

Brevika utvikling Bodø AS

## ► **Utviklingsområde vest**

Innledende geotekniske vurderinger sjøfylling og bølgebekyttelse

Oppdragsnr.: 5192886 Dokumentnr.: RIG-01 Versjon: J02 Dato: 2020-05-12



**Oppdragsgiver:** Breivika utvikling Bodø AS  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Håvard Engseth  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Konrad Klausens vei 8, NO-8003 Bodø  
**Oppdragsleder:** Gøran Antonsen  
**Geoteknisk saksbehandler:** Viktor Renström  
**Andre nøkkelpersoner:** Tellef Kydland, Espen Karlsen, Erling Romstad og Arne Engen

J02	2020-05-12	For bruk "Oppdatert med bølgebrytere"	VikRen	EspKar	GAN
D01	2019-07-10	Foreløpig rapport	VikRen	EspKar	
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 AS for innledende geotekniske vurderinger for en områdesregulering knyttet til utfylling i sjø og mulighet for ny molo i utviklingsområde vest, vest om Bodø sentrum. Tiltaket omfatter utvidelse av eksisterende fyllinger og bølgebeskyttelse av disse (bølgebrytere eller en molo utenfor den planlagte fyllingen).

Denne rapporten har til hensikt å gi en innledende vurdering av geotekniske tiltak som er nødvendige for å etablere en fylling som vist i masterplan med tilhørende bølgebrytere eller molo. Det kan vise seg i den videre prosjekteringen at det finnes bedre egnede sikringstiltak enn anbefalt i denne rapport. Det må utføres supplerende/kompletterende grunnundersøkelser før detaljprosjektering av tiltaket kan utføres. Geotekniske løsninger og mengdeberegninger må oppdateres/revideres ved behov når resultatet av supplerende undersøkelser foreligger.

Grunnforholdene i området kan forenklet sies å bestå 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).

Foreløpig er det planlagt sjøfylling som en utvidelse av dagens fylling der det skal etableres pelefundamenterte bygg oppe på fyllingen. Det er utført beregninger og vurdering av den videre utfylling i tillegg til tilhørende bølgebeskyttelse (bølgebrytere eller molo).

Utførte beregninger viser at dagens sjøfylling står med relativt lav stabilitet og at det er behov for geotekniske tiltak for videre utfylling. Foreslått løsning er motfylling samt slak fyllingshelling som etableres etappevis for å erholde tilstrekkelig stabilitet for planlagt utfylling. Det er beregnet setninger av betydende størrelse som kommer over lang tid for en slik utfylling. Det er derfor anbefalt å installere vertikaldrener igjennom den bløte leiren for å påskynde setningsforløpet under planlagt utfylling hvis man ikke ser for seg en veldig lang byggeperiode. Installasjon av vertikaldren krever nøyaktig geoteknisk planlegging.

Det er i denne fase av prosjektet utredet flere forskjellige alternativer for bølgebeskyttelse av RIH. Alternativene er utførlig beskrevet i ref. 21. De 2 mest sannsynlige alternativene er utredet videre av RIG, disse er molo og bølgebrytere foran fyllingen.

Bølgebrytere virker per nå som den foretrukne løsningen, men molo er ikke utelukket. Utførte beregninger viser at bølgebryteren ikke lar seg gjennomføres uten stabiliserende geotekniske tiltak. Rimeligste tiltak i denne fase av prosjektet er vurdert å være motfylling og vertikaldrenering.

Hvis moloen blir den valgte løsningen er det behov for geotekniske tiltak for å unngå at moloen raser ut som følge av den bløte leiren. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i mudring av leiren under hele moloens lengde og bredde for å oppnå tilstrekkelig stabilitet.

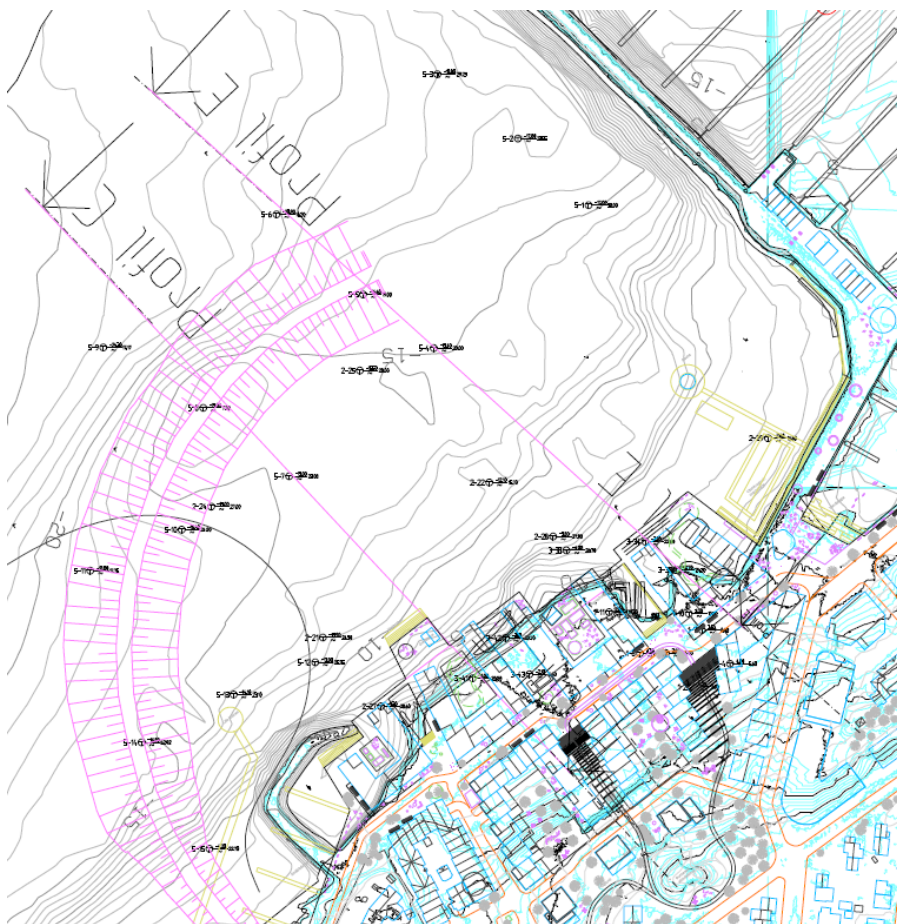
## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
1.1	Rapportens omfang	5
<b>2</b>	<b>Overordnede myndighetskrav</b>	<b>6</b>
2.1	Klassifisering av tiltaket	6
<b>3</b>	<b>Terreng- og grunnforhold</b>	<b>7</b>
3.1	Terreng og havnivå	7
3.2	Områdeshistorikk	8
3.3	Dagens situasjon	11
3.4	Løsmasser og dybde til berg	12
3.5	Utførte grunnundersøkelser og oppsummering av påviste grunnforhold	12
3.5.1	<i>Tolking av grunnforhold i området</i>	14
<b>4</b>	<b>Geotekniske vurderinger</b>	<b>15</b>
4.1	Generelt	15
4.2	Planlagt utfylling fremfor eksisterende fylling	15
4.3	Planlagt bølgebeskyttelse	17
4.3.1	<i>Bølgebeskyttelse ved Molo</i>	17
4.3.2	<i>Bølgebrytere foran fylling</i>	18
4.4	Naturfare (TEK17)	19
4.5	Videre arbeider	19
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>20</b>



# 1 Innledning

Norconsult er engasjert av Breivika utvikling AS for innledende geotekniske vurderinger for en områdesregulering knyttet til utfylling i sjø og mulighet for ny molo i utviklingsområde vest, vest om Bodø sentrum. Tiltaket omfatter utvidelse av eksisterende fyllinger og bølgebeskyttelse av disse (bølgebrytere eller en molo utenfor den planlagte fyllingen). Endelig løsning for bølgebeskyttelse er ikke valgt, derfor er begge 2 alternativene beskrevet av RIH vurdert. En oversikt over aktuelt tiltaksområde er vist i Figur 1 der gule linjer viser deler av planlagt tiltak.



Figur 1 – Utklipp av eksisterende borer, beregnede profiler, mulig molo (tegnert av RIH) og arkitektskisse av planlagt fylling/bygg. Arkitektskisse er vist med gule linjer.

## 1.1 Rapportens omfang

Denne rapporten har til hensikt å gi en innledende vurdering av geotekniske tiltak som er nødvendige for å etablere en fylling som vist i masterplan (figur 1) med tilhørende bølgebrytere eller molo. Det kan vise seg i den videre prosjekteringen at det finnes bedre egnede sikringstiltak enn anbefalt i denne rapport. Det må utføres supplerende/kompletterende grunnundersøkelser før detaljprosjektering kan utføres. Geotekniske løsninger og mengdeberegninger må oppdateres/revideres ved behov når resultatet av supplerende undersøkelser foreligger.

## 2 Overordnede myndighetskrav

### 2.1 Klassifisering av tiltaket

Forslag av klassifisering for tiltaket ut fra gjeldende regelverk er gitt i Tabell 1. Kravene i regelverkene er ikke oppfylt med de foreslåtte løsningene uten videre prosjektering.

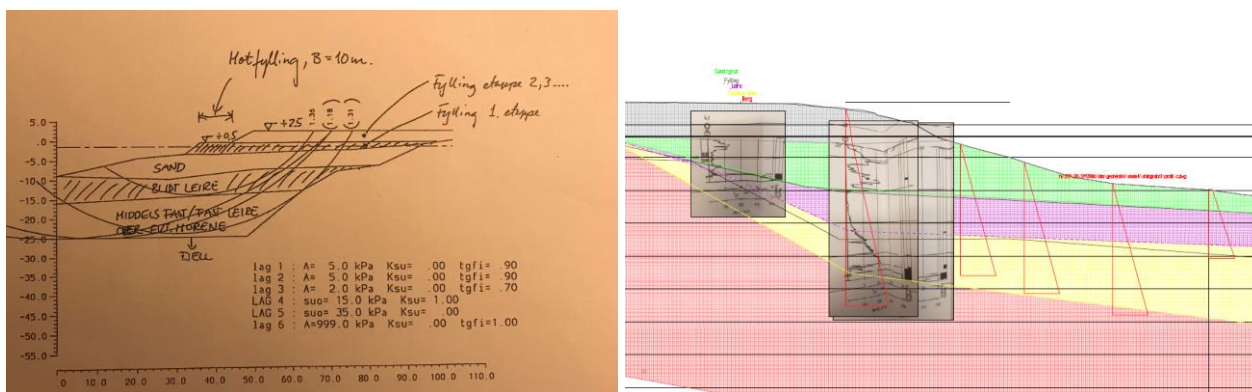
Tabell 1 - Prosjekteringsforutsetninger

Klassifisering	Kategori	Referanse
Pålitelighetsklasse:	CC/RC2	NS-EN 1990 (ref. 2)
Kontrollklasse – prosjektering og utførelse:	PKK2/UKK2	NS-EN 1990 (ref. 2)
Tiltaksklasse for geoteknisk prosjektering:	2	SAK10 (ref. 4)
Geoteknisk kategori:	2	NS-EN 1997 (ref. 2)
Seismisk grunntype:	Varierer	NS-EN 1998 (ref. 3)
Sikkerhetsklasse mot flom og stormflo:	F2 (For bygg med personopphold)	TEK17 (ref. 5)
Tiltakskategori for områdestabilitet:	K4 (Samlet kategori for utbygget området)	NVE (ref. 11)

### 3 Terreng- og grunnforhold

#### 3.1 Terreng og havnivå

Utvidelse av de eksisterende fyllingene og potensiell 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. Utfyllingen ser ut til å strekke seg frem mot toppen av den gamle marbakken, og det er lagt ut en «motfylling» frem til kanten og noe utover marbakken. Mellom 2006 og 2009 ser det ut til at deler av motfyllingen har blitt fylt opp til ca. kote +3,3, noe som ikke samsvarer med fyllingen som er prosjektert av Scandiaconsult (figur 2). Grensen mellom fyllingen og motfyllingen fremgår ikke tydelig på de utførte innmålingene av terrenget og fyllingen avtar gradvis mot sjønivået. Det er bygget noe som virker å være en motfylling for deler av fyllingen basert på flyfoto, men den samsvarer ikke med motfyllingen vist i figur 2.



Figur 2: Planlagt motfylling til venstre (ref. 18) og faktisk bygd fylling (dagens terreng) til høyre.

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

Lasermålinger av området fra 2017, 2011 og 2009 er lastet opp i BIM-modell sammen med sjøbunnsinnmålinger fra ukjent årstall for å generere terrengmodeller.

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

Tabell 2 – Vannstand, Breivika i Bodø kommune (ref. 6)

Betegnelse	Kote (NN2000)
Sikkerhetsklasse 2 (TEK10/17) med klimapåslag	317 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

### 3.2 Områdeshistorikk

Sjøbunnen utenfor dagens molo og området der utvidelsen av eksisterende fyllinger ble mudret på 80-tallet for å skaffe sandmasser til utfylling i Rønvikleira. Under mudringsarbeidet ble det fjernet opptil omtrent 5 meter sand som dekket den bløte leiren som i dag ligger nært sjøbunnen. Mudring utenfor det angitte området som var tillatt fra kommunen har bidratt til å minske dagens stabilitet av sjøfronten. Byens molo begynte å sige som et resultat av mudringen og det var nødvendig med betydelige reparasjonsarbeider. Den mindre moloen som ligger vest for molo slip og mek verksted hadde så mye setninger etter den var bygd at det var nødvendig å bygge hele moloen på nytt.

Tabell 3 viser flyfoto fra området som viser etappene av utfyllingene. Området begynte å fylles ut noen gang mellom 2002 og 2004. I forbindelse med dette ble moloen vest om landarealet forlenget.

Tabell 3: Utklipp fra historisk kart over området

Årstall	Utklipp fra finn.no
<b>1946</b> Området før utfylling	



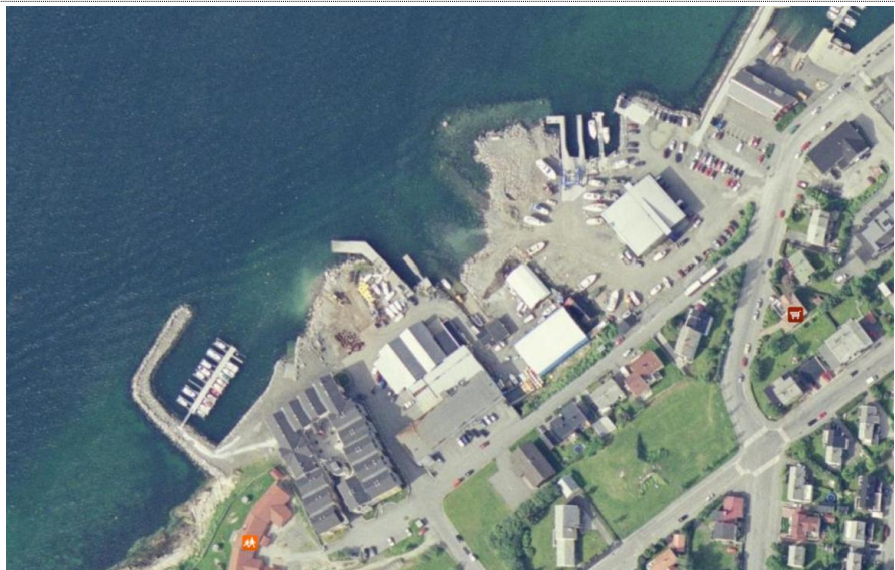
**2002**


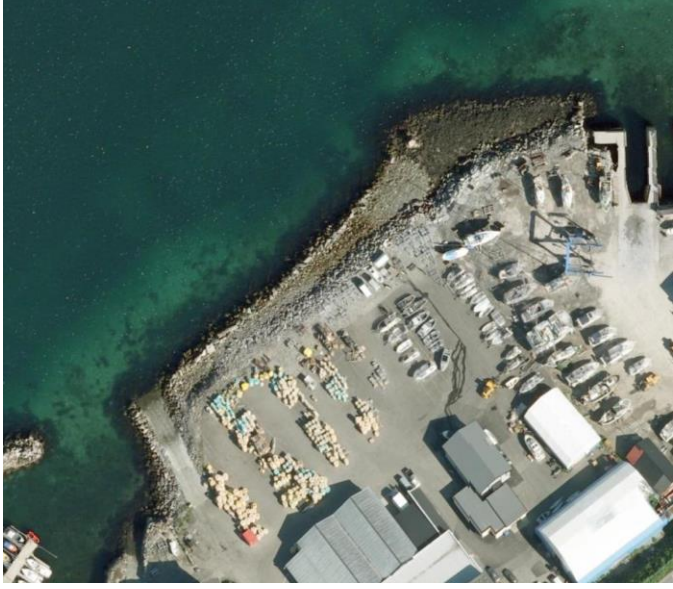

Utfylling i området har startet.



**2004**

Utfylling i området har startet. Det er bygget vad som er antatt å være en motfylling fremfor utfyllingen.



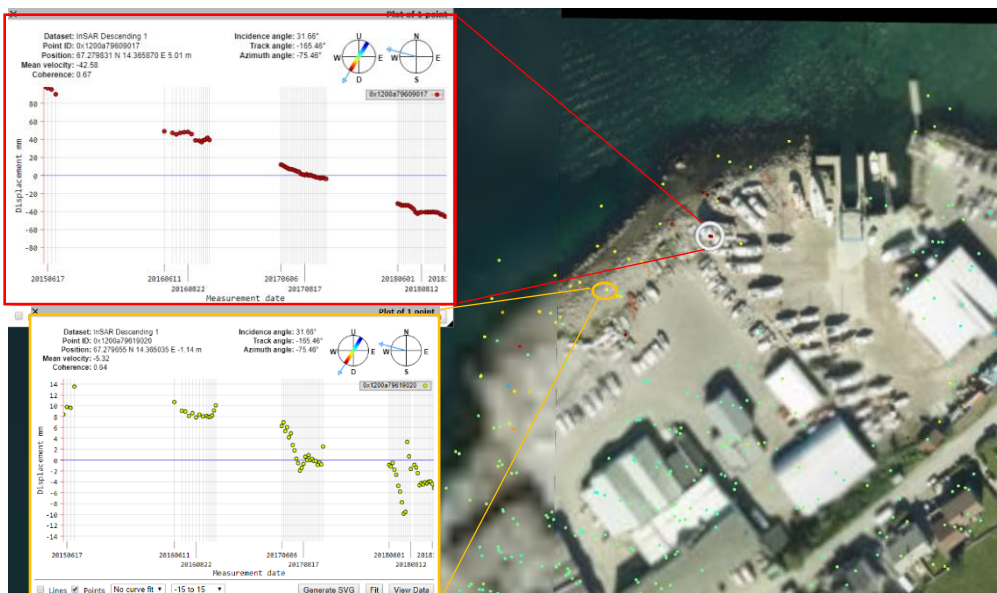
<p><b>2006</b> Planlagt fylling i området virker å være ferdigstilt.</p>	
<p><b>2009</b> Det er fylt forbi og over det som tolkes å være prosjektert motfylling.</p>	
<p><b>2018</b> Ikke noen tydelig forendring mot 2009.</p>	



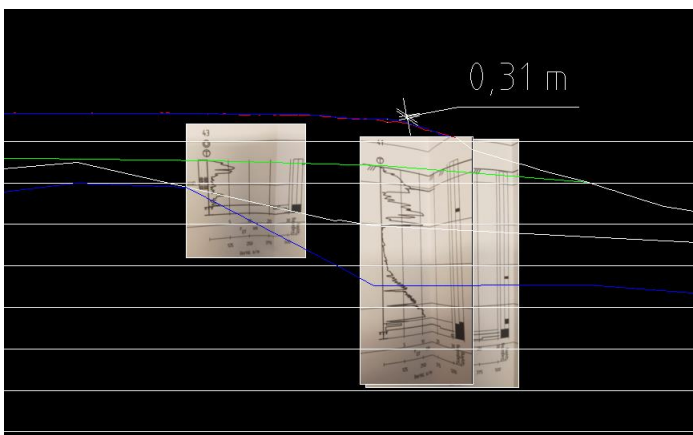
### 3.3 Dagens situasjon

For dagens situasjon virker det som at det fylt forbi og over prosjektert motfylling, fremstår uklart om det ble bygget motfylling slik prosjektert i det hele tatt. Ut ifra opplysninger fra lokalkjente personer er det pågående setninger for store deler av fyllingsfronten og dette har pågått siden bygging.

For å undersøke de pågående setningene har vi benyttet NGUs tjeneste INSAR, som er radarmålinger fra satellitt som logges årlig på sommerhalvåret. Målingene viser at deler av ytre delen fylling har pågående setninger (figur 3). Størrelsene på de målte setningene viser setninger oppimot ca. 4 cm/år ved deler av fyllingsfronten. For det indre arealet virker det ikke forekomme setninger av betydelig størrelse. Det er imidlertid en del usikkerhet knyttet til størrelsen av disse tallene da området ikke består av fast dekke, men en grusfylling hvor det er utført arbeid og lagring av båter som kan gi opphav til mindre setninger lokalt. Mellom 2009 og 2017 viser ett punkt ca. 30cm høydeforskjell ved sammenligning av laserdata, men det er som sagt stor usikkerhet knyttet til disse tallene.



Figur 3: Utklipp fra INSAR over området med målte setninger for 2 utvalgte punkter.



Figur 4: Rød linje viser innmåling fra 2017, blå linje viser innmåling fra 2009. Ved fyllingsfront ligger rød linje ca. 30 cm under blå. Grøn linje viser opprinnelig terreng før fylling ble etablert.

### 3.4 Løsmasser og dybde til berg

### 3.5 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 2 viser en oversikt over rapportene hvor boringene er hentet.



Figur 5: 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 leimassene 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 borpunkt 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 borpunktene.

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 sjøbunnkartlegging (utført våren 2007). Det er supplert tidligere undersøkelser med 1 totalsondering 3 CPT og 1 prøvetaking. Det er utført rutineforsøk pluss 2 treaksialforsøk på 2 prøver og ødometer (setningsegenskaper) på 2 prøver.



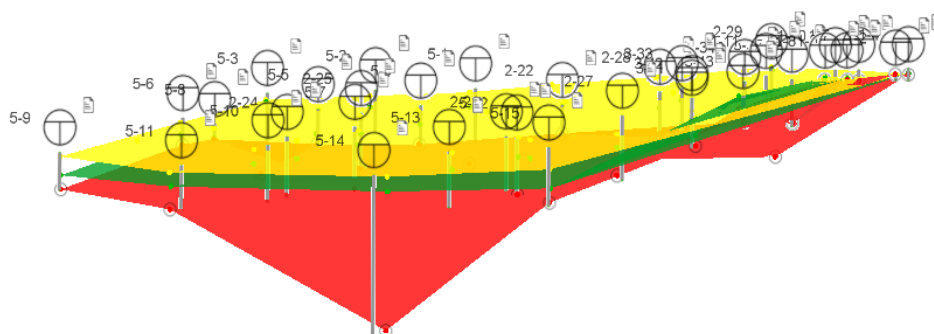
- **Rapport 5 Breivika Utfylling småbåthavn 2009 (ref. 7).**

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)

### 3.5.1 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). Lagdelingen for alle utførte boringer er tolket manuelt og det er generert flater i Novapoint (lag i grunnen) basert på interpolering mellom tolkingene, se figur 6.



Figur 6: Utklipp av lag i grunnen flater laget over sjøbunn i området.

## 4 Geotekniske vurderinger

### 4.1 Generelt

Foreløpig er det planlagt sjøfylling som en utvidelse av dagens fylling der det skal etableres pelefundamenterte bygg oppe på fyllingen. Byggene er antatt å bli etablert på borede stålrørspeler og stålkjemepeler ved behov for strekkoptak. Det er utført beregninger og vurdering av den videre utfylling i tillegg til tilhørende bølgebekyttelse (bølgebrytere eller molo).

Utførte beregninger viser at dagens sjøfylling står med relativt lav stabilitet. Den prosjekterte motfyllingen i ref. 18 virker ikke å være bygd (eller fylt over). I tillegg er det uklart om motfyllingen som var prosjektert hadde hatt stabiliserende effekt i det hele tatt da motfyllingen største del befinner seg i pådrivende sone som forverrer stabiliteten av fyllingen.

### 4.2 Planlagt utfylling fremfor eksisterende fylling

Vurderinger for utvidelsen av eksisterende fylling er basert på en forenklet geometri som vist på figur 7 og 9. Denne tar ikke hensyn til kanaler som var tenkt mellom bygg. Den tar heller ikke med den utstikkende piren som vist på 8, da denne medfører store fyllingsvolumer og ikke blir ansett som økonomisk fornuftig. Lengst i vest inntil dagens sørlige molo er det planlagt kai som står på borede peler for å ikke fylle igjen innfarten inn til dagens småbåthavn. Alternativer til pelet plate er vurdert mer utførlig i RIG-03 (ref. 22).

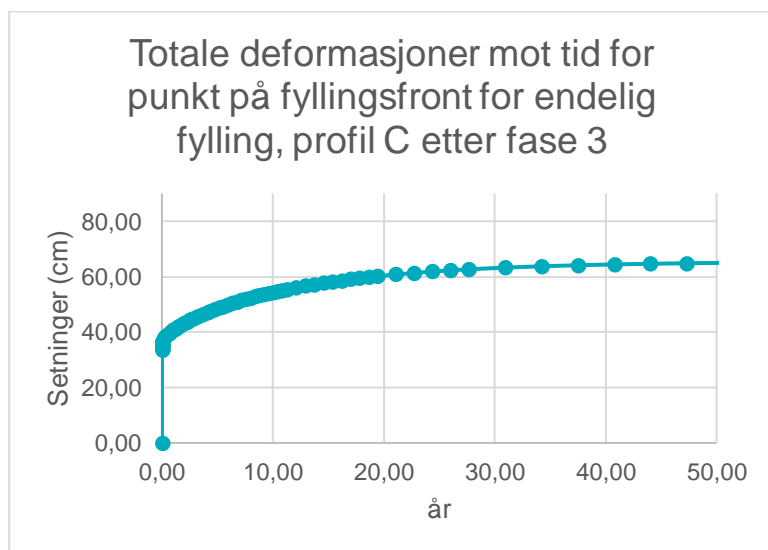


Figur 7 Fyllingsfront fra arkitektkonkurranse til venstre og modellert fylling til høyre.

Planlagt utfylling fremfor eksisterende fylling er vurdert som gjennomførbar, men det er behov for geotekniske tiltak. Dagens fylling står sannsynligvis med lav stabilitet og det er behov for en motfylling samt slak fyllingshelling for å erholde tilstrekkelig stabilitet for planlagt utfylling. Beregninger viser at det er behov for en fyllingsfront med helning ca. 1:3,2 til 1:3,8 ned til ca. kote (-5) - (-10). Fronthellingen må tilpasses mer nøyaktig i detaljfasen. Videre er det behov for å legge ut en motfylling i 30-40 meters lengde med tykkelse fra 2,5 meter til 1,5 meter før den avtrappes mot eksisterende sjøbunn. Dette forutsetter molo som bølgebekyttelse. Estimert størrelse for nødvendig motfyllingen ved å bruke bølgebrytere istedenfor molo er listet under 4.3.2 og er noe større.

For å oppnå tilstrekkelig stabilitet med beskrevet geometri er det nødvendig utføre fyllingen etappevis, med pauser mellom fyllingstrinnene slik at leiren kan tilpasse seg den nye belastningen. Det er beregnet at utfyllingen kan gjøres i 2 – 3 etapper hvis man regner med styrkeøkning fra konsolidering og bygger en

motfylling som beskrevet i vedlegg 1. Det er stor usikkerhet knyttet til nødvendig tid mellom hver fyllingsetappe. Setningene og konsolideringsgraden er estimert vha. 2D FEM beregninger i fem-koden Plaxis 2D. Det er benyttet parametere for å simulere jordens stivhet som tar utgangspunkt i parametere som normalt sees som representative for leire i de nordlige delene av landet, men det er ikke gjort tilstrekkelig med spesialforsøk på opptatte prøver til å kunne fastslå stedsspesifikke parametere med rimelig grad av sikkerhet. Vår modell kan derfor under-/overestimere de forventede setningene og tidsforløpet, så resultatene som er vist i tabell 8 må sees som et *overordnet estimat og må ikke ses som eksakt forløp*. Beregninger tyder på at det kan ta være nødvendig med en byggeperiode på oppimot 20 år ved å bygge hele fyllingen uten tiltak som påskynder konsolideringsforløpet.



Figur 8: Setningsutvikling uten vertikaldrener.

Det er derfor anbefalt å installere vertikaldrener igjennom den bløte leiren under planlagt utfylling hvis man ikke ser for seg en veldig lang byggeperiode. Ved bruk av vertikaldren er det estimert at setningene kan være unnagjort i løpet av 2 år med ca. 150 dager mellom hver fyllingstrinn. Dette forutsetter en avstand med ca. 1,5 meter mellom drenene fra start av leiren ved land og helt frem til fyllingsfot (dekker ikke motfylling). Figur 8 viser den estimerte setningsutviklingen (etter fase 3 beskrevet i vedlegg 1) basert på tilgjengelige data uten bruk av vertikaldren.

Vertikaldren er permeable fleksible slanger/rør som bores ned i den bløte leiren. Installasjon av slike vil dramatisk redusere ventetiden mellom fyllingsetapper. De vil også gjøre at setninger i fyllingen forløper raskere som gjør at bygging kan utføres kortere tid etter at fyllingen har nådd sin endelige utbredelse. Installasjon av vertikaldren krever nøyaktig geoteknisk planlegging og det er behov for kompletterende grunnundersøkelser før detaljprosjekteringen. I tillegg kommer det bli behov for å måle setninger og poretrykk i leiren under/mellom utfyllingsfasene.

Det er fordelaktig å få lagt ut fyllingen i sin helhet så tidlig som mulig i prosjektet da setningsstørrelsen er et estimat basert på en rekke antakelser. Dersom det skal etableres noe oppe på fyllingen kommer setningene til å øke avhengig av tilført last. Ved etablering av konstruksjon eller bygg på fyllingen må stabilitet og setninger vurderes på nytt. Sannsynligvis må bygg på fyllingen etableres på peler. Lettere konstruksjoner som ikke er planlagt helt ved fyllingsfront kan muligens direktefundamenteres. Tiltak som lastkompensering igjennom å skifte ut deler av steinfyllingen mot lette masser kan være aktuelle.

### 4.3 Planlagt bølgebeskyttelse

Simulering av bølgehøyder med fremtidig havnivåstigning viser at det er behov for å etablere en bølgebeskyttelse fremfor den planlagte utfyllingen.

Det er i denne fase av prosjektet utredet flere forskjellige alternativer for bølgebeskyttelse av RIH. Alternativene er utførlig beskrevet i ref. 21. De 2 mest sannsynlige alternativene er utredet videre av RIG, disse er:

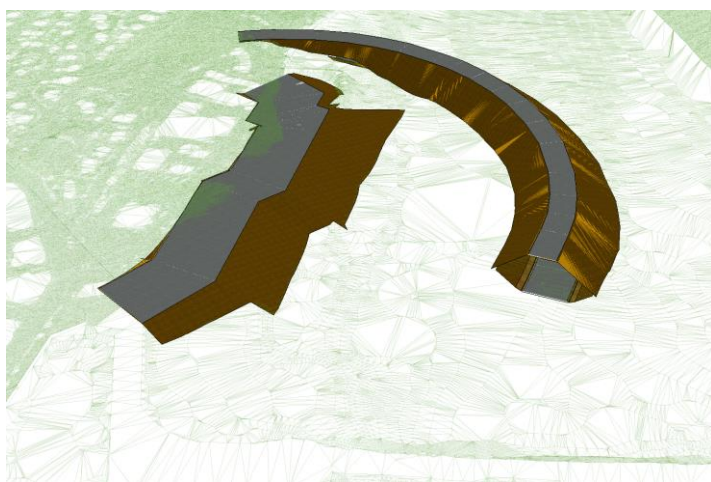
- Molo.
- Bølgebrytere foran fyllingen.

Bølgebrytere virker per nå som den foretrukne løsningen av økonomiske og tekniske hensyn, men molo er ikke utelukket.

#### 4.3.1 Bølgebeskyttelse ved Molo

For å kunne bygge moloen som vist på figur 1 er det behov for geotekniske tiltak for å unngå at moloen raser ut som følge av den bløte leiren. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i mudring av all bløt leire under hele moloens lengde og bredde. Mudringsvolumet kan muligens minkes noe ved bruk av stegvisoppfylling. Bredden og høyden av moloen må detaljeres av RIH (Rådgivende Ingeniør Havn) for nøyaktige masseberegninger kan utføres. Forslagsvis bør den etablerte modellen av moloen oppdateres etter innspill fra RIH.

Det kan ikke utelukkes at det finnes rimeligere tiltak enn mudring for å oppnå tilstrekkelig geoteknisk stabilitet med hensyn på kostnad. Spesielt dersom massene viser seg forurenset kan det komme høye tilleggskostnader i forbindelse med deponering av slike masser. Et eksempel på alternativ til mudring kan være å benytte kalksementstabilisering. Det er en metode der en blanding av kalk og sement blandes inn i leiren for å øke leirens styrke. Ved evaluering av mengder/kostnad for ny molo bør derfor mengdene listet for ny molo uten oppgitt mudringsvolumet evalueres i første omgang. Dersom de angitte mengdene gjør at moloen blir uaktuell er det lite hensikt med å dimensjonere tiltak for å oppnå tilstrekkelig stabilitet. Dersom det ønskes å gå videre med moloen kan det tas utgangspunkt i kostnaden for mudringstiltaket og forsøke finne rimeligere løsning med hensyn på kostnad.



Figur 9: Ny molo, mudring under molo og modellert fylling med fyllingshelling som varierer mellom 1:3,2 og 1:3,8. Motfylling er ikke vist.



### 4.3.2 Bølgebrytere foran fylling

Det kan vise seg hensiktsmessig å utvide fyllingsfronten ved å bygge et bølgebrytende mønster fremfor planlagt fylling i stedet for molo. Ulempen med dette alternativet er at det ikke blir gode havneforhold utenfor moloen, men vi har forstått det slik at dette ikke er nødvendig dersom kostnaden av moloen blir for høy. Oppdragsgiver har derfor stilt seg positiv til at mulighetene for en slik løsning utredes. Utførte beregninger viser at dette ikke lar seg gjennomføres uten stabiliserende geotekniske tiltak. Rimeligste tiltak er vurdert å være motfylling og vertikaldrenering, der det kan være behov å installere drenene under motfyllingen også. Utførte beregninger viser at nødvendig motfylling for sjøfyllingen sammen med en bølgebrytere vil være ca. 50 – 60 m lang og 3 – 4 m tykk. Hvis det skal brukes bølgebrytere foran fyllingen er det sannsynligvis behov å legge ut fyllingen i minimum 4 fyllingsetapper. Der nødvendig ventetid mellom hver etappe er avhengig av oppnådd styrke og målt poretrykk.



Figur 10: Eksempel fra Lofoten på bølgebrytere.



#### 4.4 Naturfare (TEK17)

Det er påtruffet sprøbruddsmateriale/kvikkleire på sjøen og områdestabiliteten er utredet for dagens situasjon i ref. 20. Det er konservativt antatt at alle totalsonderingen som indikerer bløt leire er sprøbruddsmateriale i denne fase av prosjektet. Kravene for områdestabilitet er ikke oppfylt uten tiltak for et K4 tiltak for dagens situasjon. Dette gjelder for de byggene som kommer innenfor oppteignet faresone i ref. 20. I forbindelse med detaljprosjektering må byggene som kommer innenfor faresonen tegnet opp i ref. 20 forholde seg til kravene i NVEs gjeldende kvikkleireveileder (antatt at 2019 utgaven som er på høring er gjeldene da). Hvis byggene ikke medfører noen ekstra utfylling eller påført last innenfor faresonen er det tegnet et forslag på motfylling i ref. 20 som kan bygges for å høye områdestabiliteten til akseptable nivåer. Motfyllingen må detaljprosjekteres, den må da ses på i sammenheng med videre planlagt utfylling beskrevet i denne rapport og valgt metode for bølgebekyttelse. Før motfylling detaljprosjekteres må det gjennomføres kompletterende grunnundersøkelser.

For de byggene som er planlagt med ekstra utfylling innenfor den opptegnede faresonen er det behov for å sjekke hver bygg separat så at de oppfyller kravene til NVE. Forslag på tiltak er i denne rapport en større/lengre motfylling og vertikaldrenering. Tilstrekkelig lokalstabilitet for planlagt sjøfylling med tilhørende motfylling er dokumentert i beregningsvedlegget basert på det eksisterende underlaget. Områdestabiliteten bør da være tilfredsstillende for utfylt område. Dette på bakgrunn av at det ikke er registrert noe løseområde eller utløpsområde som kan ramme området annet enn det i ref. 20. Dette må detaljprosjekteres/detaljeres ytterligere når rekkefølgen av utbyggingen er avklart og endelig løsning for bølgebekyttelse (bølgebrytere eller molo) er bestemt. Forslagsvis detaljprosjekteres utfylling i samband med detaljprosjekteringen av den første motfyllingen som er nødvendig for å oppnå tilstrekkelig stabilitet for dagens situasjon.

#### 4.5 Videre arbeider

##### Supplerende undersøkelser

Før fylling og bølgebekyttelse skal detaljprosjekteres er det nødvendig å utføre supplerende grunnundersøkelser ved boring på sjøen. I tillegg er det anbefalt at det utføres ny sjøbunnsinnmåling og kartlegging av blokker på sjøbunn. Forslagsvis bør også setningene ved dagens fyllingsfront måles i 1 – 3 faste punkter for å muliggjøre optimering av beregninger/parametere.

Det er spesielt stor usikkerhet knyttet rundt størrelsen på setningene og hastigheten av disse, da vi har lite stivhetsdata fra de utførte grunnundersøkelsene. Det blir også nødvendig å instrumentere fyllingen med poretrykksmålere i samband med utfylling, i tillegg til å kontrollere oppnådd skjærfasthet med kompletterende grunnundersøkelser.

## 5 Referanser

- ref. 1: State of the art: Blokkprøver. Rapport nr. 41/2013. NIFS, Naturfareprosjektet Dp.6 Kvikkleire.
- ref. 1: NS-EN 1990:2002+NA:2008 + A1:2005 + NA:2016: Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- ref. 2: NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler.
- ref. 3: NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014: Eurocode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger.
- ref. 4: Byggesaksforskriften (SAK10), Direktoratet for byggkvalitet, 2016-08-04
- ref. 5: Byggteknisk forskrift (TEK17), Direktoratet for byggkvalitet, 2017-12-12
- ref. 6: Kartverket (2018)
- ref. 7: Håndbok N200 - Vegbygging. Vegdirektoratet (2014)
- ref. 8: Håndbok V221 - Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger. Vegdirektoratet (2018)
- ref. 10: 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. 11: Håndbok V220- Geoteknikk i vegbygging. Vegdirektoratet (2018)
- ref. 12: <http://batcofra.se/vertikaldranering/>
- ref. 13: Molo slip, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 1. Scandiaconsult 2001.
- ref. 14: Molo slip & mek. verksted, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 2. Scandiaconsult 2001.
- ref. 15: Fylling i sjøen, Tolder Holmers veg, Bodø. Grunnundersøkelser datarapport. Rapport nr. 1. Scandiaconsult 2001.
- ref. 16: Bodø Havn, Molo vest (Breivika), Bodø. Datarapport fra grunnundersøkelse. Rambøll 2007.
- ref. 17: Breivika utfylling småbåthavn, Bodø. Grunnundersøkelse datarapport. Multiconsult 2009.
- ref. 18: Utvidelse av landareal, Løvold/Jakhelln oppdrag 6103091. Stabilitetsberegninger. Scandiaconsult 2001.
- ref. 19: En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer. Rapport nr. 14/2014. NIFS, Naturfareprosjektet Dp.6 Kvikkleire.
- ref. 20: RIG-04 Utviklingsområde vest, Vurdering av områdestabiliteten. Norconsult 2020.
- ref. 21: Vurdering av sikring mot sjø. Norconsult 2020.
- ref. 22: RIG-03 Breivika utviklingsområde, Innledende geoteknisk vurdering – Alternativ til fylling forbi småbåthavn.

## 6 Vedlegg

Vedlegg 1: Beregningsvedlegg

## **Vedlegg 1: Geotekniske beregninger**

Vedlegget sammenfatter og gir detaljer om de utførte geotekniske beregningene for rapporten 5192886-RIG-01. Vedlegget må leses i kombinasjon med rapport og er ikke et selvstendig dokument.

### **Innhold**

<b>1</b>	<b>Geotekniske beregninger</b>	<b>2</b>
1.1	Materialfaktorer	2
1.2	Beregningsforutsetninger	2
1.2.1	Jordparametere	2
1.2.2	Lastpåvirkning	5
1.2.3	Modellering	5
1.2.4	Profil C	6
1.2.5	Profil E	6
1.3	Beregningsresultater stabilitet	9
1.4	Geoteknisk områdestabilitet	10
1.5	Setninger	11
<b>2</b>	<b>Masseberegninger</b>	<b>12</b>

## 1 Geotekniske beregninger

### 1.1 Materialfaktorer

Eurokode 7, Tabell NA.A.2 (ref. 3) 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.

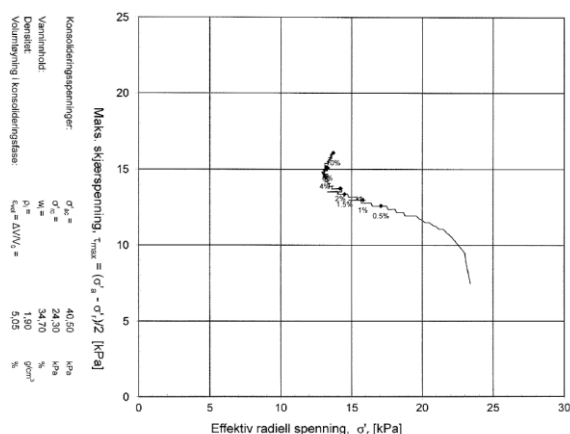
### 1.2 Beregningsforutsetninger

#### 1.2.1 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  $0,28 \cdot p_0 >$  tolket udrenert aktivskjærfasthet.

Det er utført en rekke udrenerte aktive treaksialforsøk, alle forsøk indikerer dilatasjon ved brudd. Dette er antatt å være på grunn av prøveforstyrelse, da materialet er forventet å ha en sprøppførsel. Forsøkene er derfor tolket før dilatasjon inntreffer.

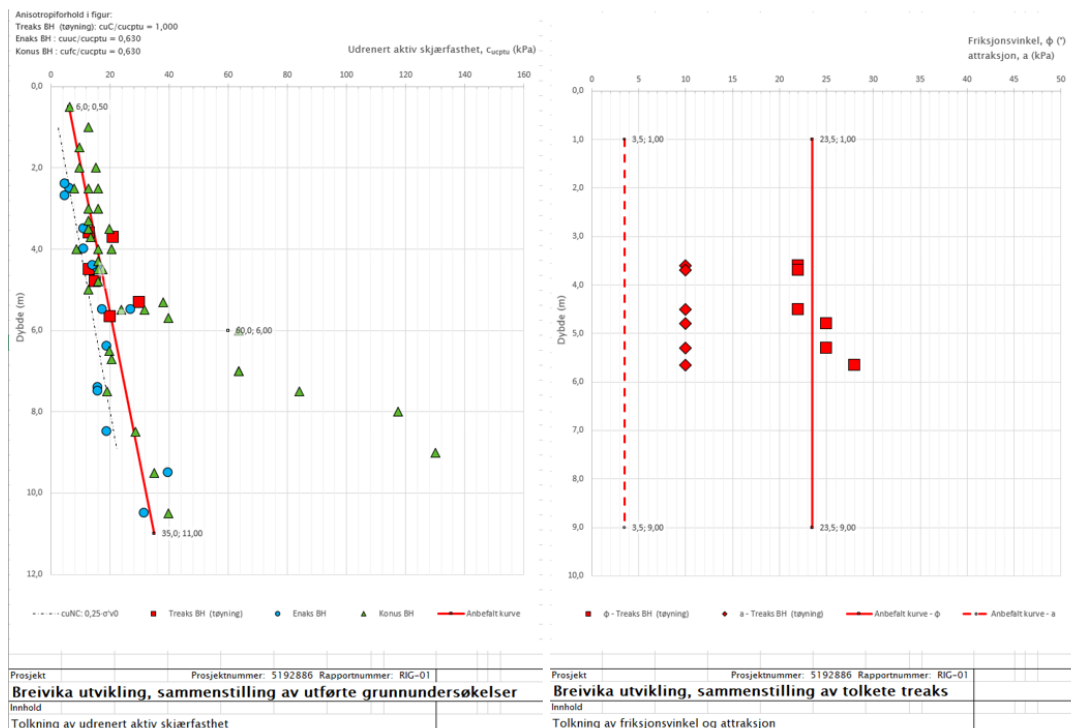


Figur 1: Utklipp av utført aktivt udrenert treaksialforsøk fra (ref. 17).

Valg av ADP-faktorer for udrenert beregning baserer seg på anbefalinger fra forskningsprosjektet NIFS (ref. 19) Det er valgt følgende ADP-forhold ( $I_p < 10\%$ ):

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

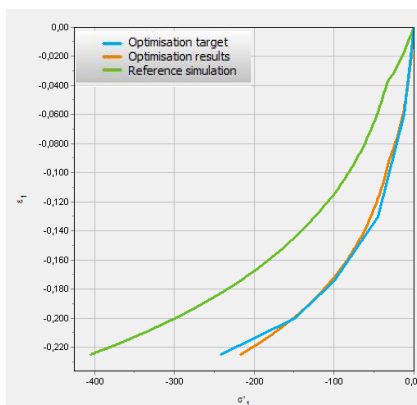
$$\frac{Cu_E}{Cu_A} = 0,35$$



Figur 2: Sammenstilling av tolket aktiv udrenert skjærfasthetsprofil og  $a/\phi$  for den bløte leiren

I tillegg er det utført simulering av aktive udrenerte treaksialforsøk der parametrene er justert av største tolket udrenert aktivskjærfasthet ikke blir overskredet. Stivhetsparametrene ble også justert slik at simulert treaksialforsøk ikke har alt for stor tøyning før brudd.

For å velge stivhetsparametrene for leiren er ødometerforsøket presentert i rapport «Molo vest (Breivika)» brukt. Vektlagt ødometer er tatt på en dypere dybde enn ønsket, men det er eneste CRS-forsøk som Norconsult har tilgang til. Kurven er lastet opp i Plaxis soil test, og stivhetsparametrene er optimert i parameteroptimaliseringsmodulen. Opprinnelig valgt kohesjon ble også satt noe lavere for bedre kurvtilpassing.



Figur 3: Blå linje viser utført CRS forsøk fra ref. 16 og oransje linje viser simulert forsøk med valgte parametrene.



Brukte styrkeverdier i stabilitetsberegningene er oppsummpert i tabell 1.

Tabell 1 – Valgte parametere for stabilitetsberegningene

Lag	$\gamma/\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	Effektive styrkeparametere, $c/\phi'$ (kN/m <sup>2</sup> / grader)	Udrenert styrkeparameter, $C_{u,A}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Sprengstein	19/12	5/42	-
Sand/grus	19/9	3,5/35	-
Leire	18/8	1,5/23,5	0,3 $p'_0$ - Tolket skjærfasthet (figur 8) 0,28* $p'_0$ Ved konsolidering
Silt	19/9	6/30	100
Leimorene	19/9	25/30	-

For setningsberegninger er materialmodellen hardening soil brukt i Plaxis for å beskrive jordens oppførsel. Overgangen mellom silt- og leirlaget er tolket konservativt til leirens fordel. Massene under leiren er mindre interessant i dette sammenheng, da det forventes begrensede setninger i disse. Disse massene modelleres generelt som en fast silt med noe setningspotensiale over en fast tett leimorene. Permeabiliteten for materialene er ikke kjent, disse er valgt basert på tabell 2.54 i V220 (ref.11).

Tabell 2: Benyttete materialparametere i FEM analysene

Parameter	Enhet	Sand/grus	Leire	Silt	Leimorene
Drainage type		Drained	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	20	18	19	19
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20	18	19	19
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	40 000	4100	7000	40 000
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	40 000	1700	5000	40 000
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	120 000	14 000	15 000	120 000
Power (m)		0,5	1	0,8	-
$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	3,5	1,5	6	25
$\phi$ (phi)	°	35	23,5	30	30
$\Psi$ (psi)	°	0	0	0	0
$k_x=k_y$	m/dag	27	2*10 <sup>-5</sup>	2*10 <sup>-5</sup>	2*10 <sup>-5</sup>

## 1.2.2 Lastpåvirkning

### Sjøfylling utenfor eksisterende fylling

Det er forutsatt at fyllingen legges ut med lekter og fjernstyrte hjullastere. Det er ikke brukt noe trafikkklaster i beregningene for de midlertidige fasene. For endelig fylling er det brukt terrenglast (6,5 kPa) da det er forutsatt at eventuelle bygg på fylling skal stå på peler. Før etablering av bygg/konstruksjoner som direktefundamenteres på fyllingen må stabiliteten kontrolleres på nytt.

### Moloen

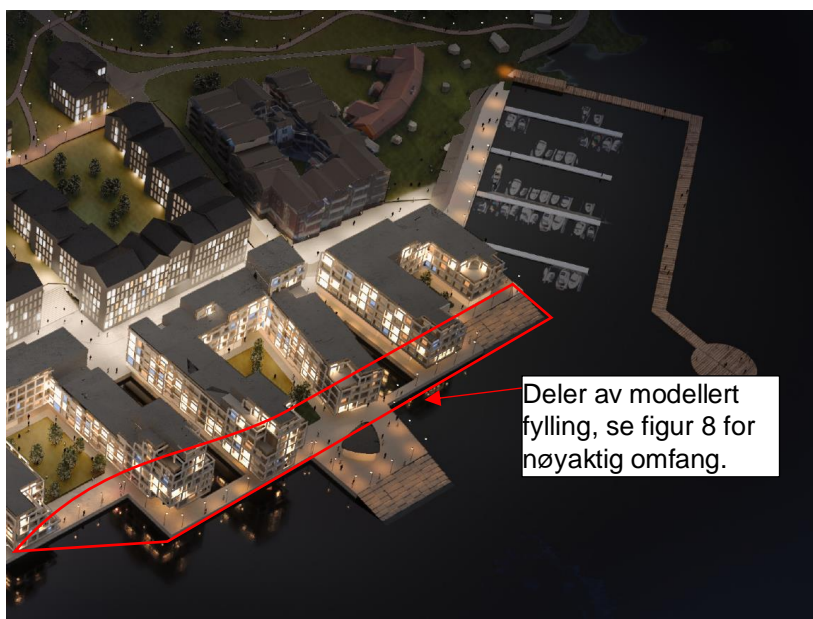
I byggefase er det lagt til grunn full trafikklast iht. tilknyttet Statens vegvesens håndbok N200 (ref. 8). For å ta hensyn til både dumper/lastebil og gravemaskin med en viss størrelse er det benyttet en jevnt fordelt dimensjonerende last på 19,5 kPa over full molobredde.

I ferdigbygd tilstand er det lagt til grunn dimensjonerende terrenglast iht. Eurokode 7 (ref. 3) på 6,5 kN/m<sup>2</sup> på hele fyllingsbredde.

## 1.2.3 Modellering

### Sjøfylling utenfor eksisterende fylling

Fyllingen er modellert som en utfylling med varierende bredde utenfor dagens fylling opp til kote +3,5. Sjøkanalene mellom husene er modellert som fylling, beregnete profiler er vist i figur 1 i hovedrapport. Det er forutsatt at den mindre eksisterende moloen mot vest blir fjernet.



Deler av modellert fylling, se figur 8 for nøyaktig omfang.

Figur 4: Utklipp fra vinnerforslag av arkitektkonkurranse, denne modell er brukt for å sjekke behov for utfylling. Utearealet fremfor byggene er ikke tatt med i beregningene/modellen.

Stabiliteten er kontrollert for to representativt snitt i Geosuite stability (Profil C og E).

### 1.2.4 Profil C

Med snitt C i utgangspunkt blir fyllingen lagt ut i etapper med konsolidering og manuell styrkekøkning på totalspenningsbasis (ADP) mellom fasene. For å oppnå tilstrekkelig partialfaktor i byggeperioden er det behov for å legge ut fyllingen i 3 omganger med full konsolidering mellom fasene. Endelig fylling må ha fyllingshelling 1:3,2 ned til kote -10. Fra kote -10 er det behov for en ca. 40 meter lang motfylling som må være ca. 1,5 meter tykk i 35 meters lengde, de siste 5 meterne kan legges med lineært avtagende høyde.



Figur 5: Utklipp av brukte beregningsfaser i Plaxis for profil C.

### 1.2.5 Profil E

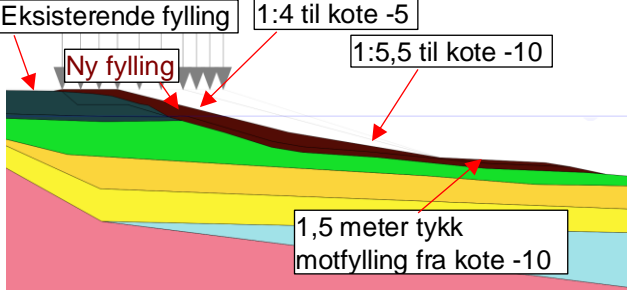
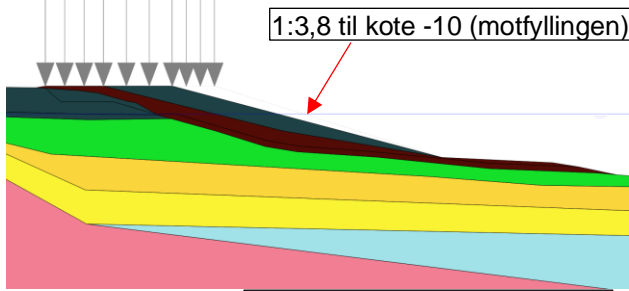
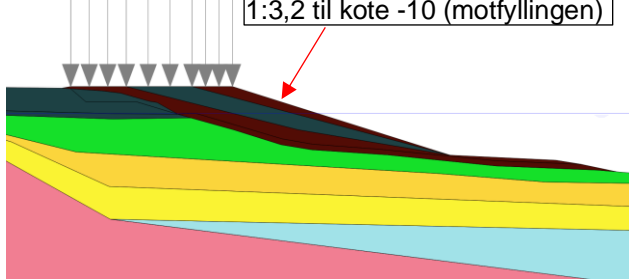
For delen av fyllingen som er representert av profil E er det behov for en fyllingshelling på 1:3,6 ned til kote - 5 der en ca. 40 meter lang motfylling starter som må være ca. 2,5 meter tykk i starten. Høyden/tykkelsen av motfyllingen er avtagende til 2 meter over en ca. 30 meters lengde. Denne fylling og motfylling må også legges ut i etapper, antallet etapper og utforming er ikke beregnet i denne rapporten. De siste 10 meterne kan legges med lineært avtagende høyde mot sjøbunn. Motfyllingen starter fra kote -5 i beregningen. Eksakt overgang mellom utformingen for motfylling må detaljeres og mer profiler må beregnes i en senere prosjektfase.

Disse fasene blir også implementert i en Plaxis 2D modell der setningsforløpet og konsolideringstiden anslås for profil C, stabiliteten basert på effektivspenningsparameterer med poreovertrykk blir også kontrollert. Det er også gjort et enkelt overslag hvordan effekt vertikaledrener vil ha på tidsforløpet for setningene i Plaxis beregningene.

Generelt må motfyllingen og fyllingstrinnene optimeres mot mere snitt i den videre prosjekteringen. Da størrelse og omfang kommer til å variere over området.

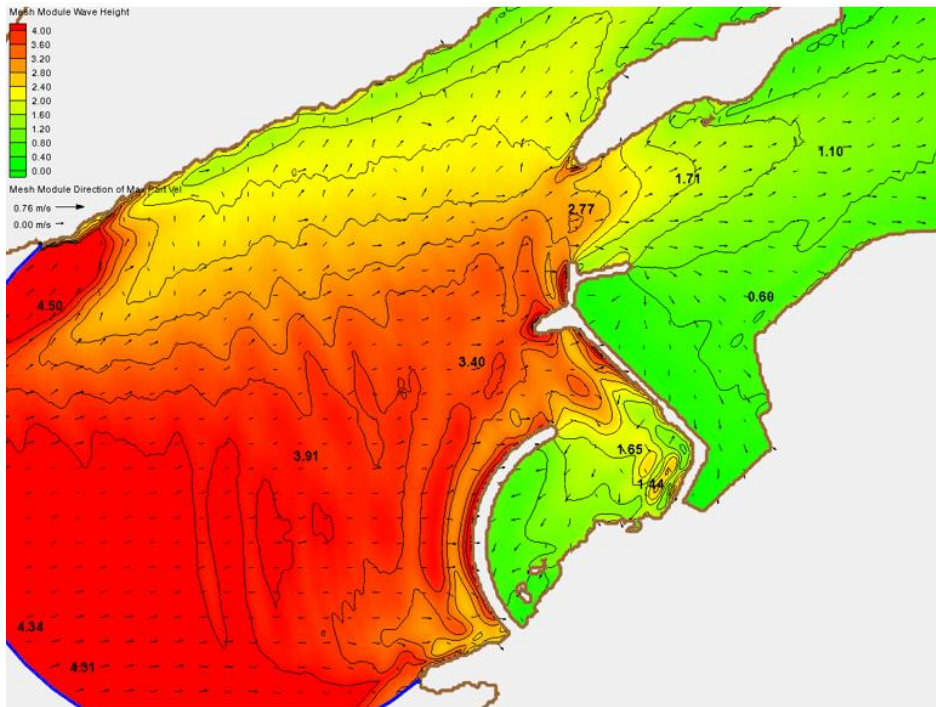
De ulike utbyggingstegene og brukt tid med gjenstående poreovertrykk er oppsummert i tabell 6.

Tabell 3 Beregningsfaser for fyllingstrinnene

Fase	Konsolideringstid/ventetid [år]	Utklipp av modell
Etablering av motfylling og liten utfylling (fase 1)	Brukt 3 år i beregningene. Dette er ikke tilstrekkelig med de brukte parameterne. Behov for >5 års ventetid, etter 5 år gjenstår det ca. 30 kPa i poreovertrykk.	
Etablering av fylling 17 meter ut fra eksisterende fylling (fase 2)	Brukt 3 år i beregningene og 5 år i fase 1. Da gjenstår det et poreovertrykk på > 60 kPa etter 3 år.	
Etablering av fylling 25 meter ut fra eksisterende fylling (fase 3)	Brukt 3 år i beregningene med 5 år i fase 1 og 3 år i fase 2. Da gjenstår det et poreovertrykk på > 64 kPa etter 3 år.	

Ny molo

Stabiliteten for ny molo er beregnet i Geosuite-stability. Moloen er modellert basert på plantegning fra RIH. Høyden på moloen er lagt til kote +5 med en bredde på 9 meter i topp og fyllingshelling 1:1,3, nødvendig høyde/bredde må detaljeres av RIH. Mengdene oppgitt for planlagt molo må derfor ses som foreløpige.



Figur 6: Utklipp av bølgeanalyse med ny molo. Moloen er også vist i figur 1.

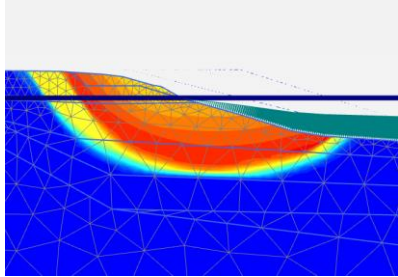
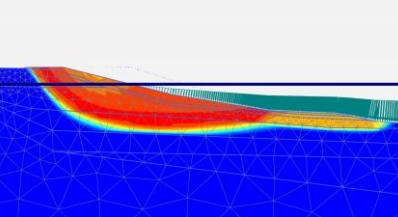
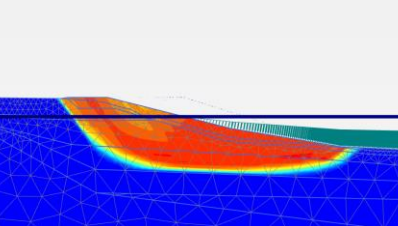
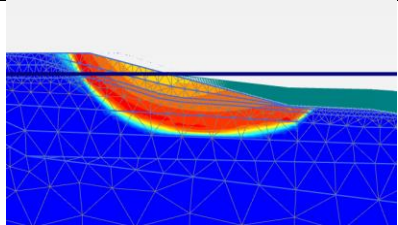
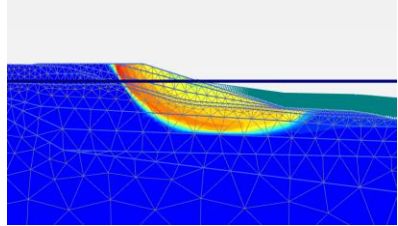
Den enklest løsningen med med hensyn til utførelse for å oppnå tilstrekkelig stabilitet for ny molo vil være å mudre bort all bløt leire under planlagt molo. Denne rapport tar utgangspunkt i mudring da motfyllinger blir urimelig svære uten å ta høyde for konsolidering.



### 1.3 Beregningsresultater stabilitet

Med nevnte beregningsforutsetninger er partialfaktorene beregnet, partialfaktorene er gjengitt i tabell 4 og 5.

Tabell 4: Beregnet sikkerhet i representative situasjoner for profil C.

Byggefase/-tilstand	Beregnet partialfaktor ved c'- $\phi$ -reduksjon	Kritisk bruddflate	Beregnet partialfaktor i Geosite stability på totalspenningsbasis (ADP)
Dagens situasjon	1,60		1,15
Fase 1 Før konsolidering	1,60		1,38
Fase 1 Etter konsolidering	1,74*		1,72
Fase 2 Før konsolidering	1,33		1,41
Fase 2 Etter konsolidering	1,46*		1,60
Fase 3 Etter konsolidering	1,36*		1,40
* Etter 3 år konsolidering/fase. Det gjenstår fortsatt poreovertrykk (ikke full konsolidering). ADP beregningene er basert på fullstendig konsolidering.			

Tabell 5: Beregnede partialfaktorer for representative situasjoner for ny molo langs profil C.

Byggefase/ tilstand	Beregnet partialfaktor ADP	Beregnete partialfaktorer i Geosuite-stability																																																												
Uten mudring	0,62	<p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Thickness</th> <th>Soil weight</th> <th><math>\gamma</math></th> <th><math>c</math></th> <th><math>\phi</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th><math>\beta</math></th> <th><math>\delta</math></th> <th><math>\rho</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fylling</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td>17.0</td> <td>0.0</td> <td>35.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sand/grus</td> <td>800</td> <td>800</td> <td>19.0</td> <td>0.0</td> <td>35.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Leire</td> <td>800</td> <td>800</td> <td>18.0</td> <td>100</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Skifer</td> <td>700</td> <td>700</td> <td>26.0</td> <td>100</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Berg</td> <td>2100</td> <td>2100</td> <td>26.0</td> <td>450</td> <td>50.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table> </p>	Material	Thickness	Soil weight	$\gamma$	$c$	$\phi$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\rho$	Fylling	1000	1000	17.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Sand/grus	800	800	19.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Leire	800	800	18.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Skifer	700	700	26.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Berg	2100	2100	26.0	450	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Material	Thickness	Soil weight	$\gamma$	$c$	$\phi$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\rho$																																																					
Fylling	1000	1000	17.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Sand/grus	800	800	19.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Leire	800	800	18.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Skifer	700	700	26.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Berg	2100	2100	26.0	450	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Med mudring	1,43	<p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Thickness</th> <th>Soil weight</th> <th><math>\gamma</math></th> <th><math>c</math></th> <th><math>\phi</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th><math>\beta</math></th> <th><math>\delta</math></th> <th><math>\rho</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fylling</td> <td>800</td> <td>800</td> <td>17.0</td> <td>0.0</td> <td>35.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sand/grus</td> <td>700</td> <td>700</td> <td>19.0</td> <td>0.0</td> <td>35.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Leire</td> <td>800</td> <td>800</td> <td>18.0</td> <td>100</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Skifer</td> <td>700</td> <td>700</td> <td>26.0</td> <td>100</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Berg</td> <td>2100</td> <td>2100</td> <td>26.0</td> <td>450</td> <td>50.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table> </p>	Material	Thickness	Soil weight	$\gamma$	$c$	$\phi$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\rho$	Fylling	800	800	17.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Sand/grus	700	700	19.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Leire	800	800	18.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Skifer	700	700	26.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Berg	2100	2100	26.0	450	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Material	Thickness	Soil weight	$\gamma$	$c$	$\phi$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\rho$																																																					
Fylling	800	800	17.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Sand/grus	700	700	19.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Leire	800	800	18.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Skifer	700	700	26.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					
Berg	2100	2100	26.0	450	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																					

## 1.4 Geoteknisk områdestabilitet

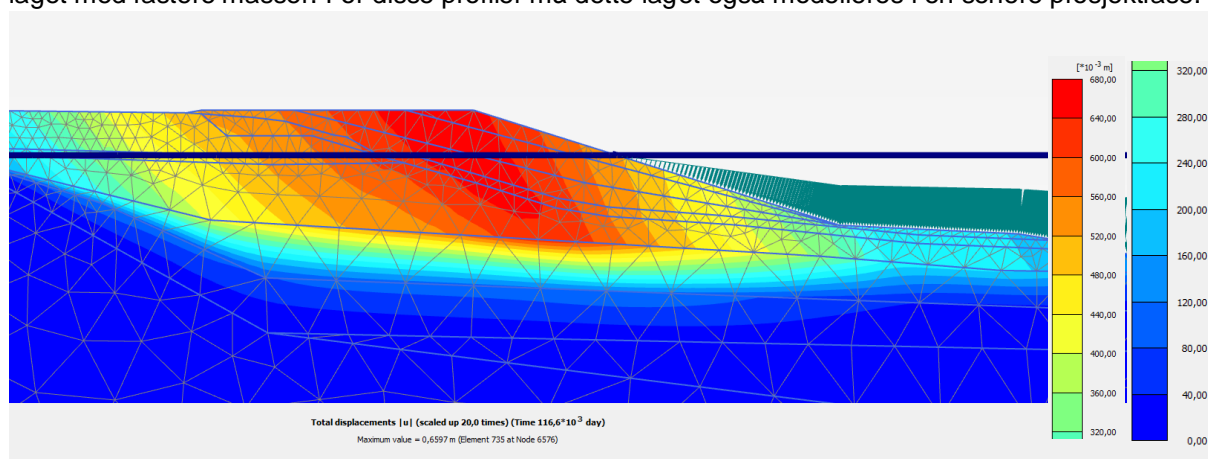
Det er påvist materiale med sprøbruddegenskaper på sjøbunn i det aktuelle området. Områdestabiliteten bør/må utredes iht. NVEs kvikkleireveilederer hvis man skal gå videre med prosjektet. Når planene er mer detaljert (molo eller ikke) bør behovet for å utrede områdestabiliteten vurderes. Dette må senest gjøres i forbindelse med reguleringsplanen.

## 1.5 Setninger

### Sjøfylling utenfor eksisterende fylling

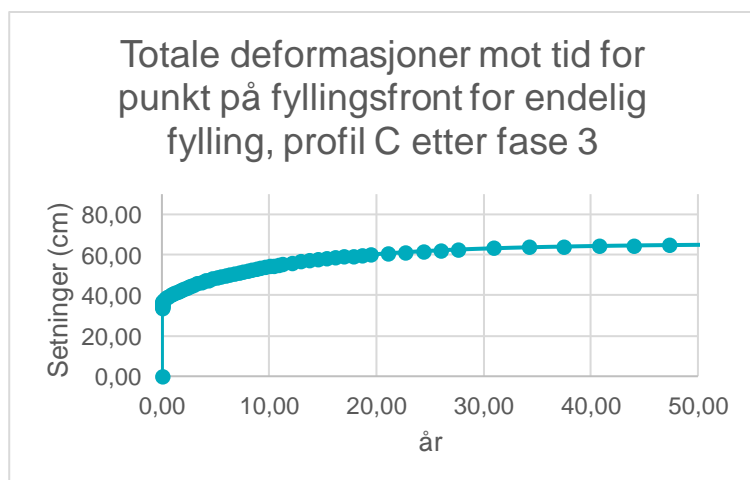
Det ble utført en kontroll av de valgte parameterne ved at de beregnete setningene under dagens fyllingsfront ble kontrollert mot figur 3 for fase 2018. Beregningen viser at dagens fylling hadde satt seg totalt ca. 30 cm ved fyllingsfront og med en hastighet på ca. 5 mm/år mellom 2015 – 2018. Dette samsvarer bra med hastigheten og størrelsen indikert i figur 3 i hovedrapport.

Det er estimert at ferdig fylling kan sette seg mellom ca. 40 – 80 cm. Med de valgte jordparameterne indikerer Plaxis beregningene ca. 65 cm setninger for ny fylling utenfor eksisterende fylling som kommer over ca. 20 år etter at fyllingen i fase 3 er lagt ut. Dette er basert på veldig usikre permeabilitetsverdier og må bekreftes med kompletterende prøvetaking. Massene under den bløte leiren er forenklet til å bestå av leirmorene for hele profilet (ikke setningsgivende). På noen steder i området forekommer det bløt leire under laget med fastere masser. For disse profiler må dette laget også modelleres i en senere prosjektfase.



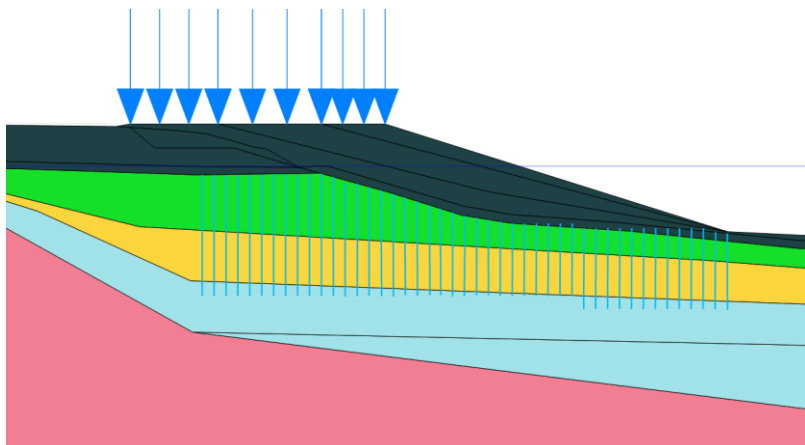
Figur 7: Beregnete maks setninger (ca. 66 cm) for profil C etter fullstendig konsolidering

Dette er antatt at setningene kommer pågå i en periode > 10 år uten vertikaldren, følgende kurve viser beregnet tidsforløp uten tiltak.



Figur 8: Etter at alle fyllingstrinn er lagt ut med 3 års intervaller imellom er følgende setningsutvikling beregnet

Ved bruk av vertikaldren er det estimert at setningene kan være unnagjort i løpet av 2 år med ca. 150 dager mellom fasene. Dette forutsetter en avstand om ca. 1,5 meter mellom drenene fra start av leiren ved land og helt frem til fyllingsfot (dekker ikke motfylling).



Figur 9: Utklipp av beregnet modell med vertikaldren

Det er fordelaktig å få lagt ut fyllingen i sin helhet så tidlig som mulig i prosjektet da setningsstørrelsen er et estimat basert på en rekke antakelser. Hvis det skal etableres noe oppe på fyllingen kommer setningene å øke avhengig av tilført last. Separate setningsberegninger må utføres for alt som skal etableres på fyllingen.

### Ny molo

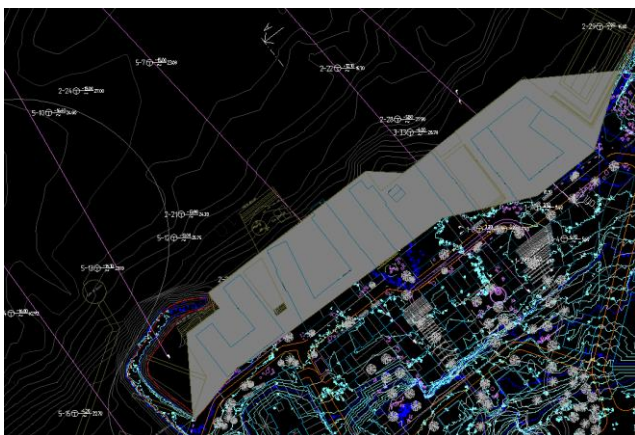
Ved å mudre bort all bløt leire under planlagt ny molo er setninger ikke forventet å være et problem. Setningene kan forventes å til største del bestå av egenetninger i fyllingen. Disse er forventet å være unnagjort i løpet av ca. 1 år. Hvis det er ønskelig å se på andre tiltak enn mudring kan det forventes setninger av betydende størrelse over lang tid.

## 2 Masseberegninger

Ved beregning av estimert behov for mengde masser er Novapoint modellene for tiltakene lagt til grunn.

Planlagt ny fylling er modellert noe forenklet og samsvarer ikke helt med arkitektskisse. Grå flate i figur 16 viser modellert topp fyllingsflate over arkitektskisse. Blant annet er ikke utstikkende del fremfor bygg tatt med i Novapointmodellen i tillegg til de planlagte hullene i fyllingen. Det er forutsatt at dagens mindre molo til venstre i figur 16 blir fjernet. Massebehovet for fortsettingen av fyllingen forbi denne moloen er regnet ut

manuelt (ikke tatt med masseoverskuddet som erholdts fra rivning av eksisterende molo i beregningene). Nødvendig mengde masser for motfyllingen er også beregnet manuelt.



Figur 10: Modellert fyllingsoverflate for ny er vist i grått

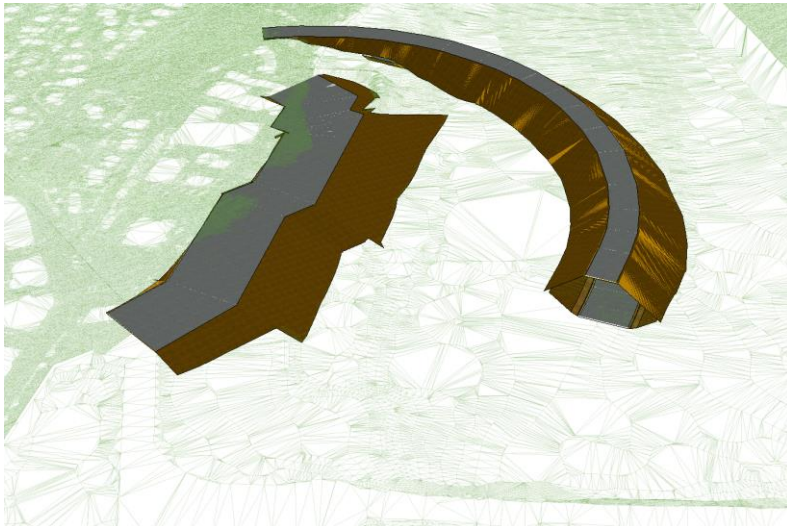
Ved fylling i sjø kan det være behov for å estimere et noe høyere fyllingsvolum for å ta hensyn til unøyaktig utlegging og fortregning av stedlige masser. Erfaringsstall viser at en utvidelsesfaktor på 1,50-1,55 bør benyttes fra fast berg til sprengt stein ved fylling i sjø (ref. 9). Denne faktor er antatt å inkludere egensetninger i fyllinga.

Massebehovet for ny fylling er basert på Novapointmodellen, utklipp av modell er vist i figur 17. Det er også gjort et veldig grovt estimat for nødvendig lengdemeter vertikaledrener. Dette er basert på en gjennomsnittlig dybde på 15 meter for vertikaledrenene over et areal på ca. 21 000 m<sup>2</sup>. Med en c/c-avstand på 1,5 meter resulterer dette i summen listet i tabell 8. En maskin som installer drener har normalt kapasitet for å installere oppimot 5 000 – 10 000 m/dag (ref. 12). Nødvendig massebehov og lengdemeter vertikaledren (veldig grovt) for planlagt fylling (overflate vist i figur 16) er oppsummert i tabell 9.

Tabell 6: Estimert behov for mengde tiltak/stein for planlagt ny fylling

Ny fylling (vist i figur 16)	Estimert mengde/lengde	Estimert mengde steinfylling med utvidelsefaktor lik 1,50
Ny fylling	108 000 m <sup>3</sup>	160 000 m <sup>3</sup>
Motfylling	17 000 m <sup>3</sup>	26 000 m <sup>3</sup>
<b>Total fylling</b>	<b>125 000 m<sup>3</sup></b>	<b>186 000 m<sup>3</sup></b>
Vertikaledrener	200 000 m	-

Moloen er modellert som en 9 meter bred veg opp til kote +5 med fyllingshelling 1:1,3 langs plantegning laget av RIH. Nødvendig mudringsflate er modellert som en vegskjæring som går langs samme horisontalgeometri som moloen. Vertikalgeometrien følger lag i grunnen flaten som er laget av tolket bløt leire med skjæring opp til sjøbunn.



Figur 11: Ny molo, mudring og modellert fylling (vist i figur 16) med fyllingshelling som varierer mellom 1:3,2 og 1:3,6. Motfylling ikke vist.

Nødvendig mengde mudring og massebehov for ny molo er oppsummert i tabell 9. Massebehovet for ny molo og mudringsvolumet er basert på Novapointmodellen vist i figur 17. Det er gjort en beregning for en 9 meter bred molo (vist i figur 17) og en for en 3 meter bred molo. Begge moloene er opp til kote +5 og har linjert hellende fyllingsfront (helling 1:1,3). Da moloens geometrier er antatt og det ikke er oppgitt noe om blokkstørrelser eller moloens utforming fra havnetekniskrådgiver må de oppgitte mengdene betraktes som foreløpige.

Tabell 7: Estimert behov for mengde stein for planlagt ny molo og tilbake fylling etter mudring.

Ny molo	Estimert mengde [m <sup>3</sup> ]	Estimert mengde steinfylling med utvidelsefaktor lik 1,50 [m <sup>3</sup> ]
Ny molo (9 meter bred) (vist i figur 17)	310 000	470 000
Igjenfylling av mudring under 9 meter bred molo (vist i figur 17)	200 000	300 000
<b>Totalt 9 meter bred i topp</b>	<b>510 000</b>	<b>770 000</b>
Ny molo (3 meter bred)	260 000	390 000
Igjenfylling av mudring under 3 meter bred molo	190 000	285 000
<b>Totalt 3 meter bred i topp</b>	<b>450 000</b>	<b>680 000</b>