

Oppdragsgiver: **Salfjord AS**

Oppdragsnr.: **52100918** Dokumentnr.: **52100918-RIG-01**

Til: Salfjord AS v/ Hans Ramsvik

Fra: Norconsult AS v/ Egil A. Behrens

Dato: 2021-11-02

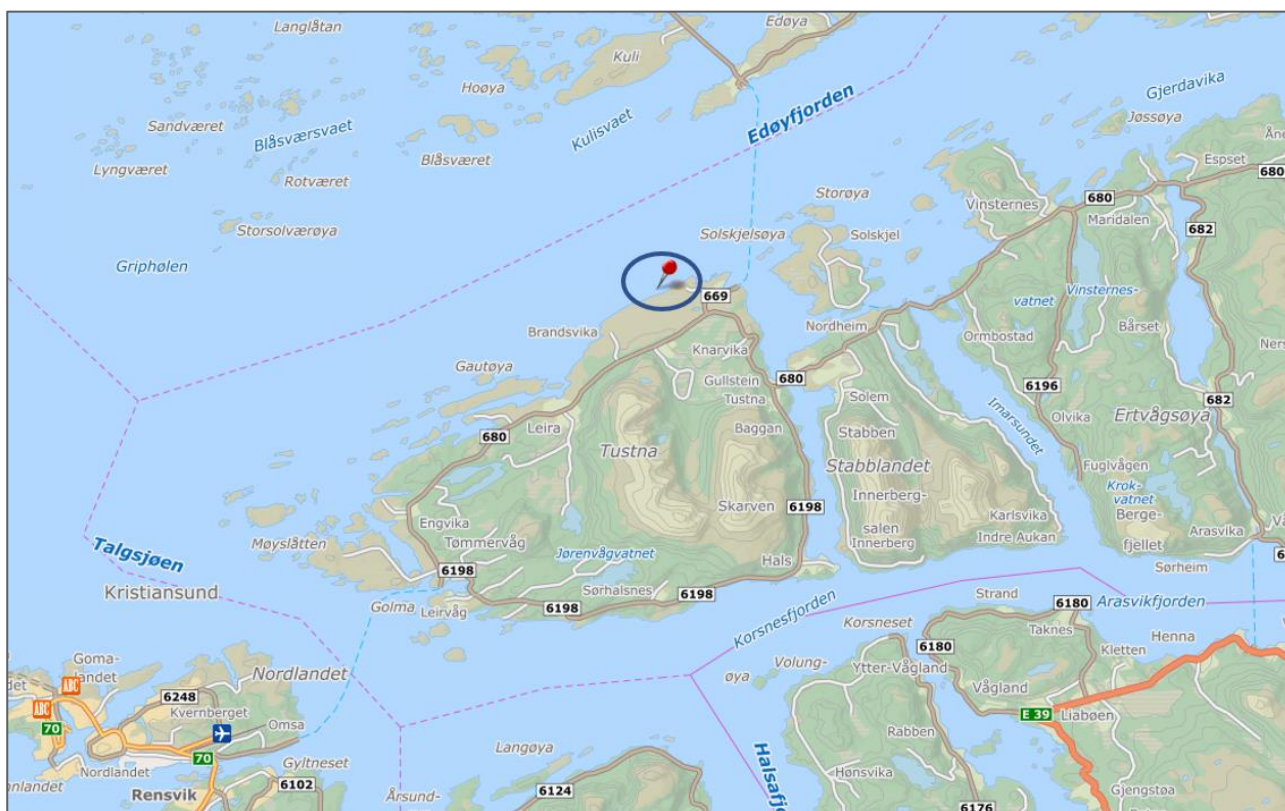
► Salfjord, Tustna - geoteknisk vurdering for reguleringsplan

1 Innledning

Salfjord AS planlegger utbygging av landbasert oppdrettsanlegg ved Hyttneset på Tustna. Dette omfatter blant annet en molo for å skjerme kaianlegg fra havet. Et oversiktskart er vist i Figur 1. Området på land er i all hovedsak bart fjell med lommer av torv. Det skal sprenges fjell på land som brukes til å fylle ut blant annet molo. Salfjord har engasjert Norconsult for geotekniske vurderinger ifbm reguleringsplan for anlegget. Vurderingene er fokusert på gjennomførbarheten av tiltakene. De geotekniske utfordringene knytter seg i all hovedsak til etablering av moloen.

Det ble utført geotekniske grunnundersøkelser ved planlagt moloområde ved bruk av borebåt tidlig i juli 2021. Undersøkelsene ble utført av Multiconsult ut fra borplan og geoteknisk oppfølging fra Norconsult. Datarapport fra grunnundersøkelsene er utarbeidet av Multiconsult, Ref. 7.

Alle kotehøyder i dette notatet refererer til landkartnull, NN2000.

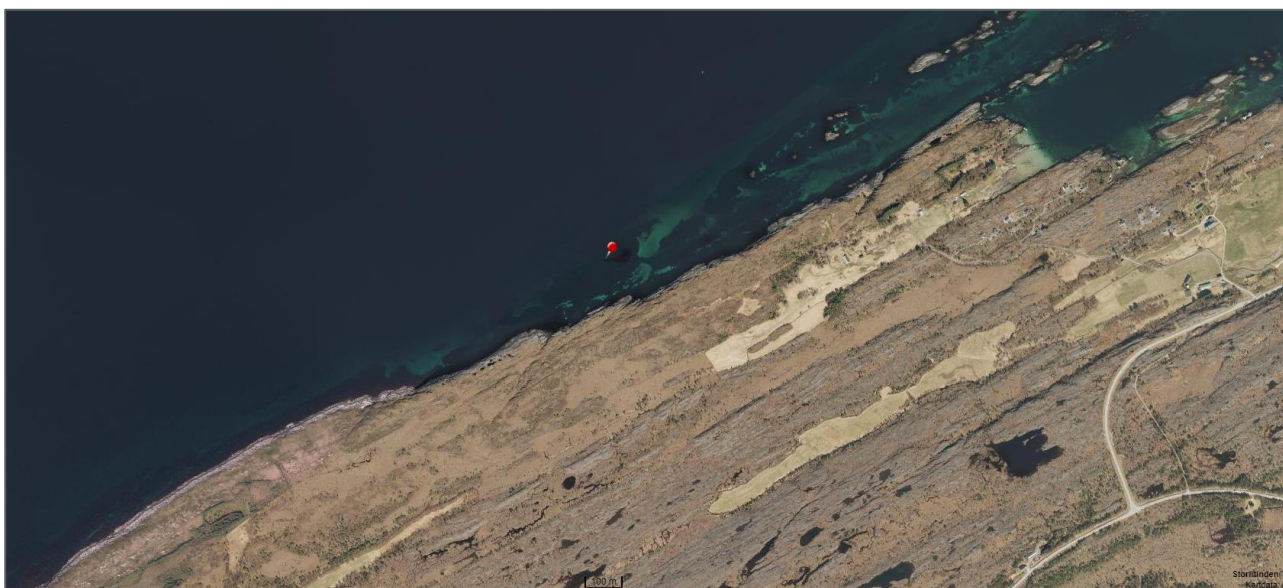


Figur 1: Oversiktskart over områdets beliggenhet, hentet fra kart.finn.no. Nordorientert.

2 Topografi og grunnforhold

Terrenget på landdelen av reguleringsområdet består av fjell i dagen og myr. Det er kort avstand mellom fjellblotningene og følgelig vil myrvolumet være relativt begrenset. Maksimalhøyden innenfor reguleringsområdet er omtrent +25 meter. Det er ingen store høydesprang på området.

Langs land er det fjell i dagen tilnærmet sammenhengende minst 1,5 km i begge retninger ut fra reguleringsområdet, se flyfoto i Figur 2.



Figur 2: Flyfoto over området. Det er fjell i dagen langs sjøkanten i hele bildeutsnittet, dvs godt og vel 1,5 km i begge retninger fra reguleringsområdet. Nordorientert.

Sjødybden ved planlagt kaianlegg er begrenset og stort sett under 10 m. Ved planlagt molo er sjødybden stort sett 20-30 meter. Sjøbunnshelningen er mindre enn cirka 1:10 der det er løsmasser av en viss tykkelse i reguleringsområdet.

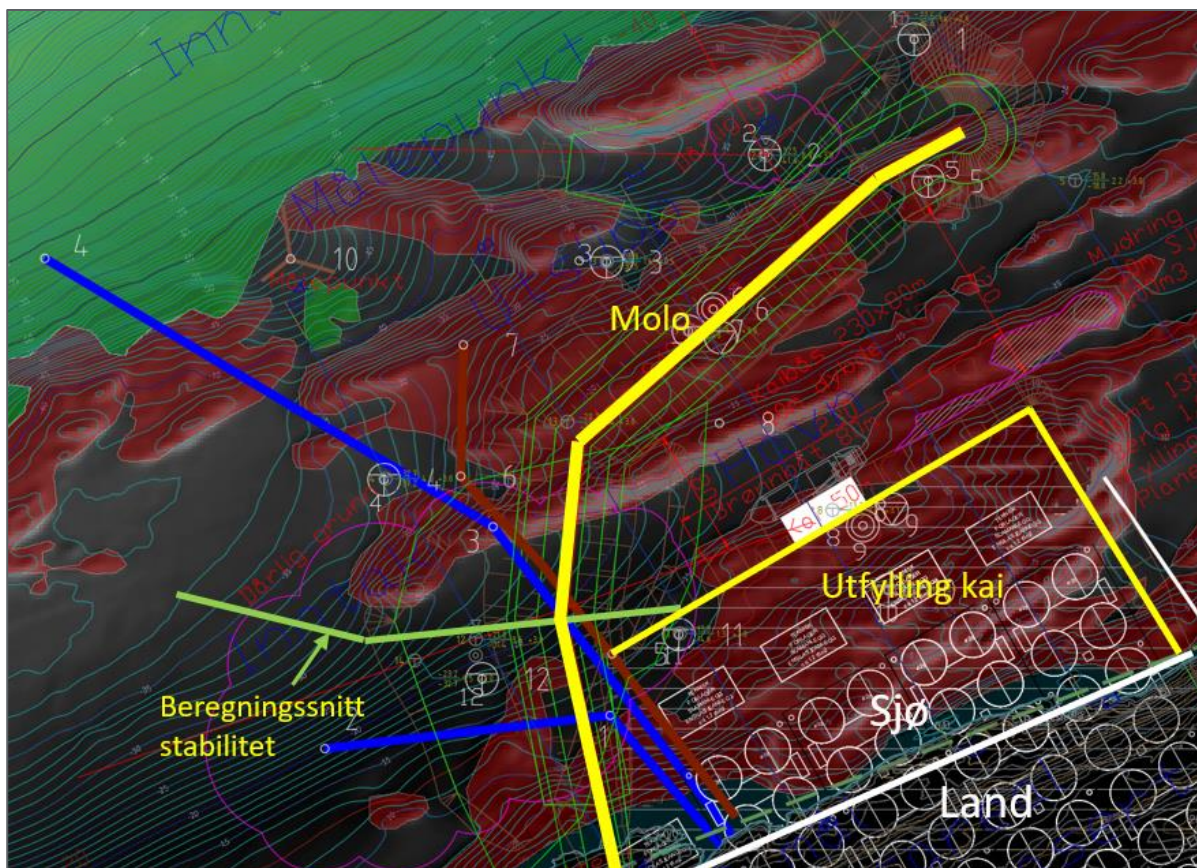
Grunnundersøkelsene i sjødelen av reguleringsområdet viser stedvis svært liten løsmassetykkelse over fjell der moloen og kaianlegg er planlagt. Detaljert sjødybdekart bekrefter og utfyller dette bildet. Enkelte deler av moloen er imidlertid planlagt der det er tykkere løsmassedekke. Dette gjelder området relativt nær moloens start ved land og ut mot moloens planlagte knekkpunkt, samt et lite område på utsiden nær moloens planlagte endepunkt. Grunnundersøkelser ved borpunkt 12 (Ref. 7), spesielt trykksondering (CPTU), viser at løsmassene består av et relativt fast lag av drenerende masser (dominert av sand) over et bløtt lag av tettere masser (dominert av leire/silt). Den samme tendensen vises i borpunkt 2 på utsiden av skissert molofyllingsutslag nær enden av moloen.

3 Kritiske områder mtp stabilitet

På grunn av den store sjødybden vil etablering av molo kreve oppfylling av stort massevolum. Dette medfører også en relativt stor belastning på undergrunnen. Store deler av moloen vil ligge på fjell eller på et løsmassedekke som er så tynt eller fast at det ikke vil utgjøre noe stabilitetsproblem.

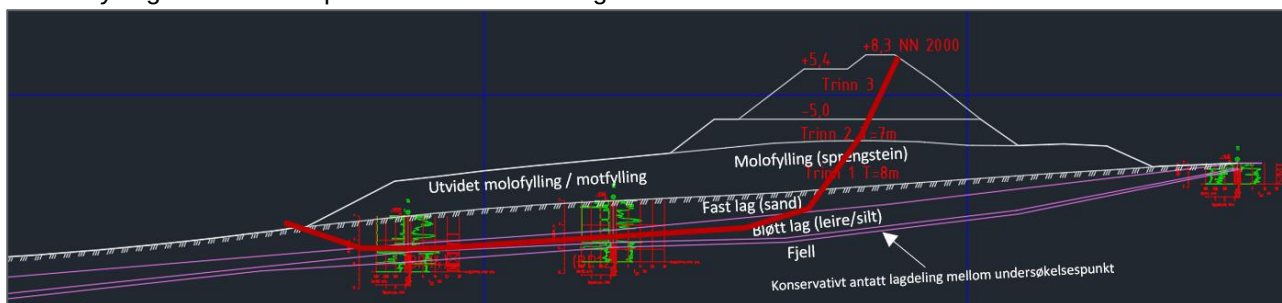
Det er 2 delområder som peker seg ut som stabilitetsmessig vanskelige for fundamentering / oppfylling av molo, se fiolette omriss i plantegning i Figur 3, bemerket «dårlig grunn». Området nærmest land vil være

avgjørende å kunne forsere for å kunne gjennomføre molobyggingen, mens det vanskelige området lengst ut kan unngås ved å forskyve moloen noe nærmere land, og vurderes dessuten å være noe mindre utfordrende. Vi har derfor fokusert på å dokumentere et fyllings-/utbyggingsprinsipp for det vanskelige området nærmest land og gjort stabilitetsberegninger i markert snitt (grønn strek i Figur 3). Tilsvarende fyllingsprinsipp kan brukes i det ytre området.



Figur 3: Sjødybdekart med resultat/tolkning fra lettseismiske målinger av løsmassetykkelse, samt utstrekning av blant annet planlagt molo og kaifylling inntegnet. Rødt = fjell eller minimal løsmassetykkelse.

Figur 4 viser utsnitt av beregningsnittet, med en tenkt bruddflate inntegnet for å illustrere problemstillingen med at fyllingen kan «skli» på det bløte leire-/siltlaget.



Figur 4: Krittisk snitt for stabilitet (beregningssnittet), med lagdeling og mulig bruddflate (rød strek) inntegnet.

4 Vurdering av seismisk grunntype og -klasse

Seismisk grunntype iht prosjekteringsstandarden NS-EN 1998-1 (Ref. 3) vil være A for de deler der det er liten løsmassetykkelse, mens for områder med bløtt løsmasselag og tykkelse mer enn 5 m (benevnt «dårlig grunn») vil seismisk grunntype være E eller S2.

Planlagt molo og fylling vil typisk havne i seismisk klasse 1 jfr Tabell NA.4 (902) i Ref. 3. Dette på bakgrunn av at verken moloen eller fyllingen utgjør en stabilitetskritisk del av planlagt industrianlegg. Dimensjonering mot seismiske laster er ikke påkrevd i seismisk klasse 1.

5 Vurdering av områdeskredfare (områdestabilitet)

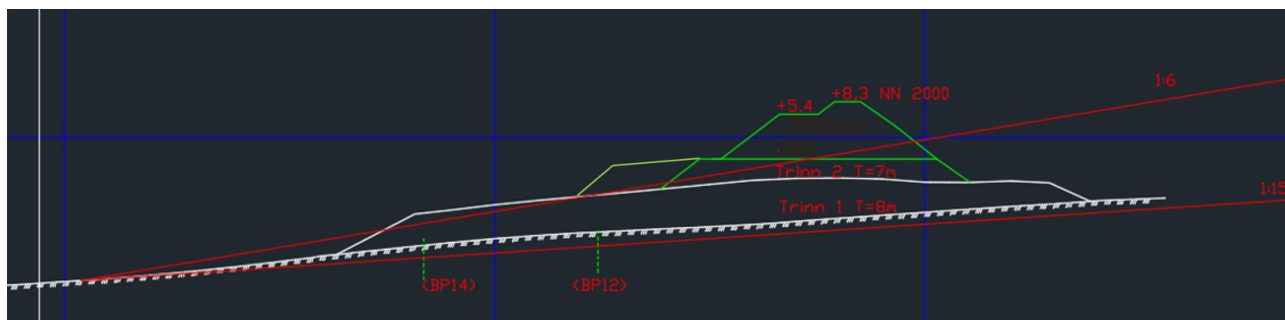
Grunnundersøkelsene viser at det kan være leire/silt med sprøbruddegenskaper ved borpunktene 2, 12 og 14, på bakgrunn av at trykksøndering viser poretrykksoppbygning som er relativt stor i forhold til spissmotstanden. Både poreovertrykket under nedpressingen og spissmotstanden er noe flagrende. Dette kan være på grunn av småbølger og resulterende vertikalbevegelser snarere enn variasjon i løsmassene. Det ble iherdig forsøkt å ta opp prøver av disse løsmassene, men dette viste seg å ikke være mulig (innen rimelige grenser) på grunn av faste, overliggende sandmasser kombinert med stor sjødybde. Vi har derfor ikke prøver som kan avkrefte mulig sprøbruddmateriale, og forholder oss som om det kan være forekomster av dette nær disse borpunktene og i tilstøtende områder med løsmasser som ikke er undersøkt.

Sjøbunnstopografien viser at et eventuelt skred utløst der molofyllingen etableres på løsmasser vil ha utløp mot vest/nordvest langs beregningssnittet. Helningen i beregningssnittet er imidlertid slakere enn 1:6 (se Figur 5). Jfr. kriterier i Ref. 5 betyr dette at brudd i og under fyllingen ikke vil kunne forplante seg til et områdestabilitetsbrudd, og begrenses til et lokalstabilitetsbrudd. Sjøbunnen er tilnærmet flat for enden av beregningssnittet og topografien viser tydelig fjell på sjøbunnen utenfor. Skredmasser fra evt ras ved molofyllingen vil følgelig stoppe opp senest ved dette flate partiet. Det er ingen bebyggelse, veier, e.l. langs land som kan ta skade av et slikt, relativt lokalt skred. Eventuelle flodbølger utløst av eventuelt skred ventes å bli dempet før det når sensitive konstruksjoner/bebyggelse flere kilometer unna.

Vi kan ikke se noen reell risiko for at løsmasseskred kan utløses utenfor reguleringsområdet og ramme reguleringsområdet. Eventuelt ras må starte på sjøbunnen lenger vest der sjøbunnen er noe brattere og det er vanskelig å se for seg noen utløsende årsak. Erosjon på de aktuelle dyp kan sees bort fra i denne sammenheng. Sjøbunnshelningen nær moloområdet er slakere enn 1:6. De bløte massene har betydelig overdekning av fastere masser i de undersøkte punktene. I tråd med helningskriterier i Ref. 5, samt ovenstående betraktninger, vurderer vi at reguleringsområdet ikke kan rammes av (område)skred fra utenfor reguleringsområdet.

Med dette mener vi at områdestabiliteten er tilfredsstillende ut fra topografiske forhold. Molofyllingens stabilitet er, på grunn av den slake sjøbunnshelningen, ikke et områdestabilitetsproblem. Følgelig er det ikke krav om / behov for uavhengig kvalitetssikring av områdestabilitetsbetraktningene iht NVE 1/2019 (Ref. 4).

I det følgende vil vi vurdere (lokal)stabiliteten av molofyllingen for å dokumentere at den kan etableres med tilfredsstillende sikkerhet mot å utløse skred.



Figur 5: Kritisk beregningssnitt med 1:6 (og 1:15)-linje inntegnet til sammenligning.

6 Prinsippløsning

6.1 Innledende overslag

Moloens høyde vil være inntil 25-30 m høy i det kritiske området. Dette medfører en trykkbelastning på underliggende løsmasser på inntil 400 kN/m². Trykkbelastningen vil være størst rett under molens topp og avta mot sidene (på tvers av moloens lengderetning). De bløte leirmassene måtte hatt i størrelsesorden 50-100 kN/m² direkte udrenert skjærstyrke for å kunne fylle opp hele molo høyde i én omgang med tilstrekkelig sikkerhetsfaktor. Tolkning av utført trykksondering i punkt 12 viser at styrken ikke er tilstrekkelig til dette. Det er derfor nærliggende å tenke i retning av lagvis oppfylling med pause for konsolidering (styrkeøkning på grunn av tilleggsvekt) mellom hvert oppfyllingstrinn.

6.2 Styrkeverdier for løsmassene

Styrken av leire-/siltmassene er bestemt ut fra tolkning av utført trykksondering (CPTU), basert på kalibrering mot tidligere styrkeforsøk, sammenholdt med anerkjent forskning om minstestyrke i leire (SHANSEP). Trykksonderingen viser tolket styrke lik minstestyrke for leire (normalkonsolidert) eller lavere, og vi har derfor lagt til grunn minstestyrken: aktiv udrenert skjærstyrke lik 0,30 ganger vertikal effektiv overlaging. Leire-/siltlaget ligger i en dybde som medfører aktiv udrenert skjærstyrke cirka 17 kN/m². Vi har lagt til grunn anisotropifaktorer A-D-P 1,00-0,63-0,35 i tråd med forskningsresultater for lavplastisk leire. Dette tilsvarer en styrke tilsvarende nedre erfaringsverdier for skjærstyrke basert på tilbakeregning av historiske skred iht Ref. 6.

Når et fyllingstrinn er konsolidert, vil den udrenerte aktive skjærstyrken ha økt med 0,30 ganger det effektive tilleggstrykket, som for sprengstein under vann er 11 kPa per meter fyllingshøyde.

Øvrige masser er drenerende (ettersom det ikke oppstår poreovertrykk ved trykksondering). Styrken av disse er vurdert ut fra erfaringsverdier gitt i Statens vegvesens håndbok V220, som følger i Tabell 1.

Tabell 1: Materialparametere (tyngde og styrke) for drenerende løsmasselag.

Løsmasselag	Tyngdetetthet (kN/m ³)	Friksjonsvinkel	Kohesjon (kPa)
Steinfylling (molyfylling)	19 (11 neddykket)	42 grader	4,5
Sand/silt	18 (8 neddykket)	33 grader	3,2
Leire (evt silt)	18-19 (8-9 neddykket)	-	Udrenert beregning er kritisk
Fastlag (over fjell)	19 (9 neddykket)	36 grader	7,3

6.3 Løsningsalternativer

Generelt kan man se for seg følgende alternativ for å oppnå en sikker oppfylling i planlagt område:

- 1) Mudring (fjerning) av bløte masser, slik at moloen legges ut med sprengsteinsmasser direkte på fjell.
- 2) Utlekking i flere trinn, der de første utføres fra flytende redskap, og det legges inn pauser mellom hvert fyllingstrinn (eventuelt at det fylles i andre områder i mellomtiden).
- 3) Innblanding av kalk eller lignende for å øke styrken i leirmassene.

Alternativet med mudring er svært vanskelig i dette tilfellet da det er store vanddyp og det ligger flere meter faste løsmasser over de bløte løsmassene som man eventuelt ønsker å mudre. Det er på grensen av hva som er teknisk mulig å gjennomføre og det er ønskelig å unngå mudring da dette også medfører et behov for dumpingsareal for mudrede masser.

Innblanding av kalk eller lignende for å øke styrken i leirmassene er i praksis ikke et reelt alternativ. Dette på grunn av vanskelig tilrigging, risiko for søl, og stor kostnad pga store arealer. Vertikaldrenering for å fremskynde setningene og styrkeøkningen anses også urimelig kostbart i forhold til nytten.

I praksis står man igjen med alternativet med trinnvis utlegging, der man må dokumentere stabiliteten i hvert trinn. De første (nederste) fyllingstrinnene kan med fordel fylles med ekstra bredde for å virke delvis som motfylling/støttefylling for neste fyllingstrinn. Dette alternativet ligger til grunn for vurderingene presentert under.

6.4 Sikkerhetskrav

For stabilitet av fyllinger generelt benytter vi prosjekteringsstandarden NS-EN 1997-1 (Ref. 2) som forhåndsakseptert løsning for å oppfylle forskriftskrav til skredsikkerhet i TEK17 (Ref. 1). NS-EN 1997-1 stiller krav om sikkerhetsfaktor på materialstryken minst 1,25 for drenerende masser og minst 1,40 for udrenerte masser (leire/silt i korttidssituasjon).

Kravene til skredsikkerhet og følgelig minstekrav til beregningsmessig sikkerhetsfaktor for stabilitet er satt primært for å sikre menneskers liv og helse. Utfyllingstrinn opp til cirka kote -4 (eventuelt til kote -1) vil utføres fra flytende utstyr. Ingen personer vil bli rammet om det skulle gå skred ifbm disse fyllingstrinnene. Ifbm. detaljprosjektering kan man i tråd med tidligere praksis og anerkjente fyllingsmetoder vurdere å legge til grunn en skjønnsmessig lavere minste sikkerhetsfaktor for disse fyllingstrinnene, da konsekvensene av et eventuelt skred er mindre. For beregninger i reguleringsfasen har vi imidlertid lagt til grunn krav om 1,40 i sikkerhetsfaktor og vurdert nødvendig antall fyllingstrinn og fyllingsutstrekning for å oppnå dette. Mildere sikkerhetskrav vil medføre noe redusert fyllingsvolum og/eller anleggstid.

For fyllingstrinn over kt -1 må arbeidene gjøres med anleggsmaskiner/personer på fyllingen, og følgelig må det uansett oppnås sikkerhetsfaktor i tråd med standard og veileder for disse fyllingstrinnene.

6.5 Fyllingstrinn og beregningsresultat

Vi har gjort stabilitetsberegninger med følgende fyllingstrinn som utgangspunkt:

- 1) Utlekking av første trinn fra flytende redskap, stor fyllingsbredde, tykkelse 8 m
- 2) Pause for styrkeøkning (konsolidering), cirka 4 måneder er anslått som nødvendig (grovt anslag)
- 3) Utlekking av andre trinn, fra flytende redskap, opp til kote -4, tykkelse 7 m
- 4) Pause for styrkeøkning, cirka 2 måneder er anslått som nødvendig (grovt anslag)
- 5) Utlekking av tredje trinn (fra land), opp til kote +1 (tykkelse 5 m)

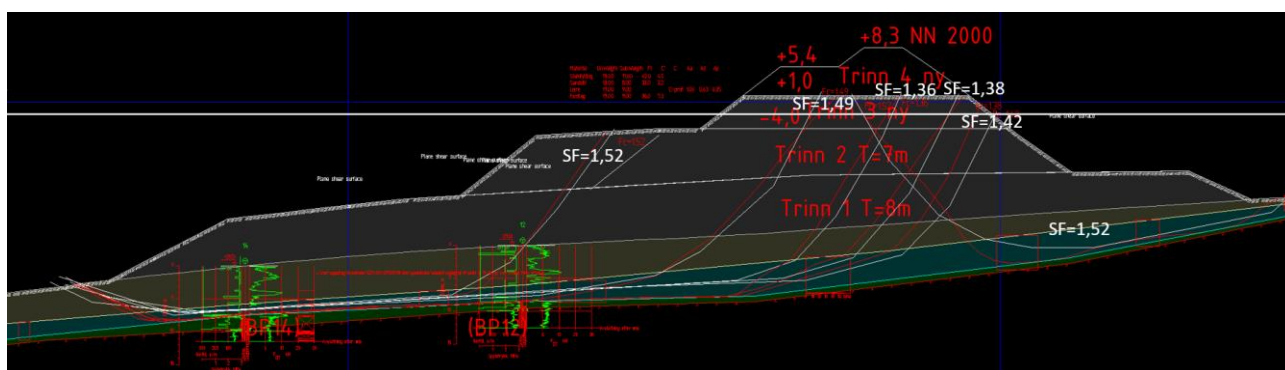
- 6) Pause for styrkeøning, cirka 2 måneder er anslått som nødvendig (grovt anslag)
- 7) Videre oppfylling i flere trinn. Konsolideringstid og tykkelser vurderes ut fra setningsmålinger på fyllingen.

Beregningsresultater er oppsummert i Tabell 2. Utsnitt fra stabilitetsberegning for fyllingstrinn 3 (til kt +1), som viser bruddflategeometrien, er vist i Figur 6. Bruddflategeometrien er tilsvarende for de øvrige fyllingstrinnene. Beregninger er utført i 2-dimensjonalt snitt med beregningsprogrammet GeoSuite Stability.

Tabell 2: Beregnede sikkerhetsfaktorer for fyllingstrinn.

Fyllingstrinn	Tykkelse	Beregnet sikkerhetsfaktor	Kommentar
Utlekking 1. trinn	8 m	1,13	Må deles i 2 trinn (4 m + 4 m) for å oppnå sikkerhetsfaktor 1,40, pause cirka 2-4 mnd mellom fyllingstrinnene.
Konsolidert 1. trinn (etter pause)	-	1,94	
Utlekking 2. trinn	Ca 7 m (til kt -4)	1,41	
Konsolidert 2. trinn (etter pause)	-	1,48	
Utlekking 3. trinn	5 m (til kt +1)	1,36	Nesten tilfredsstillende sikkerhetsfaktor. Avslutning ved kt +0,5 vil gi >1,40.
Konsolidert 3. trinn (etter pause)	-	1,44	Marginen fra minstekravet på 1,40 brukes til videre, sakte oppfylling.

Beregningene viser at det første fyllingstrinnet må deles inn i to deltrinn (4 m + 4 m) for å holde sikkerhetsfaktoren over 1,40 i alle faser, eventuelt at fyllingstrinnet legges ut så sakte at det skjer styrkeøkning underveis. Videre fyllingstrinn oppnår tilstrekkelig beregningsmessig stabilitet som foreslått, evt med små justeringer i trinnene.



Figur 6: Utsnitt fra stabilitetsberegninger for utlagt trinn 3 til kt +1. Diverse vurderte bruddflater er vist som røde/hvite streker. Kritisk bruddflate har sikkerhetsfaktor 1,36 (1,40 ved små justeringer).

7 Konklusjon

Planlagt molo og kaifylling anses å være byggbart med tanke på stabilitet/geotekniske forhold, innenfor gjeldende regelverk og preaksepterte sikkerhetsnivåer. Det er dog nødvendig å anlegge de nedre fyllingstrinnene for moloen med stor bredde for å sikre tilstrekkelig stabilitet (som en motfylling), samt at det må legges inn tid til styrkeøkning i de underliggende leire-/siltmassene i de stabilitetskritiske områdene. Total nødvendig byggetid for moloen må vurderes ifbm detaljprosjektering, men ventes å bli drøyt 1 år forlenget pga nødvendige pauser til konsolidering.

Dersom man i senere fase ønsker å forenkle utbyggingen av molo, kan man vurdere å forskyve moloen mot øst der områdene med løsmasser er smalere og følgelig enklere å forsere.

8 Videre arbeid

Det kan være behov for supplerende grunnundersøkelser før bygging av moloen. Supplerende grunnundersøkelser kan bidra til nøyaktigere stabilitetsberegninger, nøyaktigere vurdering av nødvendig konsolideringstid og følgelig optimalisering av løsningen for molo. Det vil være behov for geoteknisk detaljprosjektering i forbindelse med byggesak for grunnarbeider, deriblant molobyggingen. Detaljer rundt fyllingsgeometrien og fyllingstrinn avklares ifbm detaljprosjektering.

9 Referanser

Ref. 1: FOR-2017-06-19-840: Byggteknisk forskrift (TEK 17)

Ref. 2: NS-EN 1997-1:2004+NA:2020 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler.

Ref. 3: NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021: Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger.

Ref. 4: NVE veileder 1/2019 Sikkerhet mot kvikkleireskred, tilgjengelig fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2019/veileder2019_01.pdf

Ref. 5: NVE ekstern rapport 9/2020 Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred, tilgjengelig fra https://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2020/eksternrapport2020_09.pdf

Ref. 6: Skråningsstabilitet i strandsonen - viktighet av svake lag, foredrag Geoteknikkdagen 2019.

Ref. 7: Salfjord - Datarapport - Geoteknisk grunnundersøkelse, utarbeidet av Multiconsult, dokumentnummer 10227567-RIG-RAP-001, datert 30. august 2021

1	2021-11-02	Ferdig notat.	Egil A. Behrens	Lars G. Botnen	Paul Myklestad
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.