

FAGRAPPORT GEOTEKNIKK

ENDRING AV REGULERINGSPLANEN FOR STAD SKIPSTUNNEL OG LESTO NÆRINGSOMRÅDE

PLANID: 2022010 (STAD)/2022014 (LESTO)



PROSJEKT

A269108

AVROP

A15

REVISJON

00

DATO

19.6.2026

REVISJONEN GJELDER

Første utgave

UTARBEIDET

KGNO/EMNG

KONTROLLERT

ENOH

GODKJENT

ESVI

INNHold

Sammendrag		5
1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Mål for prosjektet og planarbeidet	8
1.3	Kort omtale av tiltakene	8
1.4	Metode og kunnskapsgrunnlag	10
1.5	Tidligere utredninger	12
2	Utredningsbehovet	13
3	Prosjekteringsforutsetninger	14
3.1	Gjeldende regelverk	14
3.2	Klassifisering	14
3.3	Krav til sikkerhet	15
4	Beskrivelse av tiltak	16
5	Beskrivelse av terreng	18
5.1	Lesto	18
5.2	Tunnelportal	19
6	Beskrivelse av grunnforhold	21
6.1	Grunnforhold Lesto	21
6.2	Grunnforhold Tunnelportal Moldefjorden	22
6.3	Materialparametere og lagdeling	26
7	Stabilitetsberegninger	33
7.1	Laster	33
7.2	Stabilitetsberegninger Lesto	33
7.3	Stabilitetsberegninger Tunnelportal	34

8	Områdestabilitet	40
9	Setninger	41
10	Avbøtende & forebyggende tiltak	42
11	Konklusjon	43
	Referanser	44

Sammendrag

COWI AS er engasjert for utredning i forbindelse med reguleringsplan for Stad skipstunnel. Det foreligger allerede en reguleringsplan for området, men det er besluttet å utvide sjøfyllingene på Lesto og utenfor tunnelportalen i Moldefjorden. Formålet med tiltakene er blant annet å legge til rette for økt fyllingsvolum, bedre massehåndtering og kortere transportavstander i anleggsfasen.

Det er utført vurderinger basert på eksisterende og nye grunnundersøkelser. Resultatene viser at grunnforholdene varierer mellom de to områdene. Ved **tunnelportalen** består sjøbunnen av løst lagrede masser (sandig silt og leirige masser) over fastere lag, og det er påvist sprøbruddmateriale i enkelte områder. På **Lesto** består massene hovedsakelig av fastere friksjonsmasser (sand og grus) med begrenset innslag av bløte lag.

Det er vurdert at tiltaket bør plasseres i CC3/RC3. Selv om det er Eurokoder som setter krav til sikkerhet for fylling i sjø i dette prosjektet, er det for reguleringsfasen valgt å følge Statens vegvesens krav til sikkerhet for slike arbeider da det er ekstra usikkerhet knyttet til mudrings og fyllingsarbeider i sjø. I detaljprosjekteringen vil det være mulig å gjøre andre vurderinger ut fra hvilke tiltak som sette inn for å sikre tilstrekkelig sikkerhet både i anleggsfase og for ferdig fylling. I tillegg må NVEs krav for områdestabilitet følges der det er relevant, noe som gir tilsvarende krav til sikkerhet for skjærflater som går gjennom sprøbruddmaterialer som kravene gitt av Statens vegvesen.

Det er gjort stabilitetsberegninger for å vurdere fyllingenes stabilitet, og eventuelle behov for tiltak for å øke sikkerheten. På **Lesto** er stabiliteten tilfredsstillende for planlagt fylling uten behov for omfattende tiltak, utover lokalt behov for mudring innerst i Lestovika. Ved **tunnelportalen** er stabiliteten ikke tilstrekkelig dersom bløte masser blir liggende. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet må de løst lagrede massene fjernes (mudres), og erstattes med sprengstein under fyllingsfoten. Udrenerte beregninger er mest kritiske.

Det er foreslått avbøtende tiltak, særlig mudring eller kontrollert massefortrengning ved tunnelportalen, for å sikre stabilitet og unngå sammenhengende lag med sprøbruddmateriale. Endelig omfang og metode for mudring må prosjekteres i senere fase. Det stilles ikke konkrete krav til utførelsen i denne rapporten, men beregningene dokumenterer behovet for mudring for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. Videre må det tas hensyn til setninger i fyllingene, og det anbefales overvåking og tilpasning av fundamentering ved eventuell bebyggelse.

Samlet vurdering er at områdene er egnet for de planlagte tiltakene, forutsatt at nødvendige geotekniske tiltak gjennomføres og at løsningene detaljprosjekteres i senere fase.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Sjøtransporter er viktige langs hele norskekysten. Det er av nasjonalt interesse at disse transportene går trygt og sikkert, og for å unngå det som trolig er det mest værutsatte og farligste havstykket langs kysten er det planlagt å bygge en skipstunnel for å forbedre fremkommelighet for sjøtransporter forbi Stad. På den måten kan fartøy gå i roligere farvann ved det mest utsatte området.



Figur 1-1 Kartutsnittet viser plasseringen av området for Stad skipstunnel, i grensen mellom fylkene Vestland og Møre og Romsdal. Kilde: kommunekart.com

Som grunnlag for å bygge tunnelen er det utarbeidet en reguleringsplan som viser en skipstunnel der Stadlandet er på det smaleste, mellom Moldefjorden og Kjøddepollen, som ligger i Vanylvsfjoden. I tillegg er det utarbeidet ytterligere to reguleringsplaner som blant annet viser hvordan masser fra tunnelen kan tas imot, for å sikre så korte transportreiser som mulig jf. Lesto næringsområde, planid 2022014, og Kjøde næringsområde, planid 2022013.

Kystverket er tiltakshaver og tunnelen blir 1,7 km lang (22 km fra ytterkant til ytterkant), 50 m. høy og har en bredde på 36 m. Fartøy opp til størrelsen på Kystruten/Hurtigruten vil med denne tunnelen få en sikker seilas forbi Stadlandet.

Forutsetningene for utbyggingen har blitt endret over tid og det er behov for å se på justeringer av de tre reguleringsplanene som allerede hjemler byggingen av tunnelen. Det er endringene som blir vist i denne planprosessen som er formål for omregulering. De deler av

Lesto næringsområde

fjorden

Øyra

Berstad

Mørkelida

Kjøde

Kjødspollen

Kvasstua

Eidshornet

Storekollen

Ottes

Stad skipstunnel

Kjøde næringsområde

COWI V0
7

1.2 Mål for prosjektet og planarbeidet

Målet med prosjektet er å sikre en tryggere seilas, og mer forutsigbar regularitet for skipstrafikken forbi Stad.

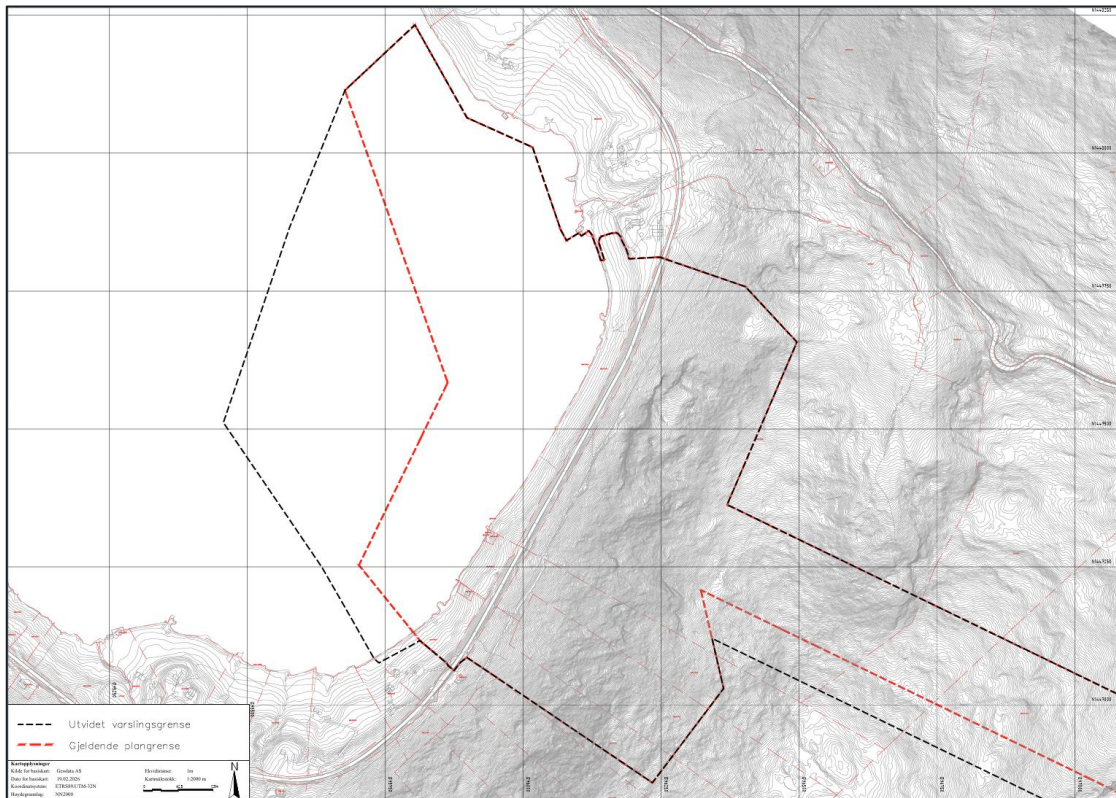
1.3 Kort omtale av tiltakene

Det er tre reguleringsplaner som er formål for endring samtidig. I denne rapporten er det Stad skipstunnel og Lesto næringsområde som blir vurdert. Ved vurderinger av virkninger blir det i første hånd lagt vekt på den aktuelle planendringen for denne planen, men det blir likevel gjort helhetlige vurderinger av virkninger av alle tre planendringene samlet.

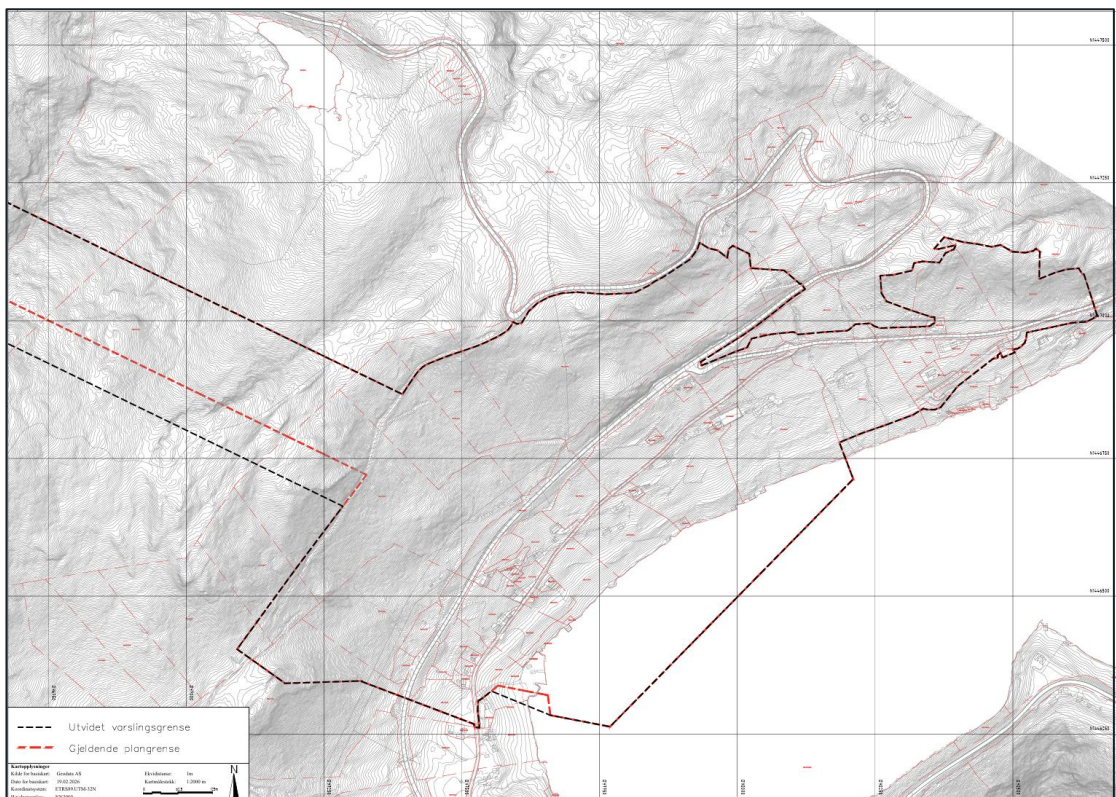
*Reguleringsplanen **for Stad skipstunnel**, planid. 2022010, ble vedtatt i oktober 2024.*

Området er i dag regulert til selve tunnelen, portalene, tilhørende sideareal, anleggsområde og anleggstunnel. Planen legger til rette for havneareal og småbåthamn og det er åpnet for fritids- og turistformål og vegutbedring.

Endringene vil legge til rette for mulig økt sjøfylling for byggeformål i sjøen, sør for tunnelinngangen på Moldefjordsiden. I tillegg blir det blant annet lagt opp til å innarbeide allerede godkjente endringer fra administrativt endringsvedtak, utvide plangrensen i sjøen mot sør og vest, utvide plangrensen noe på land mot sør, økt potensial for større fyllingsvolum og med det utvidelse av planlagt fylling, tilrettelegging for alternativ anleggstunnel og endring av gang- og sykkelveg over portal i Kjødspollen til sti. Det er også hensikten å legge til rette for å etablere sjødeponi i forlengelsen av sjøfyllingen i Moldefjorden slik at et slikt deponi ved behov for deponering av løsmasser og overskuddsstein i sjøen bidrar til å stabilisere planlagt sjøfylling og resulterer i kortere transportavstander.



Figur 1-3 Figuren viser omriss av gjeldende reguleringsplan på Moldefjordsiden med rød stiplet linje, og ny varslet plangrense er vist med sort farge.



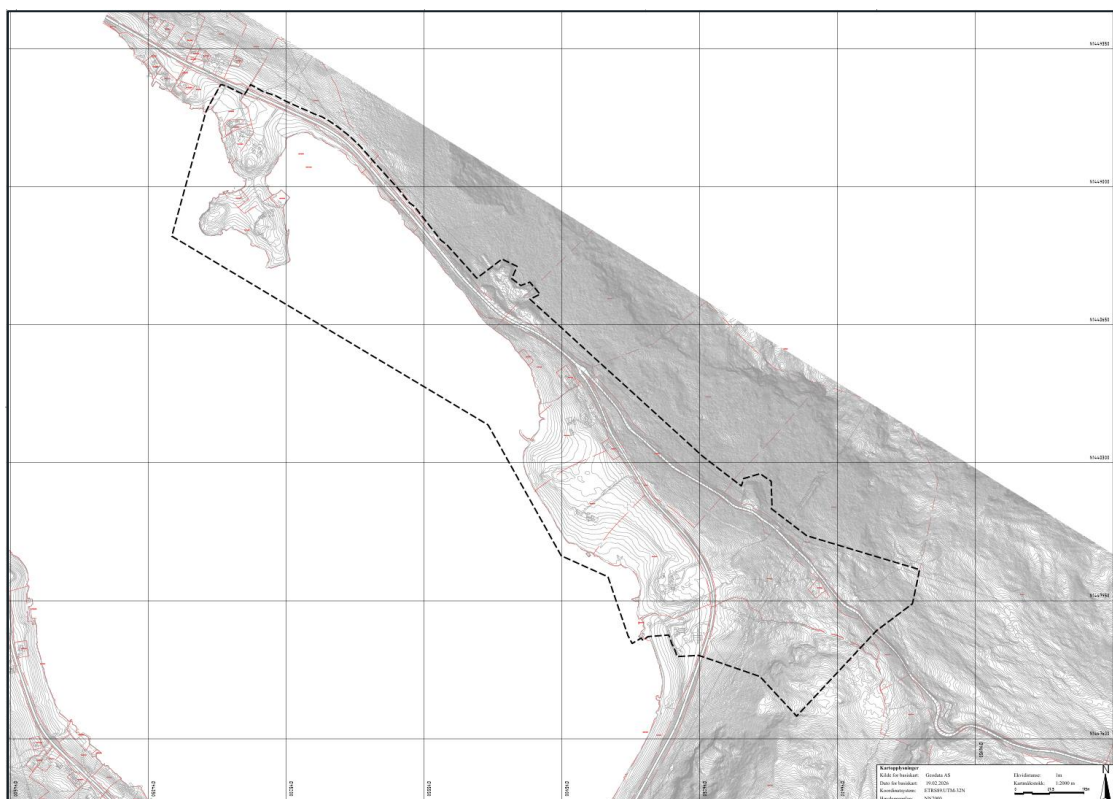
Figur 1-4 Figuren viser omrisset av gjeldende reguleringsplan på Kjødspollensiden med rød stiplelt linje, og forslag til ny, utvidet plangrense er vist med sort farge. Kilde COWI AS.

Tilgrensande reguleringsplanendringer for Lesto næringsområde og Kjøde næringsområde er kortfattet omtalt her for å gi et helhetsperspektiv for endringene som planlegges.

Lesto næringsområde, planid. 2022014, vedtatt i oktober 2024.

Området er i dag regulert til blant annet nytt næringsområde og havneområde, midlertidige anleggsområder for utbygging av skipstunnelen, utbedring av kryss og diverse utbyggingsformål i samsvar med eksisterende arealbruk, i tillegg til LNF-område (Landbruk-, Natur- og Friluftsområde).

Endringene gjelder i hovedsak å utvide fylling mot søraust, utvide noe landareal i sjøen, legge til rette for rassikring for det utvidede fyllingsarealet, og å legge til rette for eventuell midlertidig steinlager på sjøfylling.



Figur 1-5 Varslet planavgrensning for reguleringsplanendringen er samme som for gjeldende reguleringsplan for Lesto næringspark. Kilde COWI AS.

1.4 Metode og kunnskapsgrunnlag

1.4.1 Metodikk

De nye sjøfyllingene må legges på en slik måte at de oppfyller krav til sikkerhet. Dette vurderes på bakgrunn av stabilitetsberegninger for både Lesto og området utenfor tunnelportalen. Stabilitetsberegningene er basert på grunnundersøkelser som er utført ved ulike anledninger.

1.4.2 Avgrensing av tema

Det er tidligere regulert sjøfyllinger både på Lesto og utenfor tunnelportalen. Reguleringsendringen omhandler en utvidelse av fyllingene. På Lesto er denne utvidelsen kun mot øst. Utenfor tunnelportalen er det snakk om utvidelse utover i fjorden (mot vest) langs hele fyllingen. Tiltaket er nærmere beskrevet i kapittel 4.

1.4.3 Kunnskap og kilder/ Oversikt over utførte grunnundersøkelser

Vurderinger er gjort på bakgrunn av utførte grunnundersøkelser (rapport, kilde), samt tidligere utredninger.

Områdene er undersøkt tidligere i flere omganger. Statens vegvesen og NGI utførte boringer mellom 1982 og 2002. Fra 2016 til 2024 har Multiconsult utført boringer. Norconsult gjorde grunnundersøkelser i 2022. COWI/Multiconsult utførte grunnundersøkelser i 2025 og 2026.

Tabell 1-1: Utførte grunnundersøkelser

Dokument nr.	Utførende	Oppdragsnavn	Utgitt år	Prefiks
A15-RAP-RIG-00001	COWI	Stad skipstunnel	2026	
A08-RAP-RIG-00001	COWI	Stad skipstunnel	2025	
10243085-12-RIG-RAP-003	Multiconsult	Stad Skipstunnel Gorgenesvika, Kjøde, Sneide, Lesto	2024	MC4
10243085-12-RIG-RAP-004	Multiconsult	Stad Skipstunnel Sneide	2024	MC4
10243085-12-RIG-RAP-005	Multiconsult	Stad Skipstunnel Kjøde Næringsområde sjø	2024	MC4
10243085-12-RIG-RAP-001	Multiconsult	Stad Skipstunnel Gorgenesvika, Kjøde, Sneide	2023	MC4
10243085-10-RIG-RAP-001	Multiconsult	Stad Skipstunnel Moldefjorden	2023	MC5
10243085-06-RIG-RAP-001	Multiconsult	Stad Skipstunnel Områdeplan Kjøde	2022	MC3
10243085-04-RIG-RAP-001	Multiconsult	Stad Skipstunnel	2022	MC2
52200163-RIG-R01	Norconsult	Breivik småbåthavn	2022	
616193-RIG-RAP-001	Multiconsult	Stad Skipstunnel Kjødepollen	2016	MC1
616193-RIG-RAP-002	Multiconsult	Stad Skipstunnel Moldefjorden	2016	MC1
616193-RIG-RAP-005	Multiconsult	Stad Skipstunnel Tunellåpninger i Moldefjorden og Kjødepollen	2016	MC1

616193-RIG-RAP-006	Multiconsult	Stad Skipstunnel	2016	MC1
023425-01	Statens Vegvesen	Kjødebru – Storesvingen	2002	
20001179-2	Norges Geotekniske Institutt	Stad Skipstunnel	2000	
92025	Statens Vegvesen	Rv. 620 HP01 Kjøde Bru - Storesvingen	1994	SVV1
SD317	Statens Vegvesen	Einerhaug x620 - Selje	1989	
SD151	Statens Vegvesen	Rv. 620 Kjøde Bru II	1982	

1.5 Tidligere utredninger

Tidligere utredninger er vist i Tabell 1-2. Det er gjort vurderinger av sjøbunnens egnethet for sjøfyllingene. Det er ikke gjort noen stabilitetsberegninger i forbindelse med eksisterende reguleringsplan, men det er gjort noen av NGI i forbindelse med geoteknisk undersøkelse i år 2000.

Tabell 1-2: Rapporter som inneholder tidligere vurderinger og utredninger for tunnelportal og Lesto næringsområde.

Aktør	Rapportnr.	Tittel	Årstall
Multiconsult Norge AS	10226405-13-RIG-NOT-001	Detaljregulering for Lesto næringsområde	2024
Dr.techn. Olav Olsen AS	12944-17-OO-N-001	Stad Skipstunnel – Vurdering av kvikkleireskredfare	2020
Norges Geotekniske Institutt (NGI)	20001179-2	Stad Skipstunnel – Geoteknisk undersøking	2000

2 Utredningsbehovet

Det er vurdert at planarbeidet ikke utløser krav om nye konsekvensutredninger for forhold som allereie har blitt avklart i tidlegare reguleringsplanprosesser, jf. forskrift om konsekvensutredninger § 6 første ledd bokstav b og § 8 første ledd bokstav a. Begrunnelsen er at de arealene som er omfattet av endringene i stor grad allerede har blitt vurderte i samband med utarbeidelsen av gjeldende reguleringsplaner. Det er likevel vurdert at det er behov for noen tilleggsutredninger for å avklare virkningene av de nye tiltakene som følger av planendringene.

Gjeldende reguleringsplaner konkluderer med at sjøbunnen på Lesto og ved tunnelportal er egnet for sjøfyllinger i områdene som er undersøkt. Videre utredning er gjort for å vurdere egnetheten av sjøbunnen under utvidet fylling.

3 Prosjekteringsforutsetninger

3.1 Gjeldende regelverk

Denne rapporten er utarbeidet basert på krav i følgende regelverk:

- Eurokode 0 - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [1]
- Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering del 1: Allmenne regler [2]
- NVE veileder 1/2019 [5]

Følgende regelverk er også benyttet som kilder:

- SVV Vegnormal N200 [3]
- SVV Håndbok V220 [4]

3.2 Klassifisering

Klassifisering av tiltaket er oppsummert i Tabell 3-1, og beskrevet nærmere i påfølgende underkapitler.

Tabell 3-1: Valgt klassifisering av tiltaket.

	Klassifisering	Basert på regelverk
Geoteknisk kategori	3	Eurokode 7 [2]
Konsekvensklasse og pålitelighetsklasse	CC3/RC3	Eurokode 0 [1]
Prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse	PKK3/UKK3	Eurokode 0 [1]
Tiltakskategori	T4	NVE 1/2019 [5]

3.2.1 Geoteknisk kategori

Eurokode 7, kapittel 2.1 (21) beskriver at geoteknisk kategori 3 bør omfatte blant annet «svært store eller uvanlige konstruksjoner» og «konstruksjoner som innebærer unormale risikoer eller uvanlige eller eksepsjonelt vanskelige grunn- eller belastningsforhold». Dette samsvarer med Vegnormal N200 krav 1.1.1 – 3 [3], som beskriver at sjøfyllinger med skrånende sjøbunn, stor fyllingshøyde eller utfylling ved massefortrengning skal plasseres i geoteknisk kategori 3. Derfor plasseres tiltaket i **geoteknisk kategori 3**.

3.2.2 Konsekvensklasse

Konsekvensklasse bestemmes iht. tabell NA.A1(901) i Eurokode 0 [1]. **Konsekvensklasse settes til CC3** fordi det regnes som grunn- og fundamenteringsarbeider i kompliserte tilfeller. Tiltaket er stort, og et brudd ventes å kunne medføre svært store økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser. Pålitelighetsklasse følger konsekvensklasse, og derfor velges **pålitelighetsklasse RC3**.

3.2.3 Prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse

Iht. tabell NA.A1(902) i Eurokode 0, er **prosjekteringskontrollklasse PKK3** knyttet til RC3. For denne klassen kreves utvidet kontroll utført av tredjepart.

Utførelseskontrollklasse UKK3 velges for RC3 iht. tabell NA.A1(903) i Eurokode 0. Utvidet kontroll av tredjepart kreves også ved utførelse.

3.2.4 Tiltakskategori

Tiltakskategori K4 velges iht. tabell 3.2 i NVE veileder 1/2019 [5]. Dette velges fordi det er planlagt nærings- og industribygg på toppen av fyllingen, i tillegg til fritidsboliger.

3.3 Krav til sikkerhet

Eurokode 7, tabell NA.A.4 [2] stiller krav til sikkerhet på **F=1,25** for effektivspenningsanalyser og **F=1,4** for totalspenningsanalyser.

For bruddsirkler med sprø bruddmekanisme, er kravet til sikkerhet $F=1,61$ for totalspenningsanalyser iht. NVE veileder 1/2019 [5].

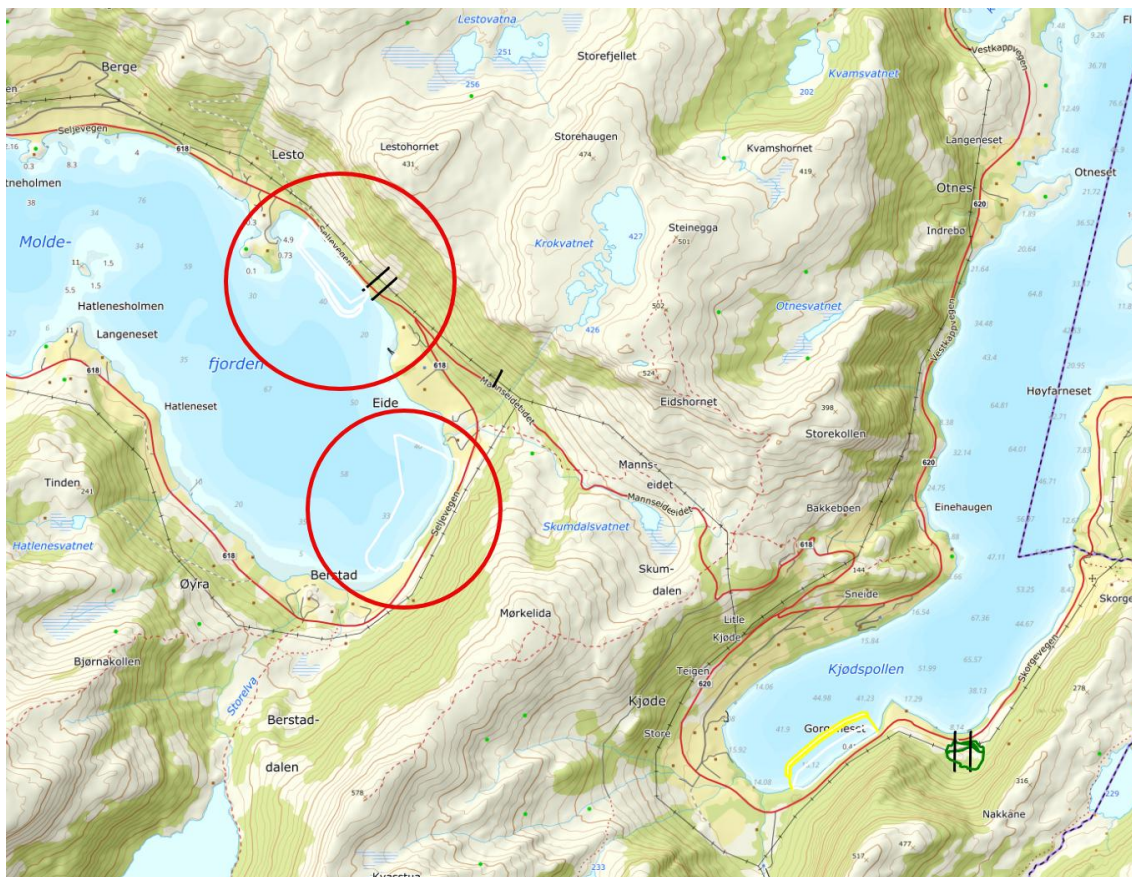
Se oversikt i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Påkrevde sikkerhetsfaktorer iht. ulike regelverk.

Regelverk	Drenert/udrenert	EC 7 [2]	NVE [5]
Nøytral eller seig bruddmekanisme	Drenert	1,25	-
	Udrenert	1,4	-
Sprø bruddmekanisme	Drenert	1,25	1,25
	Udrenert	1,4	1,61

4 Beskrivelse av tiltak

Det skal etableres sjøfyllinger på tre ulike områder: På Lesto, Kjøde og utenfor tunnelportalen i Moldefjorden. Sjøfyllingene er planlagt i eksisterende reguleringsplan. På Lesto og ved tunnelportalen skal fyllingene utvides i forhold til hva som ligger i gjeldende reguleringsplan. Se plassering av disse i Figur 4-1. Utvidede fyllinger medfører at stabiliteten må vurderes på nytt. Dette for å sørge for at sikkerheten er ivarettatt.



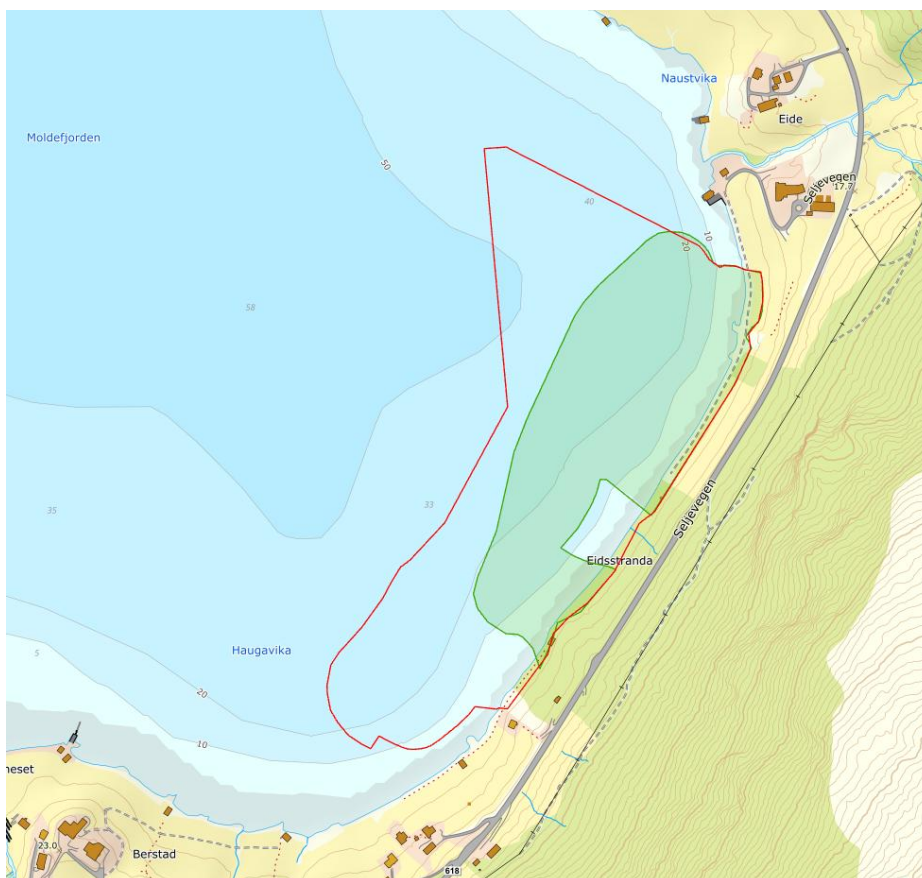
Figur 4-1: Sjøfyllinger på Lesto og tunnelportal i Moldefjorden er markert med røde ringer. Sjøfylling på Kjødspollen er uendret og vil ikke vurderes i denne rapporten.

For Lesto næringsområde gjelder endringen utvidelse av dagens fylling, fra et volum på 583 000 m³ til ca. 1 mill. m³. Foreløpige beregninger viser en økning på næringsareal på om lag 14,6 daa, mot dagens 42 daa i gjeldende reguleringsplan. Figur 4-2 viser sjøfylling på Lesto iht. eksisterende reguleringsplan (grønn), sammen med sjøfylling som er planlagt i ny reguleringsplan (rød).

Utenfor tunnelportalen i Moldefjorden har fyllingen økt fra ca. 700 000 m³ til 1,9 mill m³. Figur 4-3 viser sjøfylling ved tunnelportal iht. eksisterende reguleringsplan (grønn), sammen med sjøfylling som er planlagt i ny reguleringsplan (rød). I tillegg skal det deponeres noe masser ute i bunnen av fjorden (på det dypeste). Nøyaktig mengde på den fyllingen er ikke bestemt, og det skal ikke vurderes stabilitet av denne.



Figur 4-2: Sjøfylling på Lesto. Fylling iht. eksisterende reguleringsplan er markert med grønn. Ny, utvidet fylling er markert med rødt. Kilde: COWI



Figur 4-3: Sjøfylling tunnelportal i Moldefjorden. Fylling iht. eksisterende reguleringsplan er vist med grønn. Ny, utvidet fylling er vist med rødt. Kilde: COWI

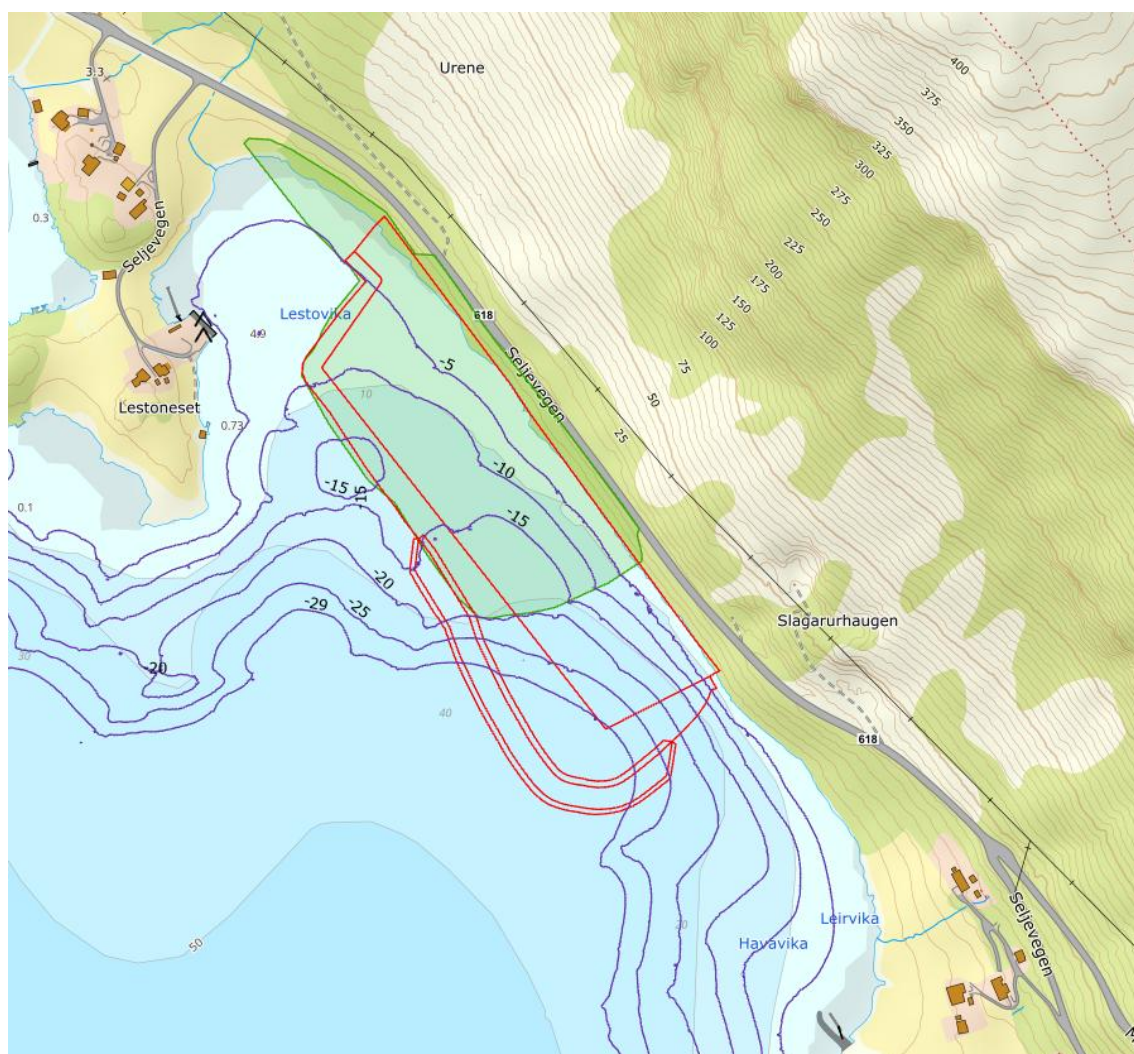
5 Beskrivelse av terreng

Området ligger ytterst på Stadlandet, helt ute mot havet. Terrenget er typisk for ytre kyst på Vestlandet, med eksponert kystlandskap, markerte høyder og bratte fjellsider helt ut til fjorden.

5.1 Lesto

Terrenget på Lesto stiger med en helning ca. 1:1,3 fra havoverflaten og opp til kote +400 mot nordøst, se Figur 5-1. Bildet viser også sjøfylling iht. eksisterende reguleringsplan (grønn), og ny reguleringsplan (rød). Den eksisterende regulerede fyllingen er planlagt ned til kote -20 på det dypeste. I dette området er terrenget forholdsvis slakt, ca. 1:5 langs land, og deretter slakere lenger fra land. Utvidelse av fyllingen er planlagt mot sørøst. I dette området er sjøbunnen brattere 1:2 nærmest land til kote -15, og 1:5 videre til kote -30. Ny reguleringsplan omfatter en fylling ned mot kote -40 på det dypeste.

På flyfoto (Figur 5-2) kan man se berg i dagen og rasmateriale på land. Det er også noe vegetasjon. Det ligger en vei Seljevegen/Fv. 618 og en kraftlinje på oversiden av planlagt fylling, men ingen boliger eller annen bebyggelse.



Figur 5-1: Innregnede høydekurver og planlagt fylling i sjøen på Lesto. Fylling iht. eksisterende reguleringsplan i grønt og ny reguleringsplan i rødt. Kilde: Norgeskart.no og COWI.

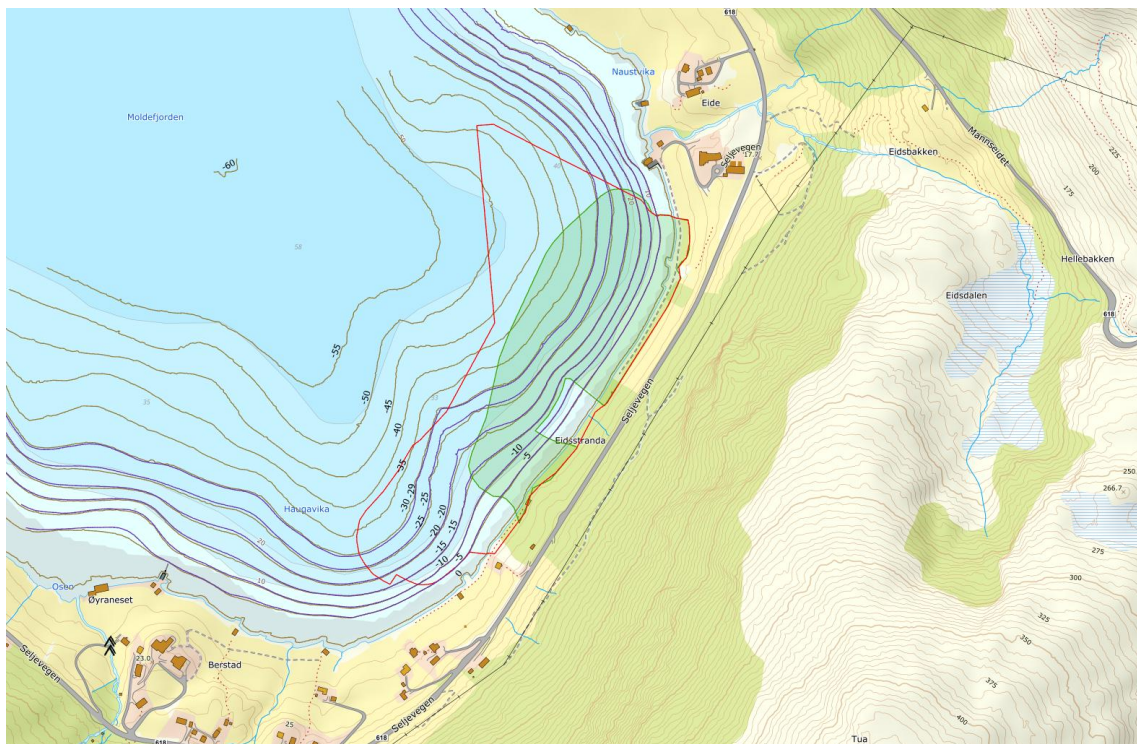


Figur 5-2: Flyfoto Lesto. Kilde: kart.finn.no

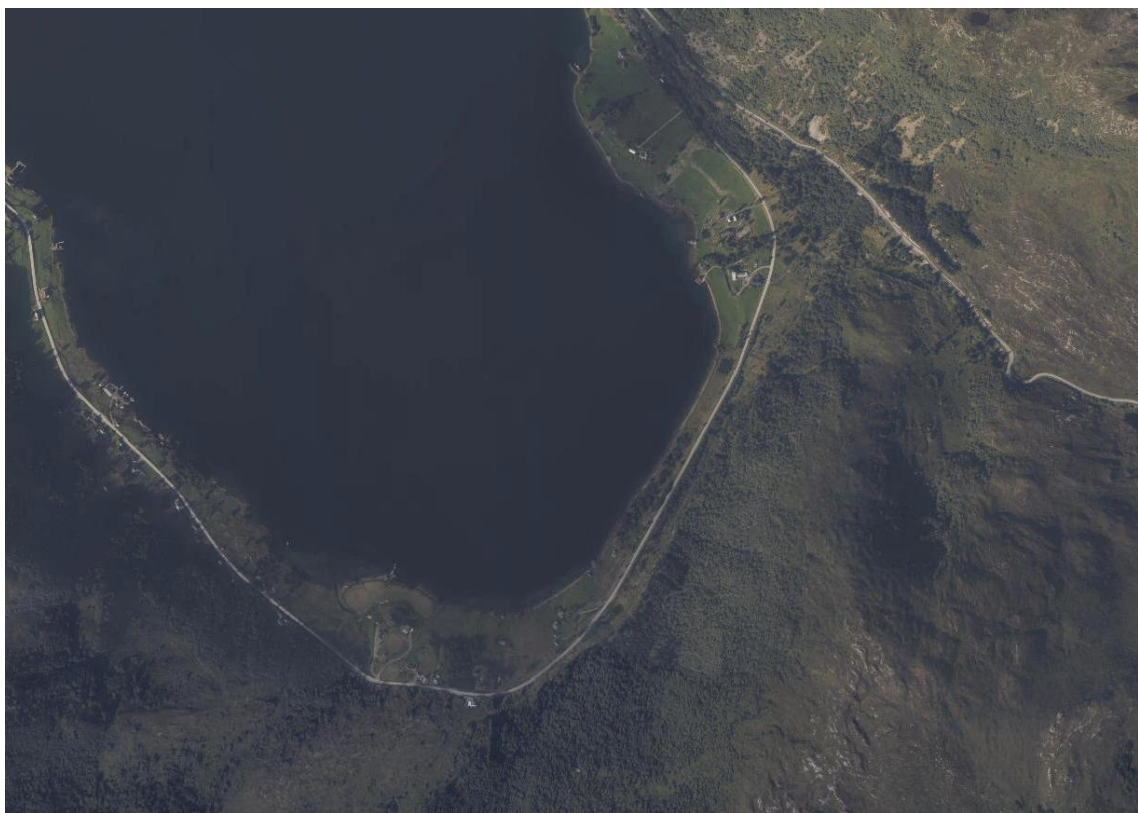
5.2 Tunnelportal

Ved tunnelportalen stiger terrenget bratt mot sørøst. Fra havoverflaten til Tua stiger terrenget i snitt 1:1,5, men med enkelte brattere heng, se Figur 5-3. Sjøbunnen ligger med en helning på ca. 1:6-1:7, (men med lokale variasjoner) fra kote +0 ved land og ut til kote -55. Deretter flater terrenget ut i bunnen av fjorden. I eksisterende reguleringsplan er det planlagt fylling ned til kote -40. Den utvidede fyllingen er planlagt å ligge ned til kote -50.

Figur 5-4 viser flyfoto av området. Det er en del vegetasjon i området. På toppen av skråningen er det bart berg i dagen.



Figur 5-3: Fylling utenfor tunnelportal (eksisterende reguleringsplan = grønn, utvidet fylling = rød) sammen med terrengkoter for området.



Figur 5-4: Flyfoto tunnelportalen. Kilde: kart.finn.no

6 Beskrivelse av grunnforhold

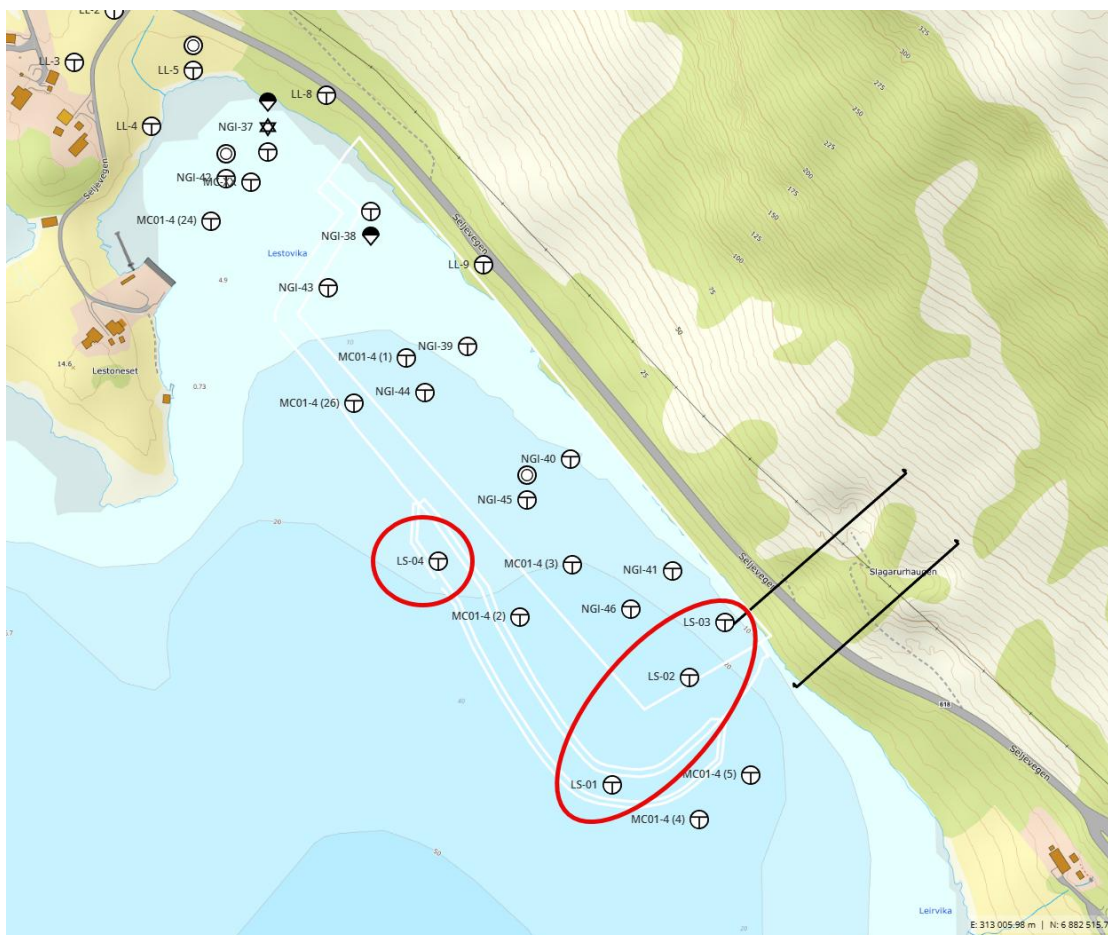
Vurdering av grunnforhold på sjøbunnen er basert på eksisterende og nylig utførte grunnundersøkelser.

6.1 Grunnforhold Lesto

Grunnundersøkelser utført på Lesto er vist i Figur 6-1 sammen med omriss av fylling (hvit linje). Tidligere utførte grunnundersøkelser på sjø har prefiks MC01- og NGI-. Tidligere undersøkelser viser at sjøbunnen generelt består av et topplag av finere løsmasser av sand, silt og leire, over grovere, fastere masser. Under er det antatt morene over berg. Løsmassemekktigheten varierer mellom 0,4 – 13,0 meter.

I 2023 ble det utført supplerende undersøkelser på land på Lestoneset (prefiks LL-). Det er utført 5 sonderinger på Lestoneset sør for Fv 618, og 2 undersøkelser nord for Fv. 618. Videre er det utført 2 sonderinger lenger sør, langs fylkesvegen i området der det er planlagt fylling. Undersøkelsene viser at grunnforholdene på land i hovedsak består av faste friksjonsmasser over morene.

Grunnundersøkelser utført i 2026 er vist med prefiks LS- i borplan og ringet rundt med rødt i Figur 6-1. Boringene viser faste masser til berg. Løsmassemekktigheten er 3-10 m i de nyeste boringene.



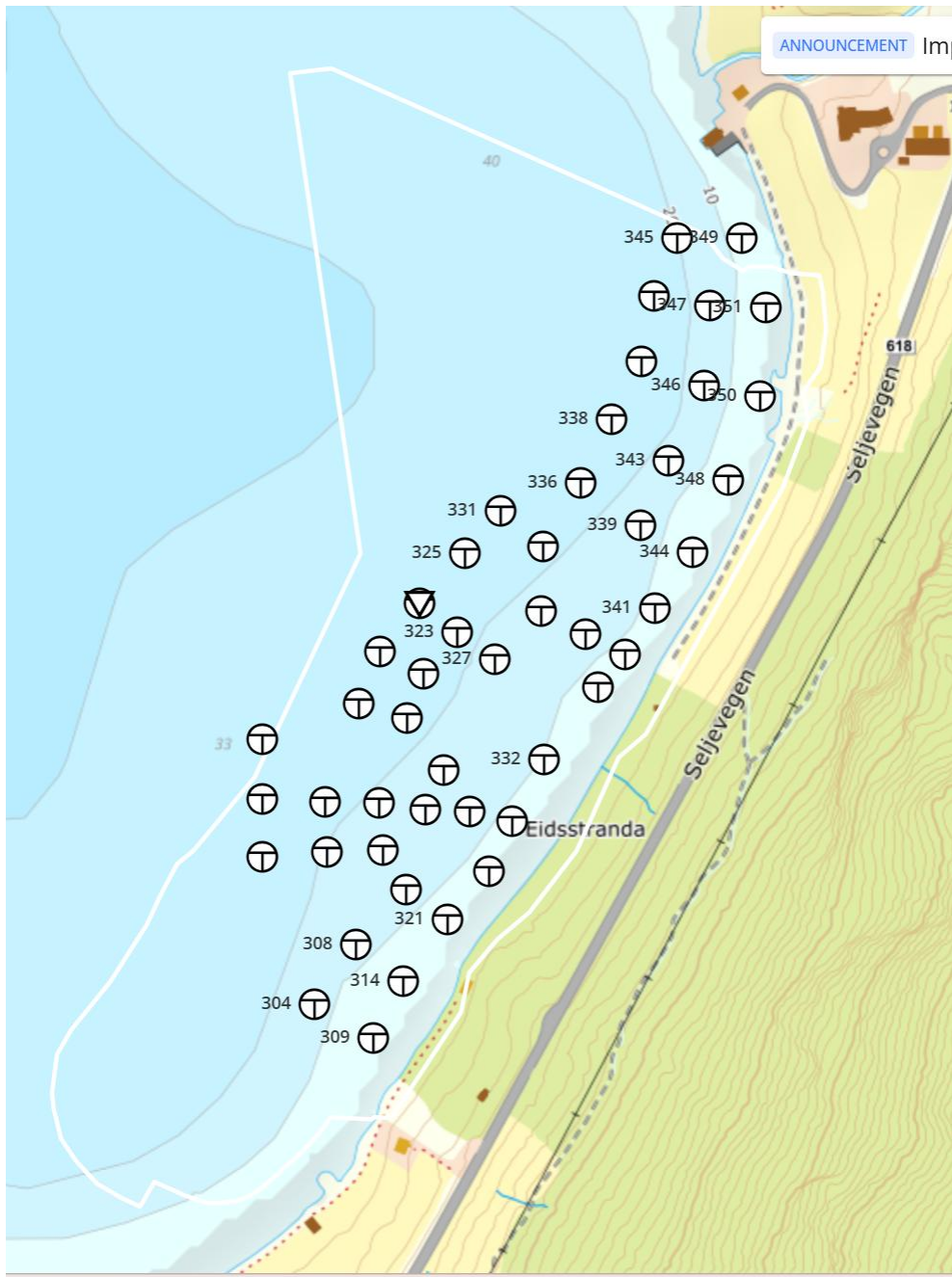
Figur 6-1: Utført grunnundersøkelser på Lesto. Boringer som er nye i 2026 er markert med røde ringe. Fotavtrykk av fyllingen er vist med hvit linje.

6.2 Grunnforhold Tunnelportal Moldefjorden

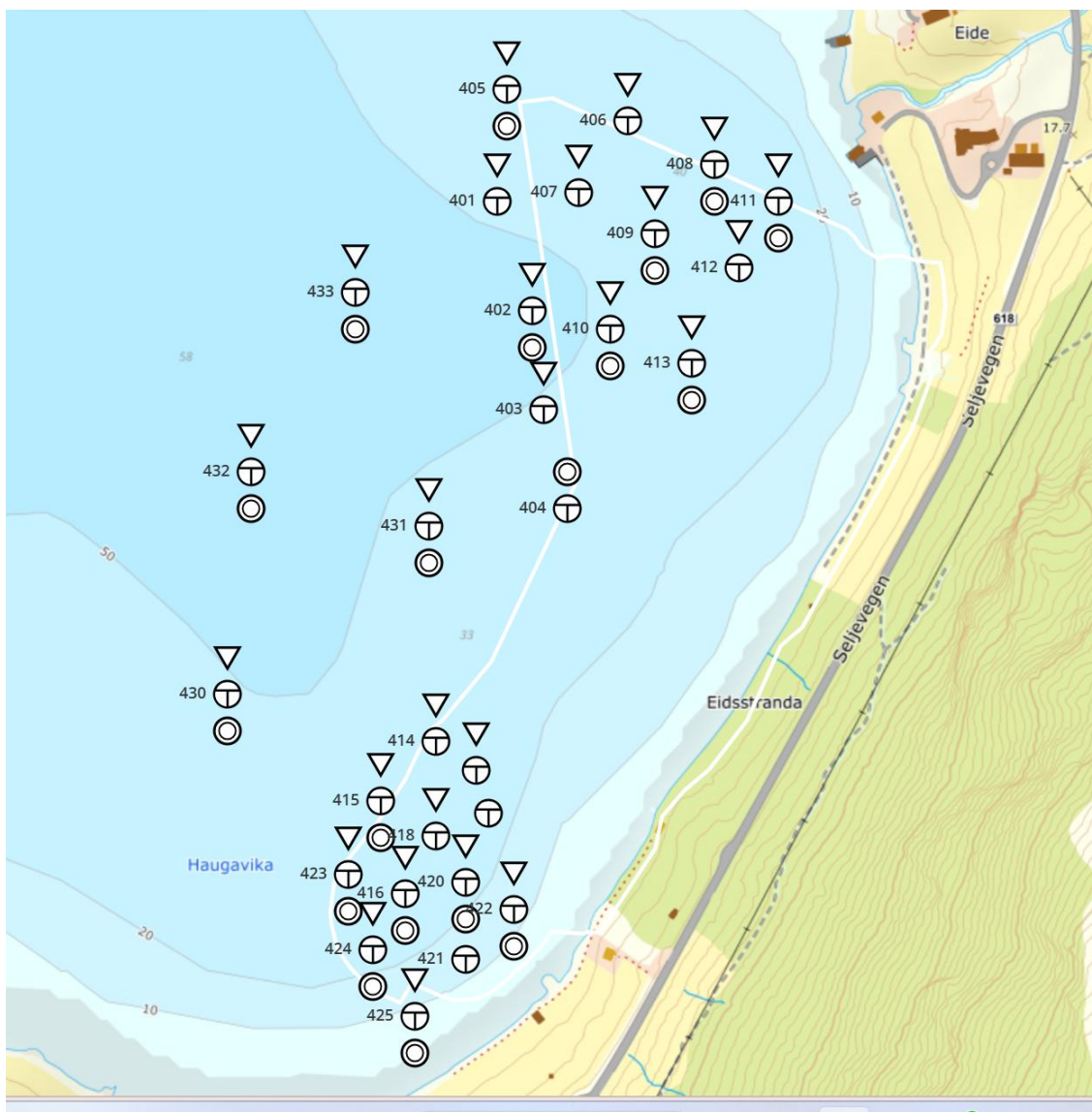
Ved tunnelportalen i Moldefjorden er det gjort grunnundersøkelser i to omganger. I 2016 ble det utført grunnundersøkelser nærmest land, se Figur 6-2. Disse boringene har navn 301-351. I 2026 ble det utført suppleringer som følge av at sjøfyllingen ble planlagt utvidet. Disse boringene har navn 401-433. Se Figur 6-3. Grunnundersøkelsene er gjort på store vanddyb. Sjøbunnen ligger på 0-35 m vanddybde i området som er undersøkt i 2016, og 10-59 m vanddybde i området som er undersøkt i 2026.

Grunnundersøkelser utført i 2016 er rapportert av Multiconsult i 10243085-12-RIG-NOT-001 [6]. I rapporten er det beskrevet et topplag av løst lagrede masser med mektighet på opptil 3,0 m. Resultatene fra laboratorieforsøk tyder på at topplaget består av grusig sand nærme land. Lengre unna land viser labundersøkelser finere masser. Sonderingene viser deretter faste til svært faste løsmasser, tolket som sand, grus og stein over morene på berg. Det er i enkelte punkter funnet mektigheter av de faste løsmassene på over 25 m.

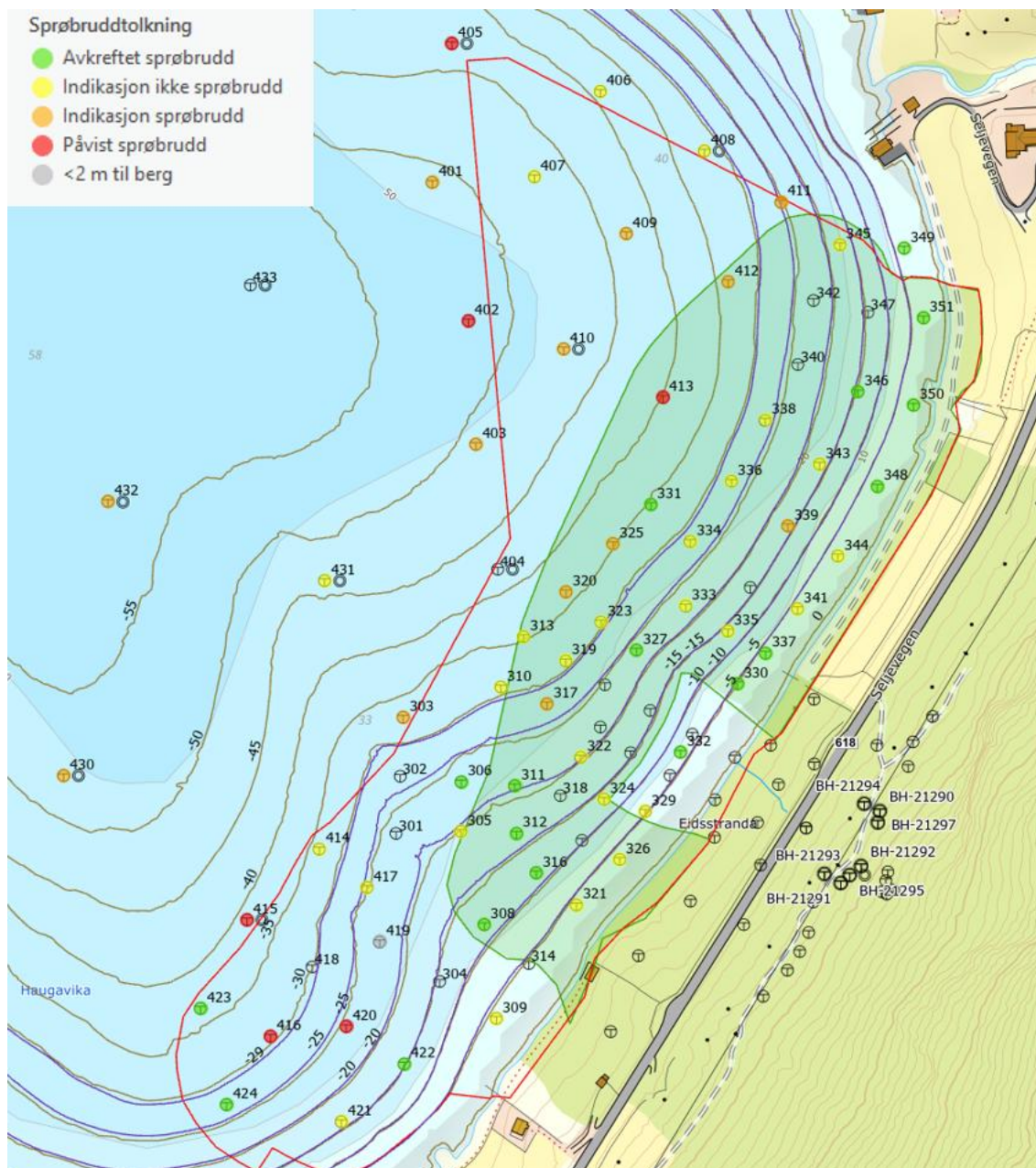
Grunnundersøkelsene fra 2026 er utført av Multiconsult og rapportert av COWI i A15-RAP-RIG-00002 Datarapport Sjøboringer Stad skipstunnel [7]. Boringene viser et topplag med lav motstand i totalsonderingene og lav poretrykksoppbygging i CPTu-sonderingene. Dette topplaget sees i nesten alle boringer utført i 2026. Mektigheten varierer mellom ca. 1-5 m. I boring 332 og 333 (utenfor fyllingsfot) er mektigheten på det løse topplaget 10 m. Labundersøkelser viser at disse massene består av leirig silt eller siltig leire, iblandet noe sand. Det er også påvist organisk innhold. Mange av prøvene er klassifisert som sprøbruddmateriale, basert på omrørt konus, men flere av dem er også klassifisert som sand eller sandig silt. Det forutsettes at materialet må være leire eller leirig silt for at det skal kunne ha sprøbruddegenskaper. Derfor antas det at prøver med tilstrekkelig sandinnhold ikke kan være sprøbruddmateriale. Figur 6-4 viser oversikt over grunnundersøkelser hvor det er tolket sprøbrudd/ikke sprøbrudd, basert på lab, CPTu og totalsonderinger. Det løst lagrede topplaget viser lavere motstand i boringene utført i 2026 enn i boringene utført i 2016. Under det bløte laget øker bormotstanden. Dette laget er tolket å være sand. Sandlagets mektighet er ca. 2-10 m. Det er ikke tatt opp prøver fra dette laget, og dette medfører usikkerhet vedrørende løsmasstype og styrke. Løsmassetykkelsen er stort sett mellom 10 og 15 m. Enkelte boringer viser ca. 0-1 m til berg (301 og 419), og lengst nordøst (boring 350 og 351) er det boret 30 m uten å treffe berg.



Figur 6-2: Boringer utført ved tunnelportalen i 2016 har navn 301-351. Utklipp fra Field manager.



Figur 6-3: Grunnundersøkelser utført i 2026 har navn 401-433. Suppleringene ble utført på grunn av at sjøfyllingen skulle utvides. Utklipp fra Field manager.



Figur 6-4: Tolket sprøbrudd/ikke sprøbrudd i borer ved tunnelportalen. Kilde: COWI

6.3 Materialparametere og lagdeling

Materialparametere er bestemt for de ulike lagene på Lesto og ved Tunnelportalen, og vist i hhv. **Error! Reference source not found.** og **Error! Reference source not found.**

Materialparametere for sprengstein er erfaringsverdier.

Prøvene som er tatt opp viser stort sett en blanding av silt, sand og leire. Det er valgt å skille mellom mer sandige masser (sandig silt/siltig sand) og mer leirige masser (siltig leire/leirig silt). Materialparametere for disse lagene er basert på labundersøkelser og CPTu.

Friksjonsvinkel i de stedlige massene er basert på treksialforsøk. Skjærfasthet c_u i de leirige massene er også basert på treks ved 1,5 % tøying. Treksforsøk er beskrevet nærmere i kapittel 6.3.3.

Tabell 6-1: Materialparametere for stabilitetsberegninger i snitt B-B på Lesto.

Materiale	Tyngdetetthet γ [kN/m ³]	Attraksjon a [kPa]	Friksjonsvinkel ϕ [°]	Udrenert skjærstyrke $c_{u,A}$ [kPa]
Sprengstein	19	5	42	-
Sandig silt / siltig sand	19	0	35	-
Sand	20	0	36	-

Tabell 6-2: Materialparametere for stabilitetsberegninger i snitt A-A, Tunnelportalen.

Materiale	Tyngdetetthet γ [kN/m ³]	Attraksjon a [kPa]	Friksjonsvinkel ϕ [°]	Udrenert skjærstyrke $c_{u,A}$ [kPa]
Sprengstein	19	5	42	-
Sandig silt / siltig sand	19	0	35	-
Siltig leire / leirig silt	18	0	33	5
Sand	20	0	36	-

6.3.1 Lagdeling Lesto

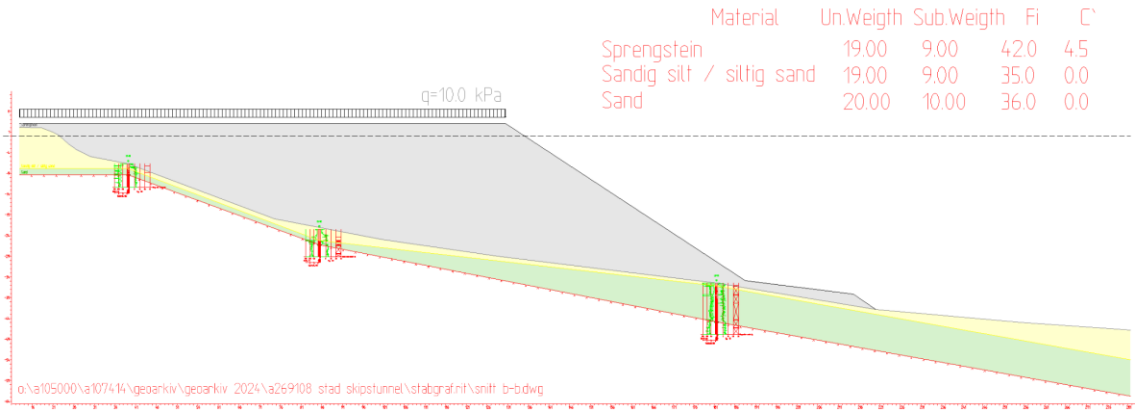
På lesto er det begrenset med underlag, siden det ikke lyktes å utføre CPTu-sonderinger eller ta opp prøver i dette området. Derfor er materialparametere vurdert ut fra erfaringsverdier og prøver/CPTu fra tunnelportalen. Valgte materialparametere er vist i **Error! Reference source not found.**

Stabilitetsberegninger på Lesto er gjort i snitt B-B, vist i Figur 6-5. Valgt lagdeling i snitt B-B er vist i Figur 6-6. Lagdelingen er basert på totalsonderingene LS-01, LS-02 og LS-03. Totalsonderingene LS-01, LS-02 og LS-03 tyder på at det er relativt skrått berg, da

løsmassemekktigheten varierer fra 3,73 m (i LS-02) til 9,35 m (i LS-01) i løpet av ca. 100 meter.



Figur 6-5: Plassering av snitt B-B på Lesto, brukt i stabilitetsberegninger i Geosuite Stability. Utvidet fylling er tegnet inn med rød linje. Kilde: COWI

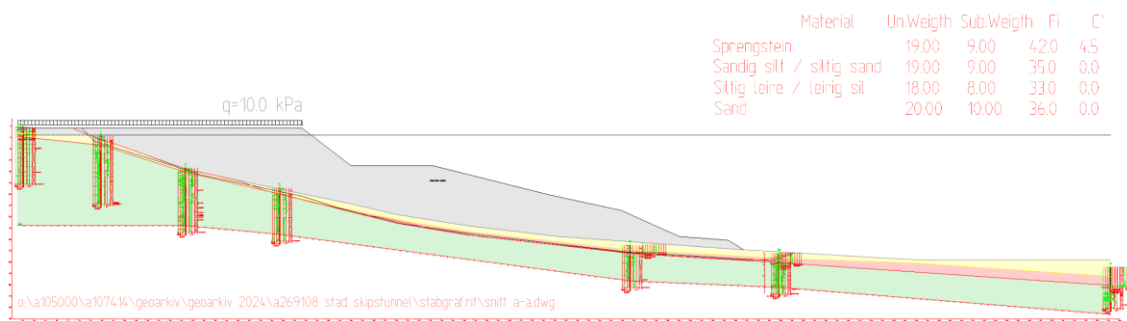


Figur 6-6: Lagdeling for snitt B-B på Lesto, brukt i stabilitetsberegninger i Geosuite Stability.

Materialparametere for massene i Moldefjorden er basert på CPTu-sonderinger og laboratorieundersøkelser sammen med erfaringsverdier.

The map displays a coastal region with a large fjord, Moldefjorden, to the west. The land area is characterized by numerous contour lines indicating elevation. Key locations include Naustvika, Eide, and Berstad. A red line connects several points, likely representing a specific route or boundary. A blue line crosses the fjord, possibly indicating a water level or a specific depth contour. The map also shows various elevation points marked with numbers and symbols, such as 405, 401, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

Figur 6-7: Plassering av snitt A-A (blå linje) for stabilitetsberegninger i Moldefjorden. Fotavtrykk av fylling er tegnet inn med rød linje. Fargen på boringene indikerer sprøbrudd (rød/oranje) eller ikke sprøbrudd (grønn/gul/grå).



Figur 6-8: Lagdeling for snitt A-A i Moldefjorden, brukt i stabilitetsberegninger i Geosuite Stability.

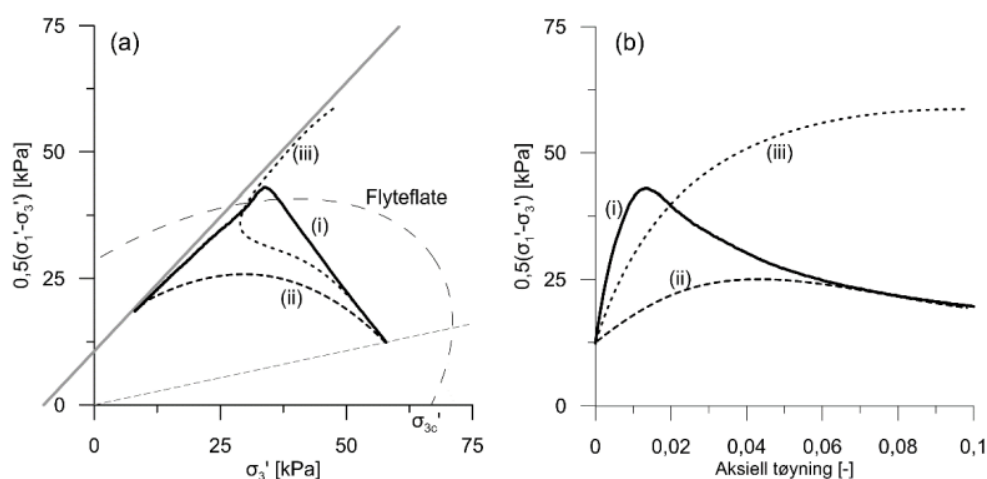
6.3.3 Treksialforsøk

Det er utført seks treksialforsøk på prøvematerialet (to forsøk for leirelaget, tre forsøk for siltlaget, og ett forsøk for sandlaget).

Vurdering av prøve kvalitet

For å vurdere prøve kvaliteten er resultatene sammenlignet med anbefalingene gitt i V220 [4], kapittel 3.5.6. I V220 presenteres eksempler på spenningsstier for prøver med henholdsvis god og dårlig prøve kvalitet. De målte spenningsstiene fra de utførte forsøkene er plottet i tilsvarende diagramformat for å muliggjøre en direkte kvalitativ sammenligning.

Figur 6-9 viser eksempler på spenningsstier fra håndbok V220, mens Figur 6-10 viser spenningsstiene fra flere av de utførte treksialforsøkene. Sammenligningen indikerer at de målte spenningsstiene i stor grad har likhetstrekk med eksemplene som i V220 er karakterisert som prøver med dårlig prøve kvalitet. Dette kan tyde på at prøvene har vært forstyrret, noe som kan ha innvirkning på de målte styrke- og deformasjonsegenskapene. Resultatene er derfor vurdert med forsiktighet i tolkning og valg av parametere som brukes i stabilitetsberegningene for fyllingen.

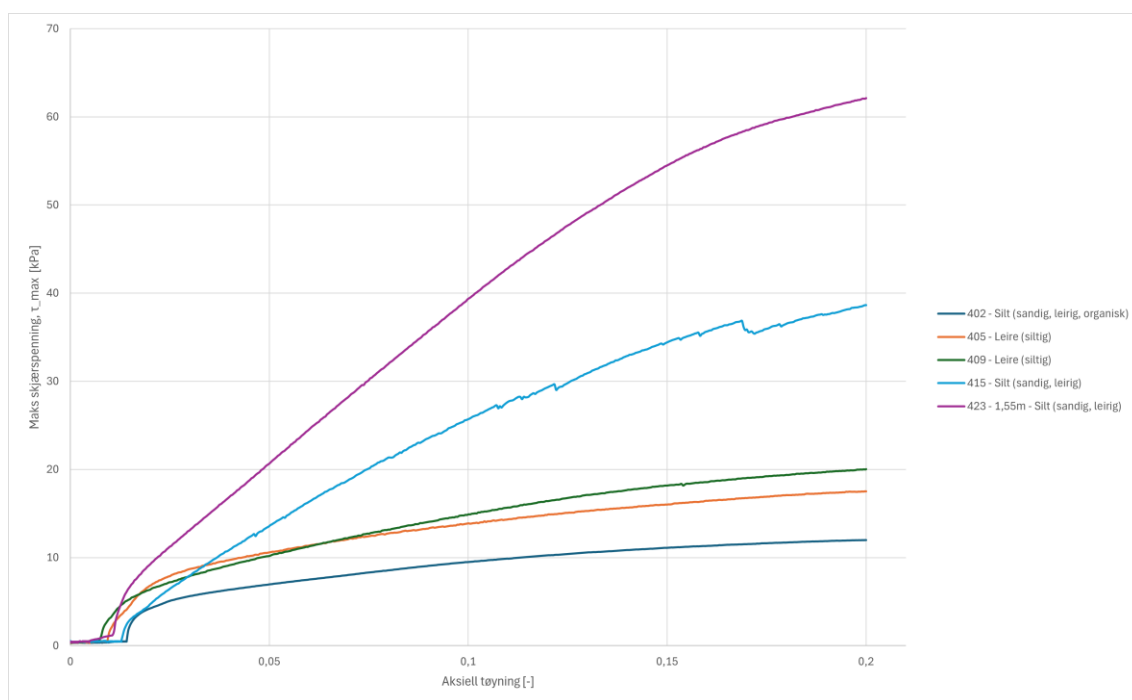


Figur 6-9: Eksempler på spenningsstier fra forsøk med god og dårlig prøve kvalitet [4].

Merknad: (i) = god kvalitet

(ii) = forstyrret prøve, dilatans i mobiliseringsfase, brudd ved høy tøyning

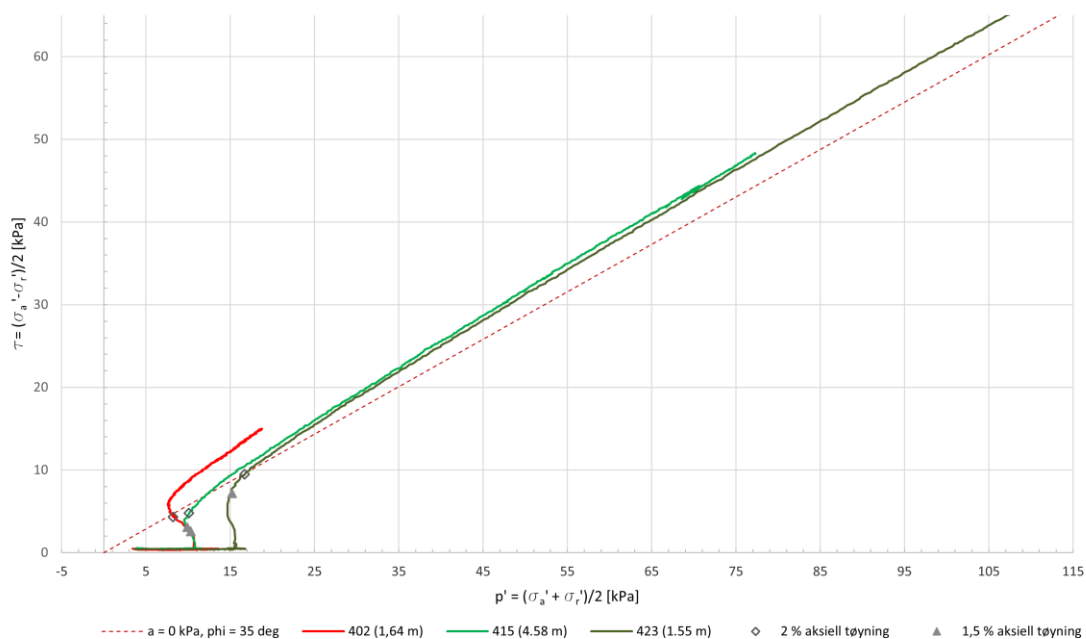
(iii) = Forstyrret prøve, prøven har gått fra å være kontraktant i bruddfase til å bli dilatant



Figur 6-10: Spenningsstier (tøyning mot maks skjærspenning) for flere av treaksialforsøkene.

Sandig silt

Figur 6-11 sammenligner resultater fra tre treaksialforsøk i laget med sandig, leirig, silt. Basert disse resultatene vurderes friksjonsvinkelen og attraksjonen å være hhv. $\phi = 35^\circ$ og $a = 0$ kPa. Bruddtaket går da under spenningsstien fra forsøket, og treffer omtrent i tøyning 2 % i alle forsøkene.

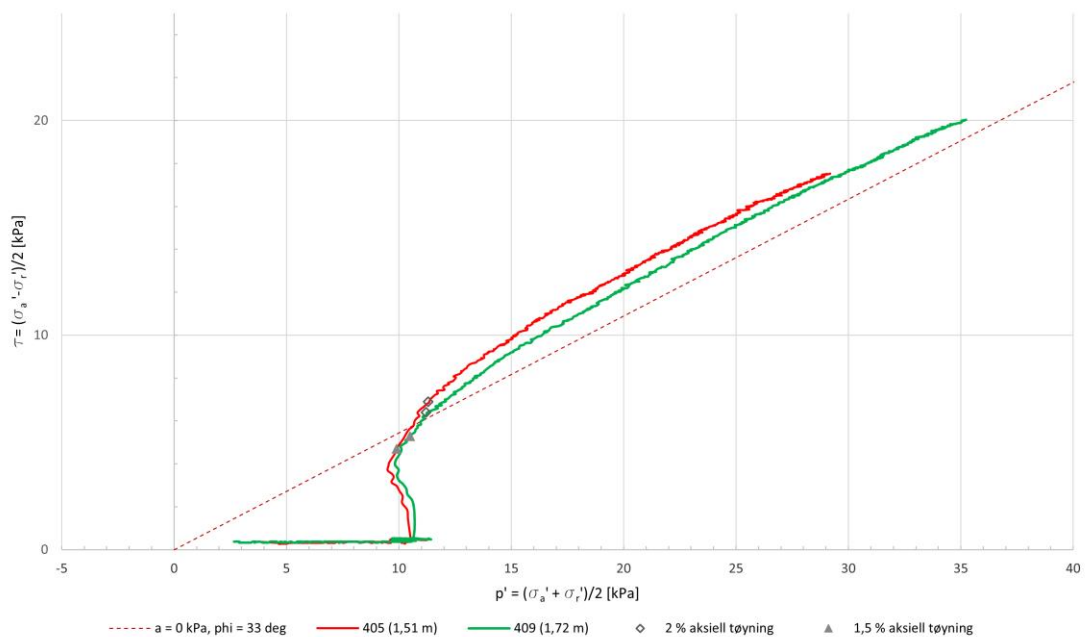


Figur 6-11: Resultater fra treaksialforsøk i sandig silt-laget sammen med tolket friksjonsvinkel og attraksjon. Plottet med p' mot maks skjærspenning.

Siltig leire

Figur 6-12 viser resultater fra to treaksialforsøk i laget med siltig leire. Basert disse resultatene vurderes friksjonsvinkelen og attraksjonen å være hhv. $\phi = 33^\circ$ og $a = 0$ kPa. Bruddtaket er vist med stiplet linje, og treffer omtrent i tøyning 1,5-2 %. Den ene prøven (fra 405) er klassifisert som sprøbruddmateriale basert på omrørt konus.

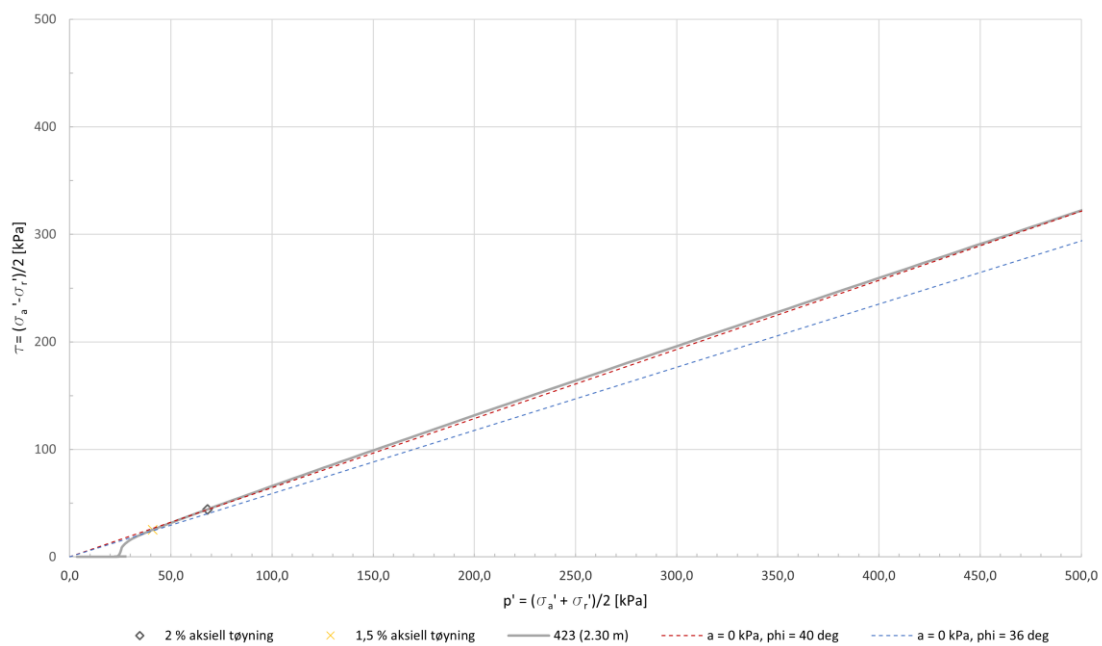
Udrenert skjærfasthet er bestemt ut fra 1,5 % tøyning. Denne er ca. lik i de to forsøkene, men det er valgt å bruke den minste.



Figur 6-12: Resultater fra treaksialforsøk i leire-laget.

Siltig sand

Det er kun gjort ett treaksforsøk på prøve fra sandlaget. Resultat fra forsøket er vist i Figur 6-13. Basert på dette resultatet vurderes friksjonsvinkelen og attraksjonen å være hhv. $\phi = 40^\circ$ og $a = 0$ kPa. I V220 anbefales det å basere tolkningen av effektivspenningsparametere på to eller flere spenningsstier fra materiale fra sammenlignbare forhold. Siden det kun er utført ett treaksialforsøk i sand-laget er det i beregningene valgt å bruke en lavere friksjonsvinkel, 36° .



Figur 6-13: Resultat fra treaksjalforsøk i sand-laget sammen med tolket bruddtak på 40° og 36°.

7 Stabilitetsberegninger

Det er utført stabilitetsberegninger for snitt A-A for tunnelportalen og i snitt B-B for Lesto. Beregningene er gjort i Geosuite stability. Det er benyttet Beast 2003. For sirkulære skjærflater er det brukt "RTangent"-funksjonen. For ikke-sirkulære skjærflater er «optimize»-funksjonen benyttet. Det er ikke brukt 3D-effekter i beregningene.

7.1 Laster

I stabilitetsberegningene for Lesto og Tunnelportalen er det lagt til grunn en jevnt fordelt last på 10 kPa på den delen av fyllingen som ligger over vannivå. Lastepåføringen er valgt for å representere en antatt last fra fremtidig bebyggelse på fyllingens overflate. Ved detaljprosjektering må stabilitetsanalysene oppdateres med reelle lastforutsetninger når utbyggingens omfang og utforming er endelig fastlagt.

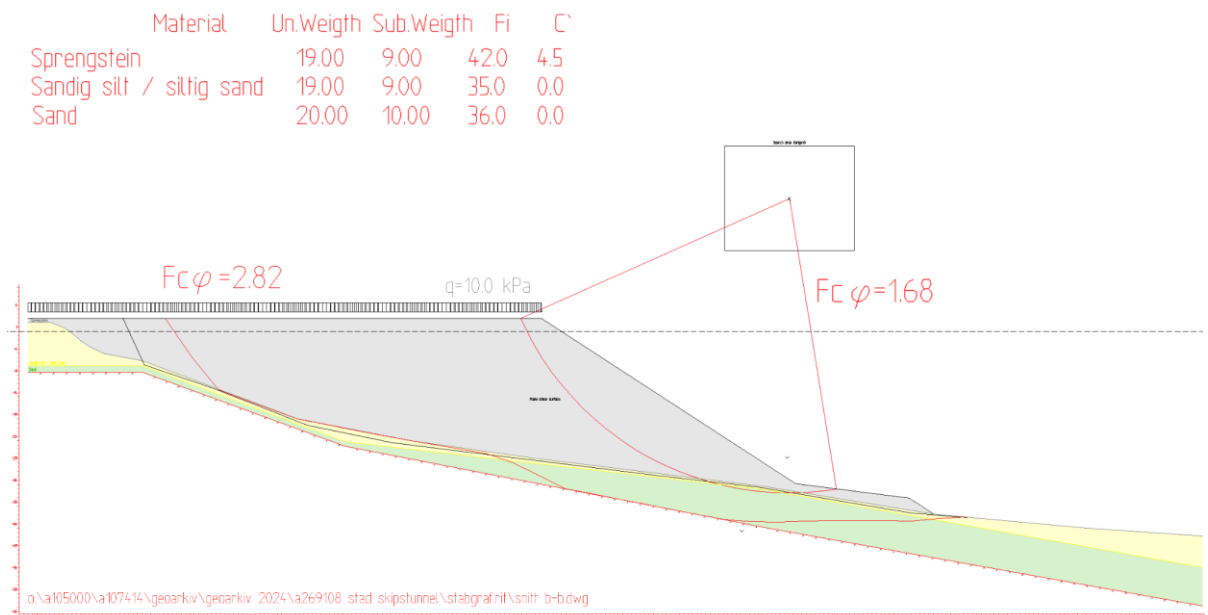
7.2 Stabilitetsberegninger Lesto

Det er kun utført drenerte stabilitetsberegninger på Lesto, ettersom det er vurdert at lagdelingen kun består av friksjonsmasser (se lagdelingen i Figur 6-6). Resultatene fra stabilitetsberegningene i Geosuite Stability er vist i Figur 7-1.

Beregningen for ikke-sirkulær skjærflate gjennom laget med sandig silt/siltig sand, gir en sikkerhetsfaktor $F = 2,82$. Denne bruddflaten gjennom stedlige masser vurderes å ha en nøytral bruddmekanisme. Beregningen for sirkulær glideflate gir en sikkerhetsfaktor $F = 1,68$. Bruddflaten går gjennom sprengstein, og vurderes derfor å ha seig bruddmekanisme.

Krav til sikkerhet er $F \geq 1,25$ iht. Eurokode 7 [2], og dette kravet er oppfylt for begge skjærflater. Krav til sikkerhet er oppfylt for den nye delen av fyllingen på Lesto uten å mudre. Krav til sikkerhet er diskutert i kapittel 3.3.

I Stad skipstunnel - Detaljregulering for Lesto næringsområde [8] er det beskrevet at det trolig må mudres for den delen av fyllingen som ligger inn mot Lestovika på grunn av bløte masser. Dette gjelder fortsatt.

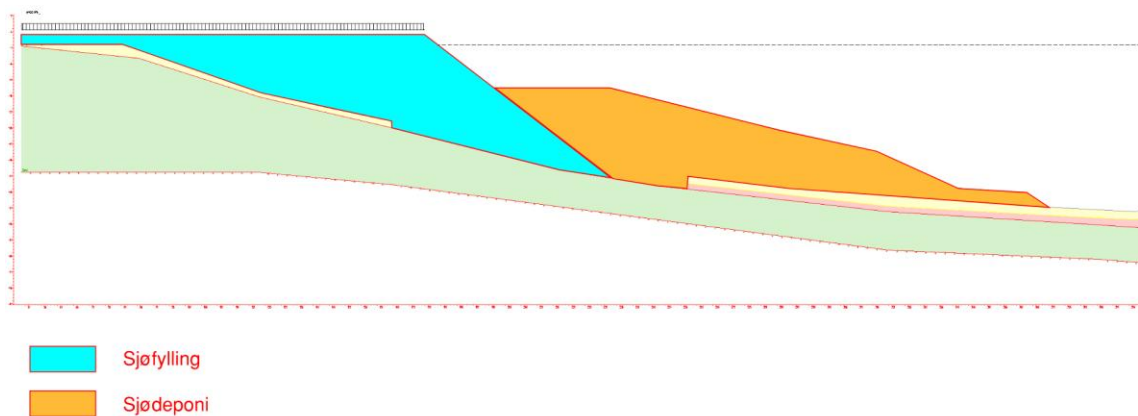


Figur 7-1: Stabilitetsberegninger for fyllingen på Lesto.

7.3 Stabilitetsberegninger Tunnelportal

Ved tunnelportalen er det tolket to lag med løst lagrede masser: sandig silt og siltig leire. Det er gjort stabilitetsberegninger for å vurdere om disse massene burde mudres, eller om fyllingen kan legges oppå. Det er vurdert at laget av siltig leire er et udrenert materiale, og derfor er det gjort både drenerte og udrenerte beregninger. Laget av siltig leire er tolket å være sprøbruddmateriale. Bruddmekanismer som går primært gjennom dette laget er derfor vurdert å være sprø.

Figur 7-2 viser den representative geometrien som er lagt til grunn for stabilitetsberegningene utført i *GeoSuite Stability*. I modellen er fyllingen inndelt i to hovedkomponenter: sjøfylling (blå) og sjødeponi (oransje). Denne inndelingen benyttes videre i kapittelet som grunnlag for å beskrive og tydeliggjøre de gjennomførte beregningene.



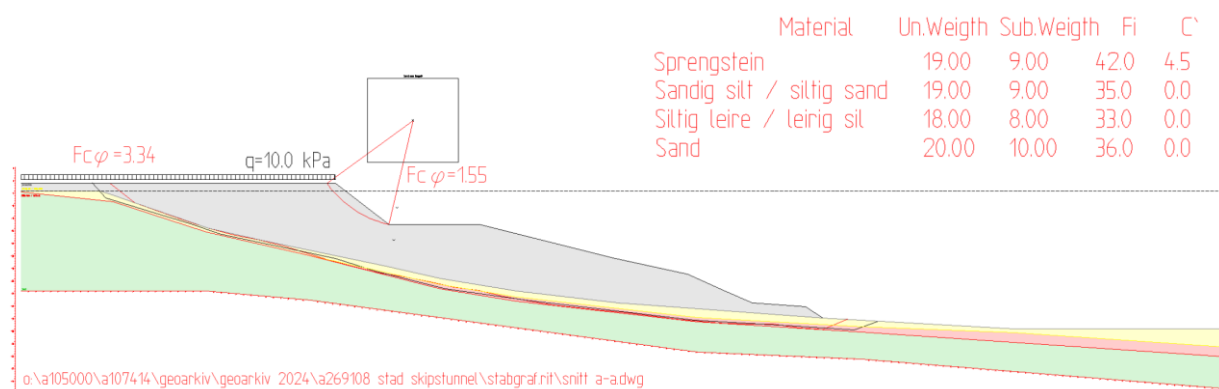
Figur 7-2: Geometri som skiller mellom sjøfylling og sjødeponi

7.3.1 Resultater uten mudring, drenert – sjøfylling og sjødeponi

Det er utført drenerte stabilitetsberegninger for tunnelportalen (både sjøfylling og sjødeponi) der det er forutsatt at lagene med sandig silt/siltig sand og siltig leire/leirig silt (sprøbruddsmateriale) blir liggende under fyllingen. Stabilitetsberegningen er vist i Figur 7-3.

Beregningen for ikke-sirkulær skjærflate gir en sikkerhetsfaktor $F = 3,34$. Beregning for sirkulær glideflate gir en sikkerhetsfaktor $F = 1,55$. Krav til sikkerhet for drenerte beregninger er $F \geq 1,25$ iht. Eurokode 7 [2].

Krav til sikkerhet er oppfylt for drenerte beregninger uten mudring. Krav til sikkerhet er diskutert i kapittel 3.3.



Figur 7-3: Resultater fra drenerte stabilitetsberegninger for fyllingen ved tunnelportalen, hvor det bløte laget antas å bli liggende under fyllingen.

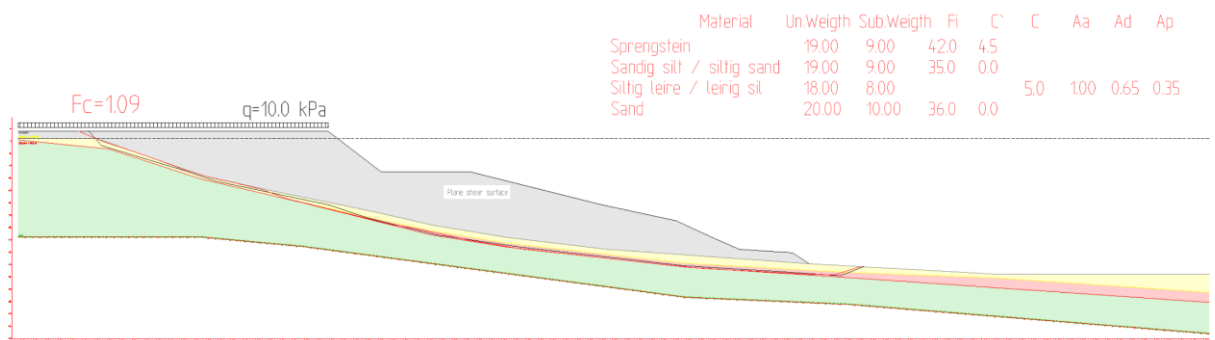
7.3.2 Resultater uten mudring, udrenert – sjøfylling og sjødeponi

Det er utført en stabilitetsberegning for tunnelportalen (både sjøfylling og sjødeponi) med udrenerte parametere hvor de løst lagrede massene blir liggende under fyllingen. Siltig leire/leirig silt er det eneste laget som er vurdert å være et udrenert materiale, og en udrenert beregning må derfor gå gjennom dette laget. Laget er klassifisert som sprøbruddmateriale. En bruddflate som går primært gjennom dette laget har dermed sprøbruddmekanisme, og NVE stiller krav til sikkerhet $F \geq 1,61$.

Stabilitetsberegningen for en ikke-sirkulær skjærflate som går gjennom siltig leire/leirig silt (det røde laget) er vist i Figur 7-4, og det er ikke tatt inn eventuelle tidseffekter/konsolidering i disse beregningene. Beregnet sikkerhet er $F = 1,09$. Dette er langt unna kravet på $F \geq 1,61$ iht. NVE [5]. Det oppfyller heller ikke krav iht. Eurokode 7 [2].

De udrenerte beregningene oppfyller ikke kravene til sikkerhet, diskutert i kapittel 3.3.

På bakgrunn av at sikkerheten ikke oppfylles, vurderes mudring som et aktuelt tiltak (dvs. de bløte massene skiftes ut med sprengstein) for å oppnå tilstrekkelig stabilitet. Endelig omfang og metode for mudring må prosjekteres i senere fase. Det stilles ikke konkrete krav til utførelsen i denne rapporten, men beregningene viser behovet for mudring for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet.

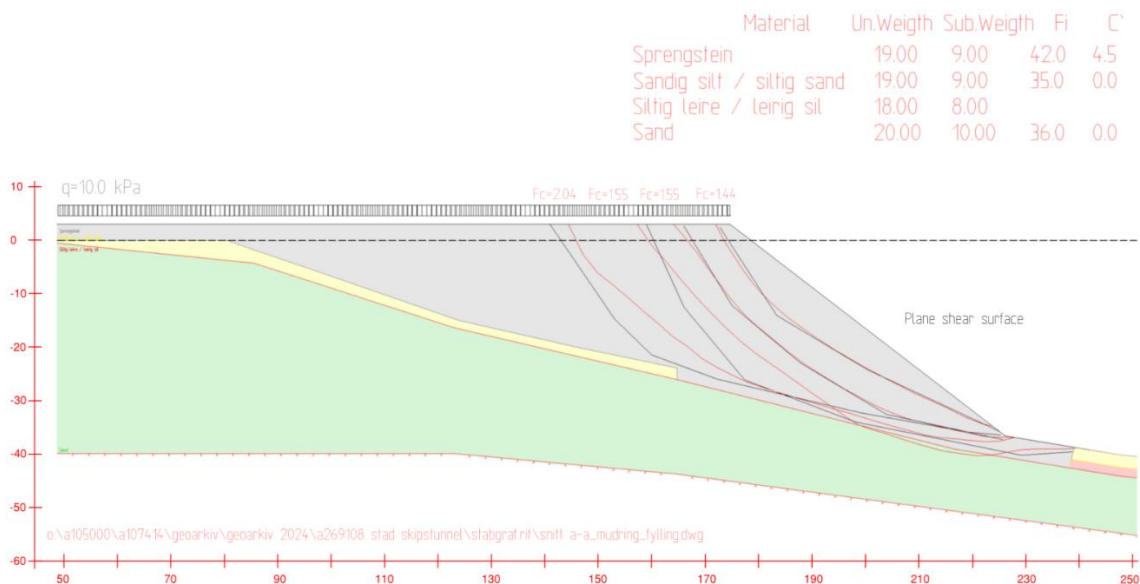


Figur 7-4: Resultater fra udrenert stabilitetsberegning for fyllingen (både sjøfyllingen og sjødeponiet) ved tunnelportalen, hvor fylling etableres på løstlagrede/bløte masser.

7.3.3 Resultater med mudring, drenert - sjøfylling

På grunn av at udrenert beregning gir for lav sikkerhet dersom fyllingen etableres på de løst lagrede, leirige massene, er stabiliteten undersøkt for en situasjon der det mudres til faste masser under fyllingsfoten av sjøfyllingen. Kritisk glideflate går i dette tilfellet kun gjennom friksjonsmaterialet og beregningene vil dermed være drenerte. Bruddmekanismen vurderes derfor å være seig, og krav til sikkerhet er $F \geq 1,25$ iht. Eurokode 7 [2]. Se drøfting av krav til sikkerhet i kapittel 3.3.

Figur 7-5 viser utklipp fra stabilitetsberegninger som inkluderer både kritisk og ikke-kritiske glideflater. Dersom det mudres under foten av fyllingen i ca. 75 meter, blir beregnet sikkerhetsfaktor $F = 1,44$, som oppfyller kravet til sikkerhet.



Figur 7-5: Resultater fra drenerte stabilitetsberegninger for sjøfyllingen, hvor det bløte laget mudres under foten av fyllingen.

7.3.4 Resultater med mudring, udrenert – sjøfylling og sjødeponi

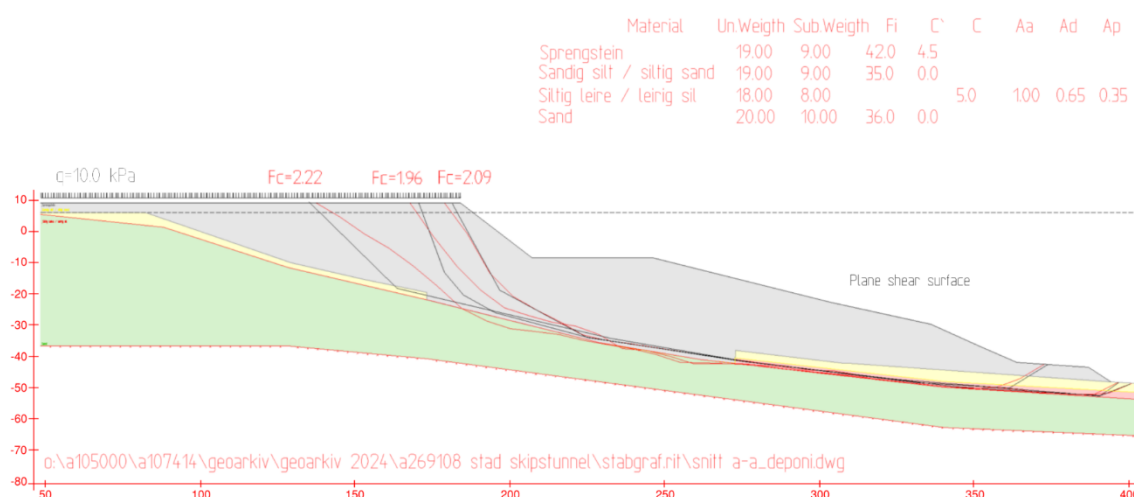
Det er i delkapittel 7.3.3 vist at tilstrekkelig sikkerhet kan oppnås for sjøfyllingen isolert sett kan oppnås ved mudring under sjøfyllingens fot. Det må imidlertid vurderes om sikkerheten er tilstrekkelig etter etablering av sjødeponiet. Utførte stabilitetsberegninger indikerer at det

i dette tilfellet er behov for et større mudringsomfang enn det som er lagt til grunn i beregningene for sjøfyllingen alene.

Den kritisk bruddflaten etter etablering av sjødeponiet, går delvis gjennom sprøbruddsmaterialet. Bruddmekanismen vurderes derfor, noe konservativt, som sprø. Dette medfører et krav til sikkerhetsfaktor på $F \geq 1,61$ i henhold til NVE 1/2019 [5]. Se drøfting av krav til sikkerhet i kapittel 3.3.

Figur 7-6 viser utklipp fra stabilitetsberegninger, inkludert både kritisk og ikke-kritiske glideflater. Ved mudring over en strekning på om lag 75 m under sjøfyllingens fot, oppnås en beregnet sikkerhetsfaktor på $F = 1,96$, som tilfredsstillende gjeldende krav.

Beregninger presentert i avsnitt 7.3.5 viser imidlertid at det er andre skjærflater som har lavere sikkerhet for sjødeponiet slik at det uansett må gjøres vurderinger eller tiltak for å sikre tilstrekkelig stabilitet for selve sjødeponiet. I en senere fase kan det også vurderes om sikkerhetskravene kan fastsettes i henhold til Eurokode 7, det vil si $F \geq 1,40$ for udrenerte forhold eller $F \geq 1,25$ for drenerte forhold [2]. På nåværende plannivå er det dokumentert at det foreligger gjennomførbare løsninger som tilfredsstillende sikkerhetskravene i NVE 1/2019 [5].



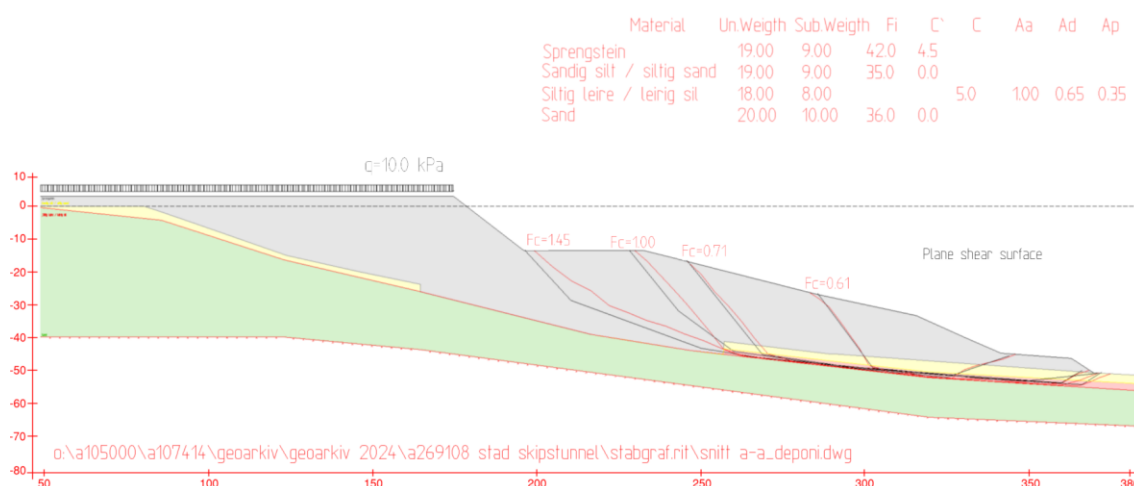
Figur 7-6: Resultater fra udrenerte stabilitetsberegninger for sjøfyllingen (etter etablering av sjødeponi), hvor det bløte laget mudres under foten av sjøfyllingen.

7.3.5 Resultater med mudring, udrenert – sjødeponi

I tidligere kapitler stabiliteten i sjøfyllingen undersøkt både før og etter etablering av sjødeponiet. I tillegg vurderes det som nødvendig å analysere stabiliteten av sjødeponiet isolert sett. I en senere fase kan det vurderes om et eventuelt brudd i sjødeponiet vil kunne initiere eller påvirke et brudd i sjøfyllingen. På nåværende plannivå legges det imidlertid konservativt til grunn at et brudd i sjødeponiet kan påvirke stabiliteten i sjøfyllingen, og det må derfor dokumenteres at det foreligger løsninger som ivaretar dette.

Figur 7-7 viser utklipp fra stabilitetsberegninger for sjødeponiet ved en mudringsstrekning på ca. 75 meter under foten av sjøfyllingen (tilsvarende forutsetningene i Figur 7-6).

Resultatene viser at det for dette tiltaket oppstår flere bruddflater med lav sikkerhetsfaktor, ned mot $F = 0,61$, noe som er betydelig lavere enn kravet til sikkerhetsfaktor $F \geq 1,61$ iht. NVE-veileder 1/2019 [5]. Krav til sikkerhet er diskutert i kapittel 3.3.



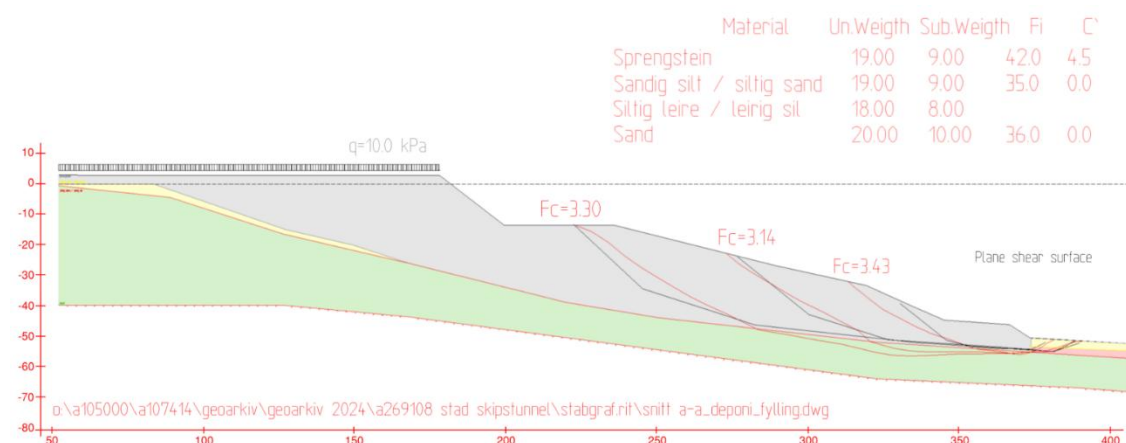
Figur 7-7: Resultater fra udrenerte stabilitetsberegninger for sjødeponiet, hvor bredde av mudring er ca. 75 meter under fot av sjøfyllingen.

7.3.6 Resultater med mudring, drenert – sjødeponi

For å oppnå tilstrekkelig stabilitet i sjødeponiet (isolert sett) er det behov for mudring over et større område under både sjøfyllingen og sjødeponiet, slik at en større andel av de bløte massene fjernes.

Figur 7-8 viser utklipp av stabilitetsberegningene, inkludert både kritisk og ikke-kritiske bruddflater.

Ved en mudringsutstrekning på om lag 180 m under sjøfyllingen og sjødeponiet oppnås en beregnet sikkerhetsfaktor for kritisk bruddflate i sjødeponiet på $F = 1,14$. Ettersom denne bruddflaten hovedsakelig går gjennom drenerte masser, vurderes det som aktuelt å legge til grunn kravene i Eurokode 7 for drenert analyse, det vil si $F \geq 1,25$ [2]. Krav til sikkerhet er diskutert i kapittel 3.3.



Figur 7-8: Resultater fra udrenerte stabilitetsberegninger for sjødeponiet, hvor bredde av mudring er ca. 180 meter under fot av sjøfyllingen.

7.3.7 Oppsummering stabilitetsberegninger Tunnelportal

I stabilitetsberegningene som er presentert i denne rapporten er mudring vurdert som en metode for å fjerne lag av bløte masser. I en senere fase bør det vurderes om alternative tiltak kan være bedre egnet for å oppnå tilstrekkelig stabilitet.

Konsolidering og massefortrengning er aktuelle metoder som kan bidra til å oppnå påkrevd sikkerhetsnivå. Dersom slike tiltak velges, må det i senere fase fremlegges tilstrekkelig og nødvendig dokumentasjon som viser at kravene til stabilitet er oppfylt.

Ved prosjektering i henhold til Eurokode 7 kan det i visse tilfeller aksepteres lavere globale sikkerhetsfaktorer, samtidig som kravene til dimensjonering for både drenerte og udrenerte forhold oppfylles. Som beskrevet tidligere i rapporten vurderes det likevel som nødvendig å dokumentere at det foreligger gjennomførbare løsninger som tilfredsstiller de strengeste kravene, slik de er angitt i NVE-veileder 1/2019.

8 Områdestabilitet

Stabilitetsberegninger viser at bruddflater som går gjennom sprøbruddmateriale har en beregnet sikkerhet som oppyller kravet på $F \geq 1,61$ i udrenerte beregninger, og $F \geq 1,25$ for drenerte beregninger. Områdestabiliteten er dermed ivaretatt iht. NVE 1/2019 [5], dersom sprøbruddmateriale skiftes ut med sprengstein under fyllingsfoten som vist i beregningene. Endelig omfang og metode for mudring (eventuelle andre metoder) må prosjekteres i senere fase. Det stilles ikke konkrete krav til utførelsen i denne rapporten, men beregningene dokumenterer behovet for mudring for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet.

9 Setninger

I Stad skipstunnel - Detaljregulering for Lesto næringsområde [7] skriver Multiconsult følgende om setningsproblematikk:

«På grunn av at massene legges ut med til dels stor høyde uten komprimering må det påregnes krypsetninger en stund etter utfylling. Etablering av bebyggelse på utfyllt areal må hensynta disse setningene.

Dersom det skal etableres bebyggelse kort tid etter utfylling må bebyggelsen enten pelefunderes eller det må utføres tiltak som dypkomprimering for å redusere setninger. Alternativt kan det oppføres bebyggelse som tåler noe deformasjon (f.eks lette konstruksjoner, telt/ haller).

Setningene kan trolig fremskyndes ved oppfylling med noe overhøyde. Fundamentering av bygg og konstruksjoner på fyllingen må detaljprosjekteres og det anbefales at det utarbeides et måleprogram for overvåking av setningsutviklingen til fyllingen.»

Dette vil være gjeldende også for den nye delen av fyllingen på Lesto, og for fyllingen ved tunnelportalen.

10 Avbøtende & forebyggende tiltak

For å sikre stabiliteten av fyllingen utenfor tunnelportalen i Moldefjorden, anbefales det å etablere fyllingen på faste masser. Dette innebærer å fjerne de løst lagrede massene på sjøbunnen, eller sikre skikkelig massefortrengning. Det må sikres at det ikke ligger sammenhengende lag med sprøbruddmateriale under fyllingen. Nærmere bestemmelse av hvordan dette skal utføres kan bestemmes i detaljprosjekteringen.

Det er mulig å benytte ulike metoder, for eksempel, mudring fra land eller fra lekter. Sugemudring kan være egnet for løse masser av sand og silt. Det kan også være en mulighet å utløse kontrollerte utglidninger underveis i utfyllingsprosessen. Dette alternativet krever nøye oppfølging fra båt.

De bløte massene kan lagres utenfor fyllingsfoten så lenge det er innenfor plangrensen.

Hvis det ønskes å la massene ligge igjen under fyllingen, er det mulig å vurdere drenert utlegging. Dette innebærer sakte utlegging med poretrykksovervåking. En kan i så fall anta en konsolidering med påfølgende økt skjærstyrke i leira. Dette kan vurderes i detaljprosjekteringen, men krever mye oppfølging og kan være komplisert. Denne metoden er derfor ikke anbefalt på nåværende tidspunkt.

Det ventes at setninger kan utvikle seg over lang tid. Det anbefales derfor at det utarbeides et måleprogram for overvåking av setningsutviklingen til fyllingen, og at mulige setninger detaljprosjekteres for eventuell bebyggelse.

11 Konklusjon

Det er gjort vurderinger for utvidelse av sjøfyllingene på Lesto og utenfor tunnelportalen i Moldefjorden i reguleringsplan. Tiltakene settes i CC3, og det er valgt å følge Statens vegvesens krav til sikkerhet, i tillegg til NVE for områdestabilitet.

Grunnforholdene på sjøbunnen utenfor tunnelportalen i Moldefjorden er undersøkt i to omganger: nærmest land i 2016 og lenger fra land (for utvidelse av fylling) i 2026. Grunnundersøkelsene tyder på at massene ved tunnelportalen består av et topplag av løst lagrede masser over fastere masser til berg. De løst lagrede massene virker å være løsere/bløtere lenger unna land. I boringene nærmest land (fra 2016) er topplaget tolket som sand og grus. I boringene lenger unna land (fra 2026) er det tolket et lag løst lagret sandig silt/siltig sand og et lag leirig silt/siltig leire. Det er også påvist sprøbruddmateriale i punktene lengst unna land.

Stabilitetsberegninger er gjort for å vurdere stabiliteten av fyllingene. Udrenererte beregninger er mest kritiske, og viser at det bløte/løse laget må mudres under fyllingsfoten for å sikre stabilitet av fyllingen. Utførte beregninger viser god nok sikkerhet for kun sjøfyllingen (se Figur 7-2) iht. NVE hvis det mudres i ca. 75 meter bredde. For å ivareta sikkerheten i både sjøfyllingen og sjødeponiet, må det mudres i ca. 180 meter bredde. Det må i senere fase vurderes om et eventuelt brudd i sjødeponiet vil kunne initiere eller påvirke et brudd i sjøfyllingen.

Endelig omfang og metode for mudring må prosjekteres i senere fase. Det stilles ikke konkrete krav til utførelsen i denne rapporten, men beregningene dokumenterer behovet for mudring for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. Mudringen kan utføres på ulike måter, og må vurderes i detaljprosjekteringen.

På Lesto er grunnforholdene undersøkt i flere omganger. Massene der er fastere enn ved tunnelportalen, og tolket å stort sett bestå av sand. Stabilitetsberegninger viser at fyllingen på Lesto har tilfredsstillende stabilitet for prosjektert geometri uten å mudre. Tidligere rapport utarbeidet av Multiconsult beskriver behov for mudring av bløte masser innerst i Lestovika. Dette gjelder fortsatt.

På grunn av at fyllmasser under vann ikke komprimeres, vil det kunne være setninger som utvikler seg i lang tid. Det anbefales å overvåke setningene, og å være oppmerksom på virkninger av disse ved utbygging.

Det vurderes at området er egnet for tiltaket som er planlagt.

Alle tiltak må detaljprosjekteres.

Referanser

- [1] Standard Norge, «NS-EN 1990-2002+A1:2005+NA2016, Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [2] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2025 Geoteknisk prosjektering del 1: Allmenne regler,» 2025.
- [3] Statens vegvesen, Vegnormal N200 Vegbygging, 2024.
- [4] Statens Vegvesen, «Geoteknikk i vegbygging, Håndbok V220,» 2025.
- [5] NVE , «Veileder 1/2019 - Sikkerhet mot kvikkleireskred,» 2020.
- [6] Multiconsult, «616193-RIG-RAP-002 Geotekniske grunnundersøkelser Moldefjorden,» 2016.
- [7] COWI, «A15-RAP-RIG-00002 Datarapport Sjøboringer Stad skipstunnel,» 2026.
- [8] Multiconsult, «10226405-13-RIG-NOT-001 Stad skipstunnel - Detaljregulering for Lesto,» 2023.
- [9] Dr. Techn. Olav Olsen, « 12944-17-OO-N-001 Stad Skipstunnel – Vurdering av kvikkleireskredfare,» 2020.