten er å indentifisere og utrede eventuelle faresoner som kan ramme tiltaksområdet. Stabilitetsberegninger er utført for 4 kritiske snitt, A, B, C og D for dagens situasjon med totalspenningsanalyse og effektivspenningsanalyse. Beregningsresultatene viser at sikkerhetsfaktoren ikke tilfredsstillende kravet i gjelden regelverk (TEK17). Det må derfor utføres stabiliserende tiltak for å anse område som skredsikkert før bygging innenfor definert faresone. Det har blitt gjort innledende vurderinger for stabiliserende tiltak, der motfylling virker mest hensiktsmessig. Nødvendig størrelse av motfyllinger er beregnet i alle kritiske snitt, med dokumentert tilstrekkelig sikkerhetsfaktor med både total- og effektivspenningsanalyse. Det må videre gjennomføres supplerende grunnundersøkelser og ny sjøbunnskartlegging i området i samband med detaljprosjekteringen av motfyllingene.

Basert på stabilitetsberegningene og utførte grunnundersøkelser har det blitt utarbeidet en ny kvikkleirefaresone med et definert løsne- og utløpsområde. Faregraden for området er definert som middels. Stabiliserende tiltak må videre vurderes og detaljprosjekteres ved utbyggelse innenfor de definerte områdene for å få området skredsikkert i forbindelse med fremtidig prosjekt i Breivika.

► Innhold

1	Innledning	5
1.1	Utviklingsområde vest, Bodø kommune	5
2	Terreng- og grunnforhold	6
2.1	Områdeshistorikk	7
2.2	Utførte grunnundersøkelser og oppsummering av påviste grunnforhold	8
2.3	Tolking av grunnforhold i området	10
2.4	Kvikkleire/Sprøbruddsmateriale	12
3	Faresoneavgrensing og faregradsklassifisering	14
3.1	Kvikkleirefaresone	14
3.2	Potensielt løsneområde	14
3.3	Potensielt utløpsområde	15
3.4	Faresoneklassifisering	15
4	Sikkerhetsprinsipper	16
4.1	Generelt	16
4.2	Krav til stabilitetsutredning	16
5	Geotekniske vurderinger	17
5.1	Beregningsforutsetninger	17
5.2	Beregningsprofiler	17
5.3	Valg av beregningsparametere	17
5.3.1	<i>Materialfaktorer</i>	17
5.3.2	<i>Jordparametere</i>	17
5.4	Beregningsresultat	20
5.5	Vurdering av kvaliteten av grunnundersøkelsene	21
6	Konklusjon	22
7	Tegninger	23
8	Vedlegg	24
9	Referanser	25

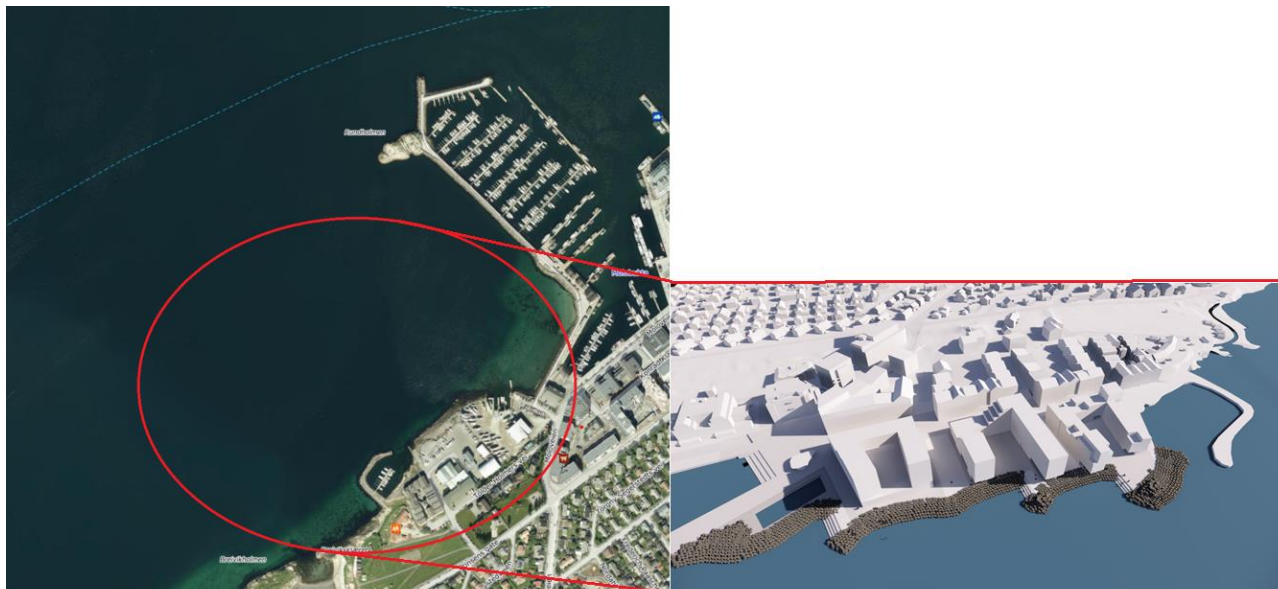
1 Innledning

1.1 Utviklingsområde vest, Bodø kommune

Brevika utvikling AS planlegger en forlengelse av bykjernen med nye boliger, byrom og arbeidsplasser i vestre del av sentrale Bodø. Dette vil innebære utfyllinger i sjø samt muligens en ny molo eller bølgebrytere i utviklingsområde. Tidligere grunnundersøkelser innenfor planområdet indikerer at sjøbunn generelt består av et lag med bløt med leire som stedvis er at klassifisere som sprøbruddsmateriale. I den forbindelse må områdestabiliteten for dagens situasjon undersøkes og vurderes i forbindelse med reguleringsplanen for området.

NVEs veileder 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» (ref. 1) beskriver hvordan skredfare kan utredes ved sprøbruddsmateriale i grunnen. Utredningen i henhold til denne veilederen tilfredsstiller gjeldende lovkrav (TEK17). En må derfor identifisere, avgrense og faregrad klassifisere eventuelle faresoner for området. Planlagt utbyggingen av området vurderes som et prosjekt i tiltakskategori K4.

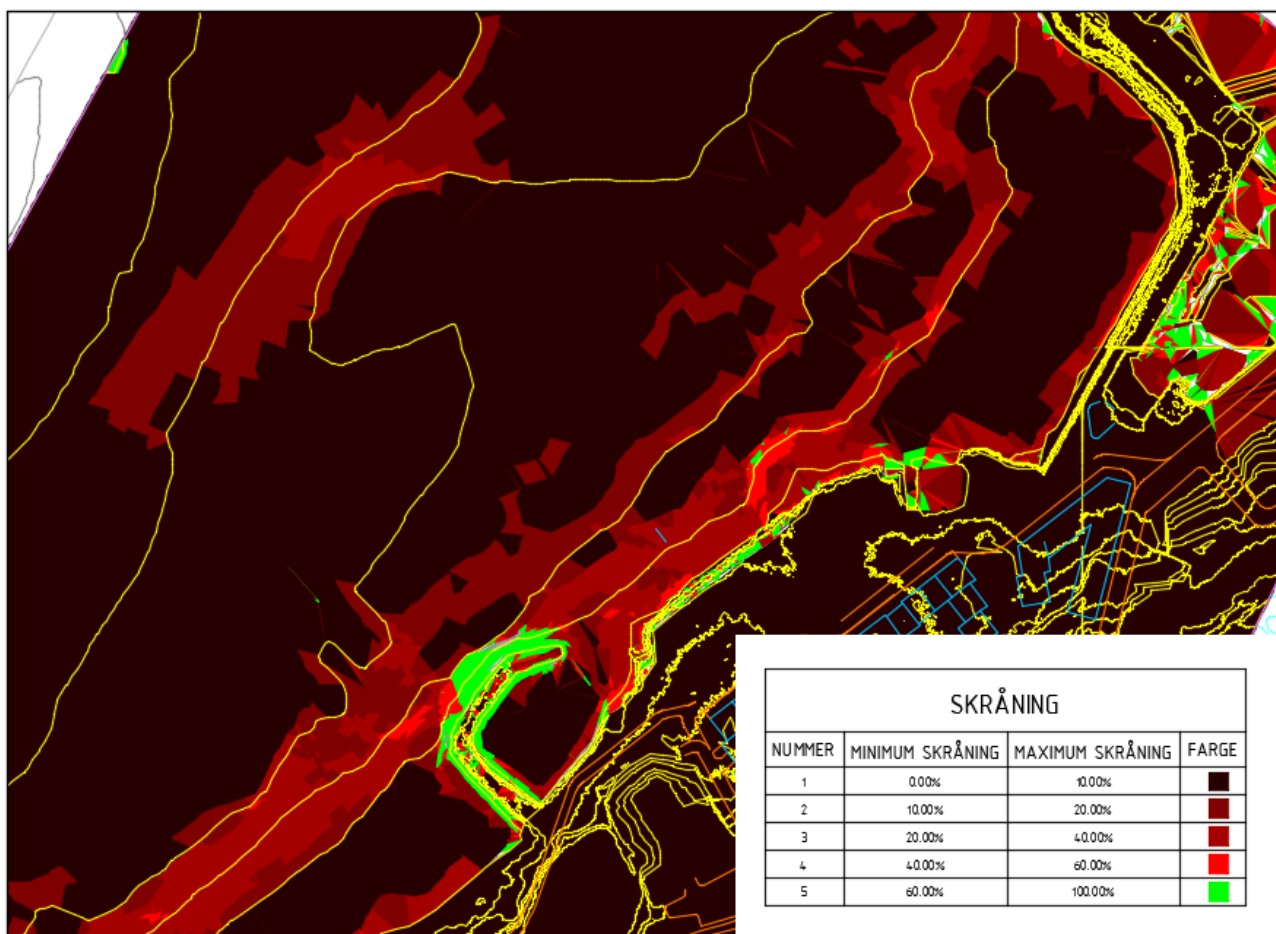
Denne rapporten vil derfor kun gjelde vurderinger tilknyttet områdestabiliteten av et eventuelt K4 tiltak for dagens situasjon med eventuelle stabiliserende tiltak. Vurdering av områdestabiliteten vil ha samme tiltakskategori K4 som planlagt tiltak av prosjektet tilknyttet forlengelse av bykjernen. Denne forlengelse er planlagt med å bestå av relativt store fyllinger med slake skråningshellinger og motfyllinger, der det installeres vertikaledrener under fyllingene. Vurderinger med tanke på planlagt utfylling i forbindelse med utvidelse av eksisterende fylling blir oppsummert i separat rapport i samband med detaljprosjektering.



Figur 1 Oversiktsbilde over tiltaksområde og planlagt tiltak for utvidelse av Bodø sentrum (markert i rød).
Kilde:kart.finn.no

2 Terreng- og grunnforhold

I henhold til tilgjengelig sjøbunnsinnmåling heller sjøbunn generelt med en helling på 1:3 i ca. 20 meters lengde utenfor dagens fyllingsfot. Deretter slakker hellingen ut til ca. 1:12 i ca. 60 meter, videre er sjøbunn tilnærmet flat.



Figur 2 Terrenganalyse: Grad av rødheter viser bratteste helninger. Grønn representerer det bratteste for området (molo helningen)

Utvidelse av de eksisterende fyllingene og ny molo er planlagt i utkanten av Bodø sentrum, vest for dagens molo. Området er delvis fylt ut i flere etapper på 2000-tallet. Den største utfyllingen i området ble utført mellom 2004 og 2006 opp til kote +3.3. I tillegg er det etablert molo i vest og øst om eksisterende fylling.

Lasermålinger av området fra 2017, 2011 og 2009 er lastet opp i BIM-modell sammen med sjøbunnsinnmålinger fra ukjent årstall for å generere terrengmodeller. Denne har blitt brukt til å gjennomføre en terrenganalyse av området. Tilknyttet beregningene er kun den nyeste terrengdataen fra 2017 benyttet med høydesystem NN2000. Sjøbunnskartleggingene er hentet fra 2007 og benytter NN1954 som høydesystem, sonderingene baserer seg også på dette høydesystemet.

Forskjellen mellom disse terrengdataene ligger mellom 10-15 cm i Bodø og er vurdert å være neglisjerbart på dette overordnede nivået av prosjektet.

Vannstandsniåene av interesse er hentet fra kartverket og er oppsummert i tabell 2.

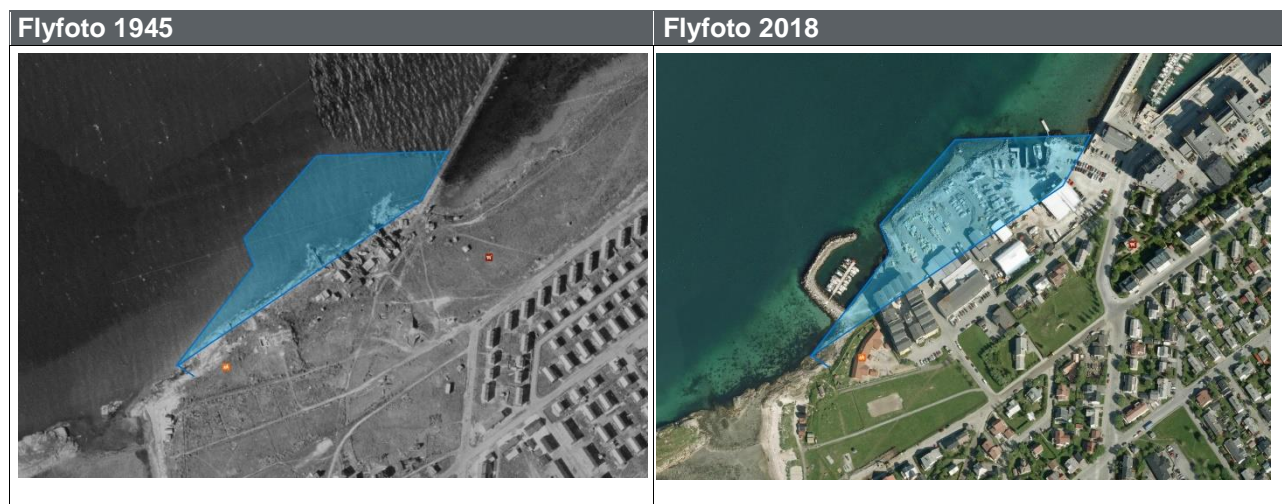
Tabell 1 – Vannstand, Breivika i Bodø kommune (ref. 2)

Betegnelse	Kote (NN2000)
Sikkerhetsklasse 2 (TEK10/17) med klimapåslag	297 cm
Høyvann med 1 års gjentakelse	178 cm
Middel høyvann	75 cm
Normalnull 2000	0 cm
Middelvann	-12 cm
Laveste astronomiske tidevann (LAT)	-178 cm

2.1 Områdeshistorikk

Tabell 3 viser flyfoto fra området som viser etappene av utfyllingene. Området har fylts ut i flere omganger og begynte å fylles ut engang mellom 1945 og 2002. I forbindelse med dette ble moloen vest om landarealet etablert.

Tabell 2 Utklipp fra historisk kart over området. Blå-området representerer dagens fylling; kilde kart.finn.no



2.2 Utførte grunnundersøkelser og oppsummering av påviste grunnforhold

Det er utført mist syv omganger med grunnundersøkelser i det aktuelle området i tidsrommet mellom 2001 og 2009. Norconsult har tilgang til rapportene fra 5 av disse. Når rapportene settes sammen, gir disse en god oversikt over grunnforholdene og grunnens geotekniske egenskaper. Figur 3 viser en oversikt over rapportene hvor boringene er hentet.



Figur 3: Oversiktsbilde med nummerering og omfang av rapportene

- **Rapport 1 Molo Slip, rapport 1 (ref. 3)**
Grunnforhold: Nærmest eksisterende bygg: 7 meter løsmasse, derav 4 meter fylling. Under fylling består massene av leire. Løsmassetykkelse avtar generelt innover mot land. Grov stein i fylling. Nærmest sjøen: Generelt betydelig økning i løsmassetykkelsen, men fjelldybde varierer mye med synlige fjellblotninger. Løsmasser av sand over leire der leirmassene øverst har lavere fasthet enn på land.

Utførte undersøkelser: 11 stk. totalsondering og prøvetaking i ett punkt med rutineundersøkelser.

- **Rapport 2 Molo Slip, rapport 2 (ref. 4) – mangler situasjonskart fra rapport, men punkt er vist på oversiktskart i rapport 3.**

Grunnforhold: Området nærmest sjøen er oppfylt. Det er foretatt mudring som har senket sjøbunnen. Det er stor løsmassetykkelse både ute i sjøen og nært land, registrert fra 10 meter til mer enn 29 m (avsluttet over fjell).

Hovedtrekkene i de originale løsmassene er:

Sand – tykkelse 0 til 5-7 m i borepunktene (reduert tykkelse pga mudring)

Bløt leire – tykkelse inntil 5-6 meter i borepunktene (fortsetter delvis inn på land) 10-15kpa skjærstyrke.

Leire, middels fast til fast

Faste masser av marin leire eller morene

Fjell

Utførte undersøkelser: 9 stk totalsonderinger og prøver i ett punkt. 6 prøver er rutineundersøkt

- **Rapport 3 Fylling i sjøen, Tolder Holmers veg (ref. 5)**

Grunnforhold: Grunnen på det aktuelle fyllingsområdet består i hovedtrekk av et øvre sand/siltlag med stort innhold av kalkkonkresjoner over svært bløt til bløt leire. Den bløte leira har en udrenert skjærstyrke på 8-20 kPa. Fra ca. 6 meter under sjøbunnen og ned til fjell øker udrenert skjærstyrke på leire til 50-70 kPa ned til endt prøvetaking. Under nivået for prøvetakingen og ned mot fjell øker fastheten på massene ytterligere. Løsmassetykkelsen er beskjeden i strandsonen, men øker betraktelig utover i sjøen. Dybden til berg varierer fra kote 0 inne ved land og til under kote -34 i bopunkt 28.

Utførte undersøkelser: 6 totalsonderinger og prøvetaking av uforstyrrede prøver i 3 punkt i dybder fra 0,8 til 9,2 meter under sjøbunnen. Rutineundersøkelser + 2 stk treaksialforsøk i punkt 34.

- **Rapport 4 Molo Vest (Breivika) Rapport 02 (ref. 6).**

Grunnforhold: Det er foretatt mudring i sjøen i dette området, hovedsakelig av sandmasser som derfor delvis er fjernet. Sammenligning mellom gammelt og nytt sjøkart tyder på inntil 5 meter senking av sjøbunnen. Lengst fra land ligger sjøbunnen på kt. -25.

Det er noe variasjon i grunnforholdene, men hovedtrekkene er:

Sand – tykkelse 0 til 5-7 m i borepunktene.

Bløt leire – Tykkelse inntil 4-7 meter i borepunktene.

Leire, middels fast til fast.

Faste masser av marin leire eller morene

Fjell – påvist i 10-25 m dybde i 4 pkt. I de øvrige 6 pkt er det boret til 17-19 m uten å nå fjell.

Utførte undersøkelser: Det er foretatt undersøkelser fra Jakhelln sitt anlegg i Molovegen og ca 340 m utover i sjøen. I tillegg til grunnundersøkelsene er det også foretatt sjøbunnskartlegging (utført våren 2007). Det er supplert tidligere undersøkelser med 1 totalsondering 3 CPT og 1 prøvetaking. Det er utført rutineforsøk pluss 2 treksialforsøk på 2 prøver og ødometer (setningsegenskaper) på 2 prøver.

- **Rapport 5 Breivika Utfylling småbåthavn 2009 (ref. 7).**

Grunnforhold: Grunnen består av leire, og grunnforholdene er generelt lik over hele området. Det er et øvre lag med 1-3 meter med sandig, siltig leire med gruskorn. Derunder er det generelt over 5 m med bløt leire. Leira er fast fra ca. 10 meters dybde.

Utførte undersøkelser: Det er utført 15 stk totalsonderinger og 1 prøveseire (54mm)

2.3 Tolking av grunnforhold i området

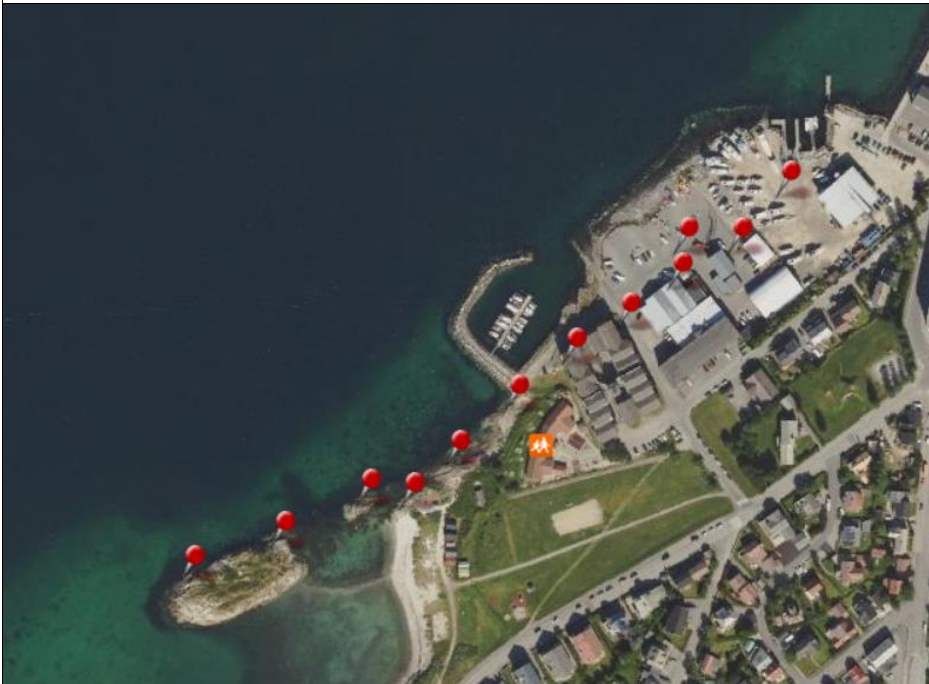
Grunnundersøkelsene antyder at løsmassene på sjøen generelt består av sand som dekker en tilnærmet normalkonsolidert bløt leire som stedvis er å klassifisere som sprøbruddsmateriale. Leiren har noe varierende tykkelse over området, men er generelt ca. 5 meter mektig. Under denne leiren er det påvist et fastere leire/silt-lag med varierende mektighet. Dybde til berg varierer over området og for mange av boringene er det knyttet en stor usikkerhet til bergregistreringene (boring avsluttet i faste masser, antatt berg). Ved å undersøke historiske flyfoto fra området i perioden 1946-2019, har fjell i dagen blitt kartlagt på området.

Fjell i dagen fra flyfoto(Finn.kart.no)

Fjell i dagen fra historisk flyfoto 1946, Røde markører indikerer fjell i dagen



Flytfoto 2019 som viser fjell i dagen fra 1946



Fjell i dagen fra historisk kart sammenfaller godt med nærliggende boringer i nord-øst (1-2,1-4,1-5,1-8 og 1-7 etc). Alle disse sonderingene viser fjellkontrollboring rundt kote +1.5.

2.4 Kvikkleire/Sprøbruddsmateriale

På NVEs kart er det registret en kvikkleirefaresoner nordøst for tiltaksområdet tilknyttet ny kryssløsning på fv.834 i Rønvik, se Figur 4 NVEs Skredkart.

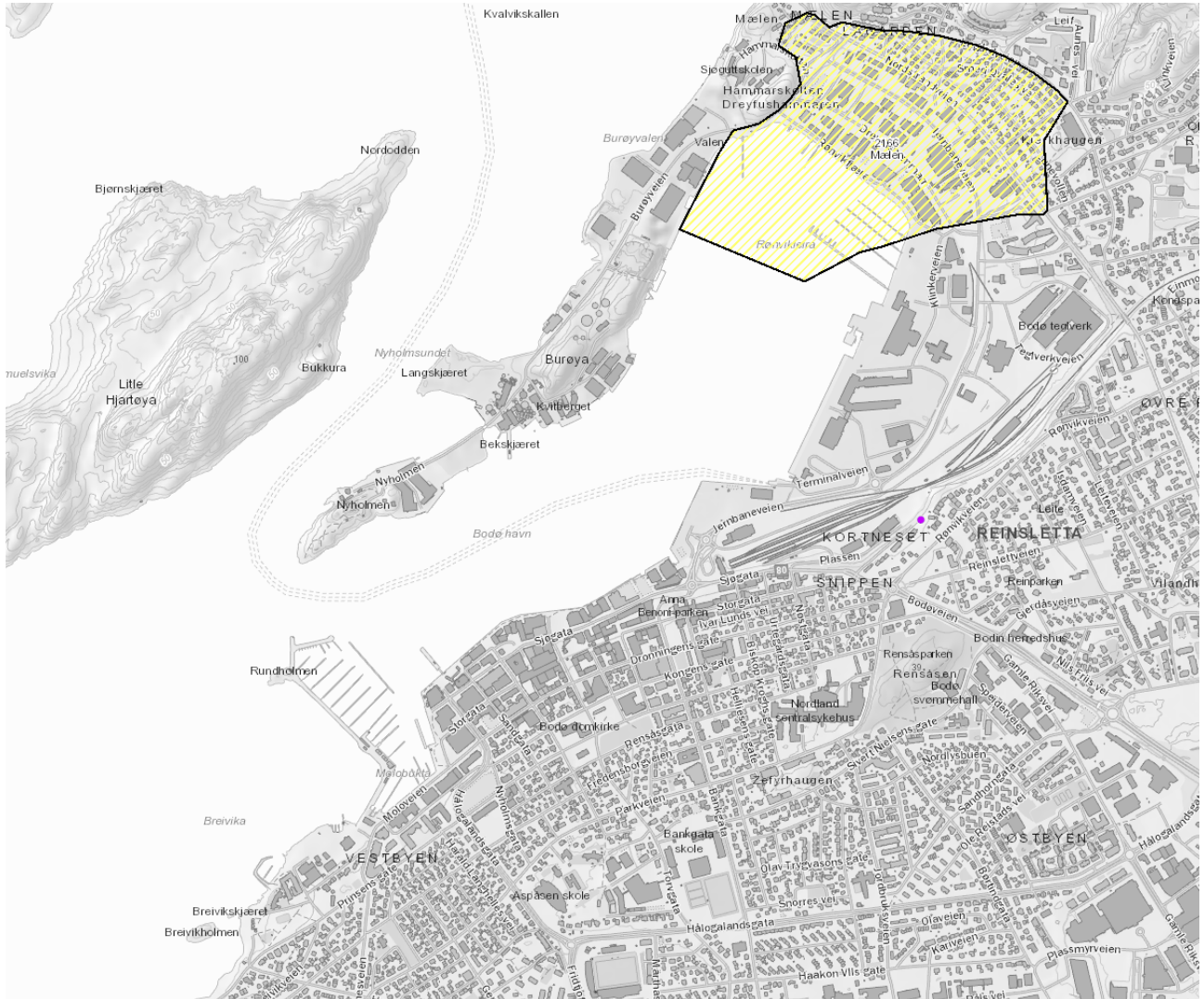
Utførte grunnundersøkelser for dette prosjektet påviser tilsvarende grunnforhold som ved Breivka. Det vil si lagdelt grunn bestående av fyllmasse og strandavsetninger over bløt leire og silt med varierende mektighet, med delvis sprøbruddsmateriale.

Det er tatt opp prøverseirer i 6 posisjoner i det aktuelle området. Tabell 3 oppsummerer om prøveseriene har antydninger til sprøbruddsmateriale eller ikke ved en omrørt skjærstyrke under 2 kPa. Borhull 605 viser høyest sensitivitet på $St > 15$, samt et vanninnhold høyere enn materialets flytegrense.

Et potensielt aktsomhetsområde for kvikkleireskred vurderes til å defineres av skredfaren ved et eventuelt initialskred som retrogressivt kan nå tiltaksområdet. Utstrekningen av aktsomhetsområdet begrenses av topografiske forhold, de registrerte bergblotningene og utstrekning av påvist og eventuell sprøbruddsmateriale. All bløt leire fra totalsonderingene er tolket som sprøbruddsmateriale hvis det ikke eksiterer prøver som indiker annet.

Tabell 2 Sammenstilling av prøveserier

Borpunkt/prøveserie	Rapport	Sprøbruddsmateriale
42	3	Nei, usikkerhet i nedre lag.
34 (treks, prøveserie)	3	Omrørt skjærstyrke < 2 kPa, men $St < 15$. Vurderes likevel som sprøbruddsmateriale
10	3	nei
43	3	nei
605/5-05 (treks prøveserie, Ødometerprøve) Resultat kombinert med resterende totalsonderinger	4	Ja. Omrørt skjærstyrke under 0.5 kPa med vanninnhold > flytegrense.
21	Molo-sip	Mulig sprøbruddsmateriale



Figur 4 NVEs Skredkart. Kilde: skrednett.no

3 Faresoneavgrensning og faregradsklassifisering

3.1 Kvikkleirefaresone

En kvikkleirefaresone består av løsne- og utløpsområde. Basert på forliggende grunnundersøkelser i området, topografi og stabilitetsberegninger er det avgrenset en ny kvikkleirefaresone tilknyttet området der det planlegges å utvide eksisterende fylling. Iht. NVEs kvikkleireveilder (*ref. 1*) er det beskrevet avgrensning av løsneområde basert på kriterier tilknyttet topografi og kvikkleiremektighet. NIFS rapport 14/2016 (*ref. 8*) beskriver hvordan løsne- og utløpsområde kan avgrenses ved å legge til grunn beregningsresultat.

3.2 Potensielt løsneområde

Basert på topografi, tilgjengelig grunnundersøkelser og beregningsresultater fra 4 kritiske snitt har et løsne- og utløpsområde blitt definert. Det er utført en rekke grunnundersøkelser, hovedsakelig totalsonderinger, i området. Det er også utført noen prøveserier og CPT fra enkelte borpunkt. Enkelte prøveserier viser materiale med omrørt skjærstyrke under 2 kPa ($c_{ur} < 2 \text{ kPa}$) og et vanninnhold høyere enn flytegrensen til materialet. På bakgrunn av dette har det blitt antatt fra en rekke totalsonderinger sprøbruddsmateriale til tross for en lavere sensitivitet ($St < 15$). Løsneområdet har videre blitt undersøkt for antatt sprøbruddsmateriale i området, og avgrenset ved hjelp av stabilitetsberegninger med 1:15 tangent fra kritisk bruddsirkel i 4 kritiske snitt (Stor L/H-klasse). Disse 4 kritiske snittene har blitt valgt på grunn av stor mektighet med sprøbruddsmateriale, og viser lav sikkerhet for eksisterende situasjon. Resultatet av avgrenset sone er vist i tegning V01.

Løsneområde baserer seg på antagelsen om at et eventuelt retrogressivt skred fra sjøbunnen kan nå den etablerte fyllingen nord for den sørlige moloen i Breivika. Dette da beregningsnitt viser mer enn 40% antatt sprøbruddsmateriale over den kritiske glideflate for et eventuelt initialscred. Løsneområdet er avgrenset basert på topografi og tilgjengelig grunnundersøkelser sammen med resultater fra beregningsnitt ved å benytte avgrensningslinje 1:15 fra kritisk skjærsirkel (se tegning V02, V04 og V03). Avgrensningen sammenfaller med fjell i dagen fra flyfoto.

Avgrensningen for Snitt B i tegning V04 baserer seg på stabilitetsberegninger som viser at et mulig skred vil potensielt oppstå som et initialt rotasjonsscred ved eksisterende molo. Konsekvensen av et slikt skred vil videre ikke medføre et retrogressivt skred bakover. Dette fordi rasmassenes utløp er begrenset av både topografi og kvikkleirens beliggenhet i snittet. Et potensielt rotasjonsscred fra moloen vil da heller kunne forbedre områdestabiliteten, enn motsatt. Begrensning av utløpsområde med NGI metoden og 1:15 linje og videre langs antatt fjell fra flyfoto. Dette medfører at avgrensningen uansett ikke vil komme lengre enn antatt, da den krysser antatt fjell fra flyfoto.

For dette prosjektet har det kun blitt valgt å avgrense løsne- og utløpsområdet til det som er relevant for tiltaket. Dette innebærer at området nord for tiltaket, ved nordlige molo, og området sør for tiltaket, ikke har blitt vurdert mtp. løsne- og utløpsområde. Det har blitt undersøkt om et eventuelt initialscred fra den nordlige moloen kan ramme utkanten av nordøstre del av reguleringsområdet for utviklingsområdet vest ved et sideveis retrogressivt skred. Dette har blitt undersøkt gjennom beregningsnitt og avgrensningen baser seg videre på 1:15 avgrensningslinje fra 2 kritisk snitt i området (V05 og V06). Resultatet er at planlagt tiltak ikke vil bli påvirket av et ras fra nordlige molo, men at omfang av løsne- og utløpsområde av dette ikke har blitt videre definert. Det må derfor gjennomføres supplerende undersøkelser på nordsiden av den nordlige moloen, i området nord for totalsondering 2-29 (V01) og sør for sondering 3-41 i området sør-vest for tiltaket.

3.3 Potensielt utløpsområde

Utløpsområdet er basert på utstrekningen av løsneområdet og terrengmessige kriterier. Ved retrogressive skred i åpent terreng blir utløpsdistansen definert som: Utløpsdistanse (Lu) = 1,5 * Løsnedistanse (L) (ref. 8). Denne danner grunnlaget for utløpsområdet definert i tegning V01.

3.4 Faresoneklassifisering

For den foreslåtte nye kvikkleiresonen er faregraden klassifisert iht. NVEs kvikkleireveileder (ref. 1). Klassifiseringen er basert på foreliggende datagrunnlag, både felt og laboratorieforsøk. Klassifiseringen viser at dagens område som planlegges å bygges ut har **Middels** faregrad. Detaljert klassifisering av faregraden er vist i Vedlegg 1

4 Sikkerhetsprinsipper

4.1 Generelt

Ved utbygging i potensielt skredfarlig område, må tilfredsstillende sikkerhet dokumenteres. Det er påvist sprøbruddsmateriale på deler av området(sjø). Dette medfører at områdestabiliteten må, med tanke på sikkerhet mot kvikkleireskred, utredes iht. NVEs kvikkleireveileder (*ref. 1*). Tiltaket må da vurderes om dette er utsatt for skred eller at tiltaket kan medføre et evt. skred.

4.2 Krav til stabilitetsutredning

Iht. NVEs kvikkleireveileder tabell 5.2(*ref. 1*) ligger tiltaket, med forutsetning om en eventuell utbygging, under tiltakskategori K4. For tiltakskategori K4 i middels faregradsklasse medfører dette følgende: Stabilitetsanalyse som dokumenterer:

- a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet må dokumenteres $F > 1.4$
- b) Forbedring hvis $F < 1.4$ basert på figur 5.1 i NVEs kvikkleireveileder

Tilknyttet stabilitetsberegningene er tiltak beregnet til å dokumentere en sikkerhetsfaktor over 1.4 med tanke på eurokode 7(*ref. 9*). Vurderingene må kvalitetssikres av et uavhengig foretak.

5 Geotekniske vurderinger

5.1 Beregningsforutsetninger

Stabilitetsberegningene er utført med beregningsverktøyet GeoSuite Stability v.15.2.2.0 med beregningsmetode Beast 2003. Beregningsmetoden er basert på grenselikevektsmetoden og anvender versjon av lamellemetoden som tilfredsstillende både kraft-og momentlikevekt. Programmet søker selv etter kritisk sirkulær glideflate for definerte variasjonsområder av sirkelsentrum. Det er også mulig å definere egne glideflater i programmet. Både «sirkulære» og «plane» rasmekanismer er vurdert hver for seg og sammenstilt ved bruk av funksjonen «optimize». Beregningene er utført uten å bruke sidefriksjonseffekt(3D).

Beregningene er utført med totalspenningsanalyse for dagen situasjon, der kun det bløte leirlaget har blitt modellert med en udrenert oppførsel. Forbedringstiltaket har blitt beregnet både med effektiv- og totalspenningsanalyse.

5.2 Beregningsprofiler

Det er valgt 4 kritiske profiler. Snitt A og B går gjennom tiltaket og videre ned mot sjøen tilknyttet den sørlige moloen, der grunnforholdene er mest kritiske. Snitt C og D baserer seg på området ved den nordlige moloen. Profilplasseringene er vist i tegning V01. Ved snitt A og B har mektigheten av sprøbruddsmateriale i profilene blitt interpolert ved hjelp 3D-flater med tolkninger fra tolketotalsonderingene i Geosuite og Novapoint. Ved snitt C og D har det blitt valgt å manuelt analysere mektigheten av sprøbruddsmateriale på grunn av manglende grunnundersøkelser i området.

5.3 Valg av beregningsparametere

Begninger er utført for både total- og effektivspenningsanalyse. Utførte grunnundersøkelser er lagt til grunn for valg av beregningsparametere og skjærstyrke. Disse vurderingene har blitt utført tilknyttet prosjektet om forlengelse av bykjernen. Mer detaljer er beskrevet i følgende avsnitt:

5.3.1 Materialfaktorer

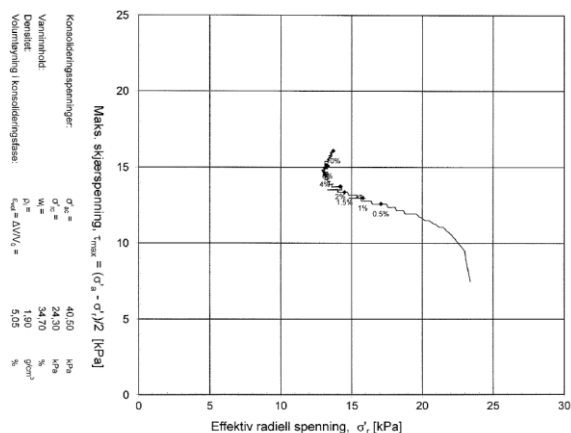
Eurokode 7, Tabell NA.A.2 (ref. 9) angir partialfaktorer (sikkerhetsfaktorer) for totalspenningsanalyse og effektivspenningsanalyse i grensetilstand for likevekt (stabilitet). For effektivspenningsanalyse med kjent poretrykksutvikling settes materialfaktor for friksjon og kohesjon lik 1,25. For totalspenningsanalyse settes materialfaktor lik 1,4.

5.3.2 Jordparametere

Jordparametere er bestemt basert på de tidligere utførte grunnundersøkelser. Da Norconsult ikke har tilgang til rådataen fra de utførte CPTene er utførte labbanalyser vektlagt ved tolking av leirens udrenerte og drenerte skjærfasthet.

I tillegg er skjærstyrken tolket som en funksjon av overlageringen og anslått konsolidering, der vekt av fyllingslaget øker skjærstyrken tilsvarende oppnådd konsolideringsgrad. Denne erstatter tolket C-profil i figur 2 når $0,25 \cdot p_0 > \text{tolket udrenert aktivskjærfasthet}$.

Det er utført en rekke udrenerte aktive treaksialforsøk, alle forsøk indikerer dilatasjon ved brudd. Dette, sammen med stor volumutvidelse i konsolideringsfasen, er antatt å være på grunn av prøveforstyrelse, spesielt da materialet er forventet å ha en sprøoppførsel. Forsøkene er derfor tolket før dilatasjon inntreffer.



Figur 5: Utklipp av utført aktivt udrenert treksialforsøk fra (ref. 5).

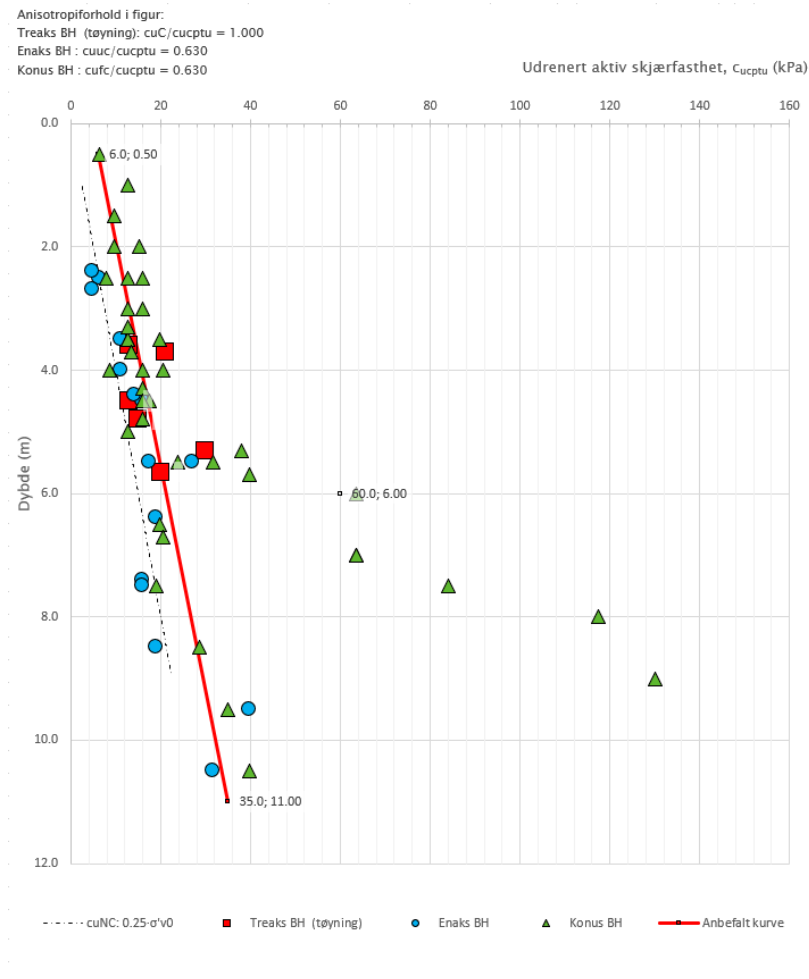
For leirelaget (kvikt eller ikke) har vi benyttet anisotropifaktorer iht. norm for magre leirer, slik det er beskrevet i naturfareprosjektet NIFS' rapport 14/2014 (ref. 10). Udrenert aktiv skjærfasthet er redusert med 15 % for kvikkleirelaget.

Valg av ADP-faktorer for udrenert beregning baserer seg på anbefalinger fra forskningsprosjektet NIFS (ref. 10) Det er valgt følgende ADP-forhold ($I_p < 10\%$):

$$\frac{Cu_D}{Cu_A} = 0,63$$

$$\frac{Cu_E}{Cu_A} = 0,35$$

Det har blitt valgt å benytte 0.25 linje for dagens situasjon og for styrkeøkning ved konsolidering av av motfyllingene. Skjærstyrken ligger mellom 0.25-0.28 linjen, og da det må gjennomføres supplerende undersøkelser i området, vil CPT kunne optimalisere de valgte konservative bestemmelsene. Figur 6 viser 0.25 NC linjen. Rød linje har ikke blitt benyttet i beregningene.



Figur 6: Sammenstilling av tolket aktiv udrenert skjærfasthetsprofil og a/ϕ' for den bløte leiren

Brukte styrkeverdier i stabilitetsberegningene er oppsummpert i tabell 1.

Tabell 3 – Valgte parametere for stabilitetsberegningene

Lag	γ/γ' (kN/m ³)	Effektive styrkeparametere, c/ϕ' (kN/m ² / grader)	Udrenert styrkeparameter, $C_{u,A}$ (kN/m ²)
Sprengstein	19/11	4,5/42	-
Sand/grus	19/9	3,5/35 (Snitt B) 3/33 (Snitt A, C og D)	-
Leire	18/8	2/23,5	$0,25 \cdot p'_0$ for dagens situasjon $0,25 \cdot p'_0$ Ved konsolidering under motfylling
Leimorene(Bodøleire)	19/9	15/30	-

Poretrykket er modellert hydrostatisk fra LAT på -1.78. Det er modellert med en 15 % reduksjon for sprøbruddsmaterialet der det er relevant. Styrkeparameterne for beregningene tar kun utgangspunkt i Shanshep, og ikke konus eller treaksielle tester da kvaliteten på disse er for dårlig.

5.4 Beregningsresultat

Utførte stabilitetsberegninger viser at sikkerheten ikke er tilfredsstillende for noen av snittene i totalspenningsanalyse for dagens situasjon. Det blir derfor nødvendig med stabiliserende tiltak langs skråningen den eksisterende fyllingen i Breivika. Nødvendig motfylling vil måtte være rundt 70 meter lang og være 2-4 meter høy. Tilsvarende rundt 50 000 m³ sprengstein.

Derimot vil en konsolideringseffekt spille en avgjørende rolle for den nødvendige motfyllingene, da effektivspenningsanalysen viser en sikkerhetsfaktor over 2. Det må derimot gjennomføres tiltak for å få redusert konsolideringstiden for å få gjennomført dette innenfor en realistisk anleggsperiode. Installasjon av vertikale dreneringsrør kan da være et mulig tiltak for å redusere konsolideringstiden. Det må gjennomføres ytterligere grunnundersøkelser for å detalj prosjektere nødvendig stabiliserende tiltak. Samtidig må stabiliteten under anleggsfasen vurderes i samspill med grunnundersøkelsene. Installasjon av poretrykksmålere vil være et mulig alternativ. Det har i beregningene blitt antatt en konsolidering under motfyllingene for å øke styrken til den underliggende leiren.

For at denne antagelsen skal være gjeldene må det gjennomføres supplerende undersøkelser, samtidig som at det plasseres vertikaledrensrør og poretrykksmålere før motfyllingen plasseres. Motfyllingen legges i faser med overvåking av poreovertrykk før og etter utlegging, dette for å ivareta stabiliteten i anleggsfasen.

For å bedre dagens situasjon, kan eksisterende fylling i starten bli benyttet som motfylling, slik at drivende moment blir mindre pga avlastning i topp av skråningen under konsolideringsperioden.

Begrensingen av løseområdet er videre blitt kartlagt med 1:15 linje fra et eventuelt kritisk initialskred med 1:2 i ikke-sprøbruddsmateriale. For snitt A har det også blitt undersøkt om et eventuelt initialskred lengre nord i profilet (Del 2) kan ramme tiltaksområdet.

Tabell 4 Oppsummering av resultater fra beregningssnittene. Benyttet sirkulære og plane skjærflater

Snitt	Situasjon (Krav $F > 1.4$)			tegning
Beregningssnitt	Dagens situasjon-ADP (totalspenningsanalyse)	Med nødvendig motfylling-ADP (totalspenningsanalyse)	Med nødvendig motfylling-a-phi (effektivspenningsanalyse)	
A (del 1)	1.10/1.04*	Uten konsolidering under motfylling: 1.56/1.24* Med konsolidering under motfylling: 1.44*	2.38/2.83*	V02
A (del 2)	3.08	-	1.42	V03
B	0.98	Uten konsolidering under motfylling: 1.58/1.10* Med konsolidering under motfylling: 1.41*	3.01/2.72*	V04
C	1.17	1.44	3.03	V05
D	1.01	1.44/1.47/1.59*	2.4	V06

*sikkerhetsfaktor beregnet for en ikke sirkulær bruddflate.

5.5 Vurdering av kvaliteten av grunnundersøkelsene

Manglende tilgang til rådaten fra utførte CPTer, samt dårlige prøve kvalitet fra utførte labbtester påvirker detaljeringen av eventuelle tiltak for forbedring. Dette medfører at det ikke blir dokumentert en anvendelsesklasse for trykksoneeringen.

For tolkning av lagdeling og skjærstyrke er det lagt til grunn tolkning fra de utførte totalsonderingene og skjærstyrken mot dybden er stort sett konservativt korrigert mot NC-linje basert på ikke tilstrekkelig kvalitet i grunnundersøkelsene.

Mange av de utførte totalsonderingene følger ikke normalprosedyren, hvor økning i rotasjon blir påført selv før oppnådd motstandskraft på 30 kN. Disse vurderes derimot som tilstrekkelige nok, da det ikke er noe spesifikke krav for å følge normalprosedyre ved gjennomføringen av slike sonderinger. Det burde samtidig vært gjennomført fjellkontrollboringer for sonderingene nærmest land for å få kontrollert bergflaten i området.

Trecks-forsøkene viser for stor volumutpressing 4% \gt og er dermed betegnet som middels til dårlige prøver. Materialparameter fra disse forsøkene må derfor velges mer konservativt, da troverdigheten av forsøkene er redusert.

For fastsettelse av poretrykksforholdene anbefaler NVE (*ref. 1*) registrering av poretrykket i minimum én lokalitet i minimum 2 nivå i hver faresone. På området er dette ikke utført, vår vurdering er dog at det ikke er behov da leiren er under sjøbunn i et plant område der det anses som urealistisk med poreovertrykk. Kalibreringsskjema og kvalitet av utført CPTu er heller ikke angitt.

På bakgrunn av den reduserte kvaliteten av grunnundersøkelsene er dermed løseområde definert konservativt. Det må i videre prosjektering gjennomføres supplerende grunnundersøkelser for å avgrense aktsomhetsområdet og innhente bedre grunnlag om leirens egenskaper. Grunnforholdene nord for den nordlige moloen, samt området nord for totalsondering 2-29 bør kartlegges i videre prosjektering.

6 Konklusjon

Tiltaket ligger i et område med en potensiell skredfare, og må derfor vurderes etter gjeldene regelverk (*ref. 11*). Stabilitetsberegningene viser at det med dagens grunnundersøkelser er behov for stabiliserende tiltak for å anse område som skredsikkert. I denne rapporten har det blitt gjennomført en grov beregning over nødvendig motfylling i henhold til retningslinjer i gjeldende veiledere. Resultatet viser at nødvendig motfylling for dagens fylling og eksisterende sørlige molo i Breivika vil bli rundt 70 meter lang og mellom 2-4 meter høy. Tegning V07 viser estimert omfang av nødvendige motfyllinger, med estimert mengde fyllmasse på rundt 50 000 m³. Det må gjennomføres supplerende grunnundersøkelser og ny sjøbunnskartlegging i området, slik at dimensjonene av motfyllingene kan bli mer nøyaktig bestemt.

Basert på stabilitetsberegningene har det blitt utarbeidet en ny kvikkleirefarezone med en vurdering av faregraden satt til middels. Stabiliserende tiltak må som nevnt vurderes for å få området skredsikkert.

Presenterte vurderinger har blitt kvalitetssikret av et uavhengig foretak.

7 Tegninger

1. V01: Planoversikt over utførte stabilitetssnitt med løsne- og utløpsområde
2. V02: Stabilitetsberegninger i snitt A del 1, dagens situasjon og med stabiliserende tiltak
3. V03: Stabilitetsberegninger i snitt A del 2, dagens situasjon
4. V04: Stabilitetsberegninger i snitt B, dagens situasjon og med stabiliserende tiltak
5. V05: Stabilitetsberegninger i snitt C, dagens situasjon og med stabiliserende tiltak
6. V06: Stabilitetsberegninger i snitt D, dagens situasjon og med stabiliserende tiltak
7. V07: Planoversikt over beliggenheten av nødvendige motfyllinger

8 Vedlegg

Vedlegg 1: Faregradsklassifisering av kvikkleirfarsone

9 Referanser

ref. 1: NVE (2014): Sikkerhet mot kvikkleireskred, Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper, Veileder 7-2014.

ref. 2: Kartverket (2018)

ref. 3: Molo slip, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 1. Scandiaconsult 2001.

ref. 4: Molo slip & mek. verksted, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 2. Scandiaconsult 2001.

ref. 5: Fylling i sjøen, Tolder Holmers veg, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 1. Scandiaconsult 2001.

ref. 6: Bodø Havn, Molo vest (Breivika), Bodø. Datarapport fra grunnundersøkelse. Rambøll 2007.

ref. 7: Breivika utfylling småbåthavn, Bodø. Grunnundersøkelse datarapport. Multiconsult 2009.

ref. 8: Metode for vurdering av løsnere – og utløpsområder for områdeskred. Rapport nr. 14/2016. NIFS, Naturfareprosjektet Dp.6 Kvikkleire.

ref. 9: NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler.

ref. 10: En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer. Rapport nr. 14/2014. NIFS, Naturfareprosjektet Dp.6 Kvikkleire.

ref. 11: Byggeteknisk forskrift (TEK17), Direktoratet for byggkvalitet, 2017-12-12