

Oppdragsgiver
Narvik Havn KF

Dokument type
Åpen rapport

Dato
April 2024

NARVIKTERMINALEN OMRÅDEREGULERING STRATEGI FOR UTFYLLING



NARVIKTERMINALEN OMRÅDEREGULERING STRATEGI FOR UTFYLLING

Oppdragsnavn **Narvikterminalen områdereguleringsplan Strategi for utfylling.**
Prosjekt nr. **1350046864**
Mottaker **Narvik Havn KF**
Dokument type **Åpen rapport**
Versjon **02**
Dato **03.12.2024**
Utført av **Terje Norddal, Rambøll Norge AS**
Kontrollert av **Maj-Gøril Bæverfjord, Dr. techn. Olav Olsen AS**
Godkjent av **Terje Norddal**

Forord

Narvik Havn har i samarbeid med Bane Nor utarbeidet en områdereguleringsplan for dagens havne- og terminalområde på og ved Fagerneset i Narvik. Nye areal for utvidelse av dagens jernbaneterminal og havneområde tilføres ved utfyllinger på begge sider av dagens bulketerminal ved Skarveneset og langs standa fra Fagerneskaia til Kleiva. Totalt fyllingsvolum er beregnet til over 2 millioner m³. Av hensyn til stabilitet og setninger må utfylling på store deler av området gjennomføres over mange år.

Foreliggende rapport har som hovedhensikt å beskrive en strategi for etappevis utfylling som kan tilpasses prioriterte behov og tilgangen på egne fyllmasser. Den vil også kunne være til hjelp ved mer detaljerte planlegging som må gjøres.

Rapporten er utarbeidet av Terje Norddal med bistand fra geoteknisk rådgivere May-Gøril Bæverfjord hos Dr. techn. Olav Olsen AS som har utarbeidet den geotekniske rapporten for områdeplanen. Grete Nyborg Rolandsen har, som oppdragsgivers representant, bidratt aktivt til å sikre at relativt kompliserte faglige sammenhenger også er formidlet på en best mulig måte.

Denne versjonen er definert som rapport og datert 3. april 2024. Den er et tidligere notat, men med tillegg av kapittel 3 Forurensing i fyllmasser. Dette ble et ønskelig supplement som del av vedlegget til søknad om utfylling.

Trondheim 3. april 2024

Terje Norddal

Forsidebildet viser stranda fra Kleiva mot Fagerneskaia

Innholdsfortegnelse

1.	Behovet for utfyllingsstrategi	4
2.	Aktuelle fyllmasser og kostnader	5
3.	Forurensning i fyllmasser	6
4.	Transport- og laste/lossemåter	7
5.	Geoteknisk vurdering per profil.	11
6.	Planlegge utfylling	13
6.1	Konsolidering av fylling og undergrunn	13
6.2	Dårlige fyllmasser	13
6.3	Transport og utlegging av fyllmasser	13
6.4	Fjerne bløte masser	14
6.5	Fyllingsgeometri og tidsplan	14
6.6	Rekkefølge fyllingsarbeider	14
6.7	Plastring	14
6.8	Bruk av arealene – mulige laster	15
7.	Etappevis utfyllingsgeometri	16
7.1	Optimal lagdeling	16
7.2	Utfylling Skarveneset (Bulkterminalen)	17
7.3	Utfylling Skarveneset vest.	17
7.4	Utfylling Skarveneset aust.	18
7.5	Utfylling roro-kaia (Kleiva sør)	19
8.	Fyllingsvolum og tidsperspektiv	22
8.1	Fyllingsvolum og enhetskostnader	22
8.2	Tidsperspektiv for ferdig utfylling	23
8.3	Utfylling – anbefalt rekkefølge.	24
8.4	Illustrasjon av utfyllingsetapper roro-kai	24
9.	Andre byggemåter enn fylling.	29
9.1	Bakgrunn for behov	29
9.2	Gjennomsnittlige og marginale fyllekostnader	29
9.3	Forbelastning av fylling	30
9.4	Dimensjonerende laster ved peling	30
9.5	Kostnader for peling	31
9.6	Spuntvegg i fyllingsfronten	32
9.7	Sammenlikning fylling/peling, bygging ved stranda.	32
9.8	Sammenlikning fylling/peling, hele terminalområdet.	33

1. Behovet for utfyllingsstrategi

Rambøll har utarbeidet en områdereguleringsplan på oppdrag for Narvik Havn, Bane Nor og Narvikgården. Det viktigste formålet med planen er å legge til rette for videre utvikling av havna kombinert med utvidet containerterminal for jernbanen i form av tre 750 meter lange spor nordover fra dagens veg mellom Fagernesveien og roro-kaia/Fagerneskaia. De planlagte tiltakene vil kreve betydelige utfyllinger langs om lag 1000 meter av strandlinja fra roro-kaia til Kleiva. I tillegg er det også vist utfyllingsområder på begge sider av Bulkkaia ved Skarveneset. Totalt utfylt volum vil være på 2,1 mill m³ når reguleringsplanen er realisert. Dette er fordelt med 1,6 mill m³ for området langs Fagernesstranda og 0,5 mill m³ samlet for begge sider av Skarveneset.

Utfyllinga skal i stor grad gjennomføres i områder der sjøbunnen ligger 19-23 meter lavere enn kote 0 (NN 2000). Det skal fylles til høyde 3-3,5 meter over kote 0. Det innebærer total fyllingshøyde på 22-27 meter i store deler av området.

Grunnforholdene er kartlagt relativt grundig. Det viser seg å være til dels tjukke lag med bløte løsmasser, leire og kvikkleire i deler av området. Det gir to åpenbare konsekvenser:

- Det vil være krevende å sikre stabilitet.
- Det kan bli betydelige setninger over lang tid.

De geotekniske beregningene viser at det er mulig å gjennomføre planlagt utfylling og samtidig opprettholde tilstrekkelig stabilitet for både fylling og de lastene som Narvik Havn oppgir at de ønsker at arealene dimensjoneres for. Dette forutsetter at det etableres motfyllinger utenfor normal fyllingsfront på storparten av fyllinga fra roro-kaia og nordover. Det vil i tillegg være behov for å legge ut fyllmassene lagvis over tid.

Steinfyllinger setter seg (komprimeres) relativt raskt. Den økte vekta på sjøbunnen medfører at massene under også vil sette seg (de blir komprimert). Også dette tar tid, særlig for tjukke lag av finkorning materiale med stort vassinnhold slik som leire (og kvikkleire). Dette er prosesser som kan ta mange år. Konsolideringstid på 2 år per lag er benyttet ved stabilitets- og setningsberegninger. Beregningene er basert på konservative forutsetninger, så det er grunn til å anta at i alle fall enkelte lag med fylling kan legges ut raskere enn det som er beregnet. Dette må dokumenteres med målinger av poretrykk og dokumentasjon av oppnådd konsolidering etter hvert.

Det er behov for store mengder fyllmasse med riktige egenskaper for å fylle ut hele det planlagte området. Men selv med rikelig tilgang på masser vil det likevel kunne ta mange år fra man starter å fylle til det er etablert utfylte areal som kan benyttes til planlagte formål. I mellomtida vil utfyllinga ha liten verdi unntatt som deponi for masser som må fjernes fra andre steder.

Narvik Havn ønsker en vurdering av hvilken strategi for utfylling som kan være mest hensiktsmessig med tanke på å legge til rette for en langsiktig utvikling av hele området kombinert med at man raskest mulig får realisert ett eller flere prioriterte områder. Området ved roro-kaia og Skarveneset er angitt som de viktigste områdene på kort sikt. Det er også et ønske om å legge til rette for et område der det fylles med tilgjengelige masser med lavere kvalitet bak en sjete.

2. Aktuelle fyllmasser og kostnader

For fylling som raskt skal oppnå god kvalitet, er det bare aktuelt å benytte friksjonsmasser, det vil si (grov) sand, grus eller sprengstein. Masser fra tunnelsprenging er typisk aktuelle masser, men også masser fra sprenging i dagen. Den siste typen kan inneholde stor stein som ikke kan benyttes der det seinere er aktuelt å pele gjennom fyllinga. Organisk materiale (torv etc) kan ikke benyttes. Finsand, silt og leire kan i prinsippet benyttes der visse krav kan tilfredsstilles. Dette må konkret vurderes av geoteknisk sakkyndig.

I foreløpige kalkyler er det lagt til grunn at aktuelle fyllmasser kan ha entreprisekostnad på 150-300 kroner per m³ utlagt fylling. Følgende priser kan indikere kostnader per m³ fyllmasse når det er snakk om store volum:

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| • Sprenging av fjell | 40 - 80 kroner |
| • Opplasting og transport | 80 - 130 kroner |
| • Utlegging i sjø | 50 - 100 kroner |

Små volum vil normalt ha til dels betydelig høyere kostnader.

Dette er priser som er hentet fra ulike steder og kilder. De bør kontrolleres lokalt for å oppnå sikrere estimat. Posten for opplasting og transport er basert på lastebiltransport kortere enn 10 km. Store volum båttransport over lengre avstander kan kanskje komme ned mot samme tallstørrelser. Tallene referer til ca 2021-prisnivå. Relevante indekser for sprenging, opplasting og transport kan benyttes for å korrigere til aktuelt prisnivå. SSB-indeks for veganlegg har god relevans.

Stein fra tunneler er en ønskelig og aktuell massetype. Ved ganske vanlige tunnelprosjekt blir det gjerne flere 100 000 m³ overskuddsmasse. Andre byggearbeider kan også gi overskuddsmasser, men ved vanlige planeringsarbeider vil de fleste søke å oppnå lokal massebalanse. Ved bygging av hus i byer og tettsteder er det likevel typisk at det blir overskuddsmasser, men sjelden mer enn noen tusen m³ per prosjekt. Kostnader på omkring 150 kroner per m³ fyllmasse krever at massene i utgangspunktet er et problem for den som eier massene.

I Narvikområdet antas det å være liten tilgang på aktuelle gravemasser av ønskelig kvalitet (grus, grov sand). Uten tilgjengelige overskuddsmasser, vil derfor lokal fjellsprenging være den sikreste ressursen å utnytte. Det vil koste 200-300 kroner per m³, eller mer ved lange transportavstander med bil.

3. Forurensning i fyllmasser

De mest aktuelle fyllmassene antas å være sprengstein fra bygge- og anleggsvirksomhet på land, særlig tunnelbygging som ofte gir store mengder overskuddsmasse. Alle slike massetyper kan inneholde finpartikler. Sprengte steinmasser kan i tillegg være forurenset med nitrogenforbindelser, plast og armeringsplast i sprøytebetong brukt ved sikring av tunnelvegger. Plast som flyter opp kan komme fra foringsrør, rørladninger og tennsystemene.

Mengde plast vil være avhengig av mange forhold. Det er viktigst å skille mellom tunnelsprengt stein og dagbrudd. Mengde plast fra foringsrør og rørladninger vil i tillegg være avhengig av egenskaper ved fjellet m m. Tall som variere fra null til 0,6 gram per m³ tunnelmasse er målt i den ene undersøkelsen vi har funnet om temaet (ref 4). Det er imidlertid plast fra tennesystemet som har vært sett på som det største problemet.

Det har siden 70-tallet vært vanlig å benyttes såkalte nonel-tennere ved all fjellsprenging. Nonel-tennere er enkelt fortalt en tynn plastslange som inneholder et reaktivt materiale der en antent sjokkbølge forplanter seg og antenner sprengstoffet. Sjokkbølga kan skapes av detonerende lunte som antenner bunter av slanger. Mesteparten av plastslangen i borehullet vil brenne opp i eksplosjonen, men det er likevel mye utenfor som vil følge massene. Ved tunnelsprenging kan dette være omkring 1 meter plastslange per m³ fast fjell, men langt mindre fra sprenging i dagen. Våre beregninger basert på data fra ref. 2 og 4 viser 2,4 gram plast per m³ ferdig fylling når tunnelmasse benyttes. Mye blir låst fast i fyllinga, men en ikke ubetydelig andel vil flyte opp. Vi har ikke funnet sikre data på hvor stor andel dette kan være. 80/20-regelen kan kanskje benyttes, altså at 20 % flyter opp. Det blir i så fall 0,5 gram per m³ fylling.

Elektronisk tenning er et alternativ der en tynn plastisolert ledning benyttes som forbindelse til tenneren i sprengstoffet. Dette gir nesten like stor ledningslengde som ved nonel-tenning, men med plast som brenner opp eller stort sett synker til bunns samme med steinen. Dette tennersystemet er regnet som dyrere per ladepunkt siden forsøk har vist at ladetida typisk øker med 25 % ifølge rapporten «Elektroniske tenner i tunnel» fra Norsk forening for fjellsprengningsteknikk. Plastmengden i tennersystemet er i utgangspunktet bare omkring halvparten av den for nonel-tenning. Ved fylling i sjø er det gjort undersøkelse som viser at bare 1-3 % av plasten i ledningene flyter opp (ref. 4). Det utgjør i så fall 0,07 gram per m³ fylling.

Siden elektronisk tenning er et relativt nytt produkt som mange mener gir (betydelig) økte kostnader ved tunneldriving, er det grunn til å regne med at Narvik havn vil måtte akseptere masser som er sprengt med nonel-tenner. Det vil være fornuftig å samle den plasten som flyter opp. Ved bruk av effektive lenser omkring tippområdet, vil det være mulig å samle plast som raskt flyter opp. Men ved fylling fra lekter eller skip er dette lite egnet. Da må andre løsninger vurderes. Det bør periodevis uansett ryddes og renskes i nærliggende strandområder.

For mer langsiktig å unngå spredning av plast fra fyllinga, kan det være en god løsning å avslutte fyllingsfronten på en slik måte at vannstrømmen gjennom fyllinga blir minimal. Da antas det at man i betydelig grad også kan fjerne spredningen av mikroplast. Se M-1085, 2018 fra Miljødirektoratet.

Bakerst i rapporten finnes oversikt over de referansene som er benyttet som grunnlag for dette kapitlet.

4. Transport- og laste/lossemåter

Det kan være aktuelt å frakte fyllmassene til Narvik Havn med lastebil, lekter eller skip. Stedet der massene hentes fra vil ofte bestemme transportmåten. Kortreiste masser fra Narvik lokalt vil alltid bli fraktet med lastebil. Men med økt transportavstand blir lastebil dyr transport. For grove anslag kan man beregne en kostnad på 1 krone per tonn og km ekstra transport. For transport med lekter eller skip kan man få betydelig lavere km-kostnad per tonn, særlig i situasjon der massene kan eller skal fylles direkte i sjø. Men da kreves det kort transportveg til kai. Det må også finnes eller etableres lager- og lasteløsning med tilstrekkelig kapasitet for aktuell lekter- eller skipsstørrelse. Erfaring viser at lektertransport kan være det mest lønnsomme ved store volum avstander på omkring 20 km eller mer.



Figur 1 Steintransport med 60 tonn totalvekt. Entreprenør Stangeland

Figur 1 viser den største typen kjøretøy som er tillatt for massetransport på veg. Det er såkalt modulvogntog der totalvekt er 60 tonn mot 50 tonn for ordinære vogntog. Da øker nyttelasta fra ca 30 til ca 38 tonn. Det bør redusere kostnaden per tonn med omkring 10-20 %.

For masser som hentes fra sjønært sted er det ofte gunstigst å bruke lekter, selv på relativt korte avstander. Dette skyldes delvis at store deler av de første utfyllingsetappene uansett må fraktes med lekter fra land til dumpstedet. Men det kan uansett lønne seg med lektertransport selv over korte avstander. Skip kan også være aktuelt for store volum over lengre avstander.

Lektere finnes i mange størrelser og utførelser. For massetransport er det splittlektere og faltlektere som er de mest vanlige i Norge. Typisk lastekapasitet er 200 – 2000 tonn. Men tørrbulklektere eller bulkskip kan også være aktuelle. Det finnes selvlossende bulkskip med lastekapasitet på over 25 000 tonn.



Figur 2 Splittlekter med lastkapasitet 200 tonn: Kragerø sjøtjeneste.

Figur 2 viser splittlekter med lastekapasitet på 200 tonn. De finnes også i noe større utgaver, opp mot 2000 tonn.



Figur 3 Tørrbulklekter på kanal i Europa

Figur 3 viser tørrbulklekter på kanal i Europa der denne typen transport i lang tid har vært vanligere enn i Norge. I dag vurderes flatlekter ofte som en mer effektive.



Figur 4 85 meter lang flatlekter. Johs Syltern.

Flatlekter kan lastes fra kai eller direkte med lastebil som tipper massene på dekket. Splittlekter, tørrbulklekter og bulkskip lastes ved kai eller med et enkelt fortøyningsarrangement. Massene kan tippes direkte fra lastebil eller man benytter silo og transportbånd. Ved store volum over lang tid er det siste å foretrekke.

Gravemaskin brukes ved lossing av flatlektere og bulklektere. Splittlekter losses ved at den splittes i to. Selvlossende bulkskip kan losses gjennom rør som føres til utleggingsstedet, relativt uavhengig av dybde. Ordinære bulkskip losses med gravemaskin eller kran og grabb.

Det er per i dag ikke mulig å si hvilken transportmåte og laste- og lossemåte som er å foretrekke. Men det er naturlig å tenke på splittlekter eller liten flatlekter for relativt små volum som kommer lokalt til noe tilfeldige tidspunkt. Da bør det være mulig å tippe fra lastebil direkte på/i lekteren. Den benyttes også som lager til den er full og taues til tipp-punktet med lokal taubåt som også har andre oppgaver. For lekteren vil det påløpe en leie- eller kapitalkostnad, men den kan være relativt beskjeden.

Det bør anlegges et permanent fortøyningssted der det er enkel tilkomst og tippemulighet for lastebil. Om en splittlekter med plass til 300 tonn fylles opp en gang per dag 200 dager per år, blir det ca 200 m³ fylling daglig eller 40 000 m³ årlig. Dette er vel større mengde masse enn det man kan forvente å få av tilfeldige masser lokalt.

Om man etablerer eget massetak med kontinuerlig drift, kan det være mest økonomisk å kunne ha kontinuerlig sysselsetting for en taubåt, eventuelt bemannet på skift. Da kan årlig fyllingsvolum mangedobles.

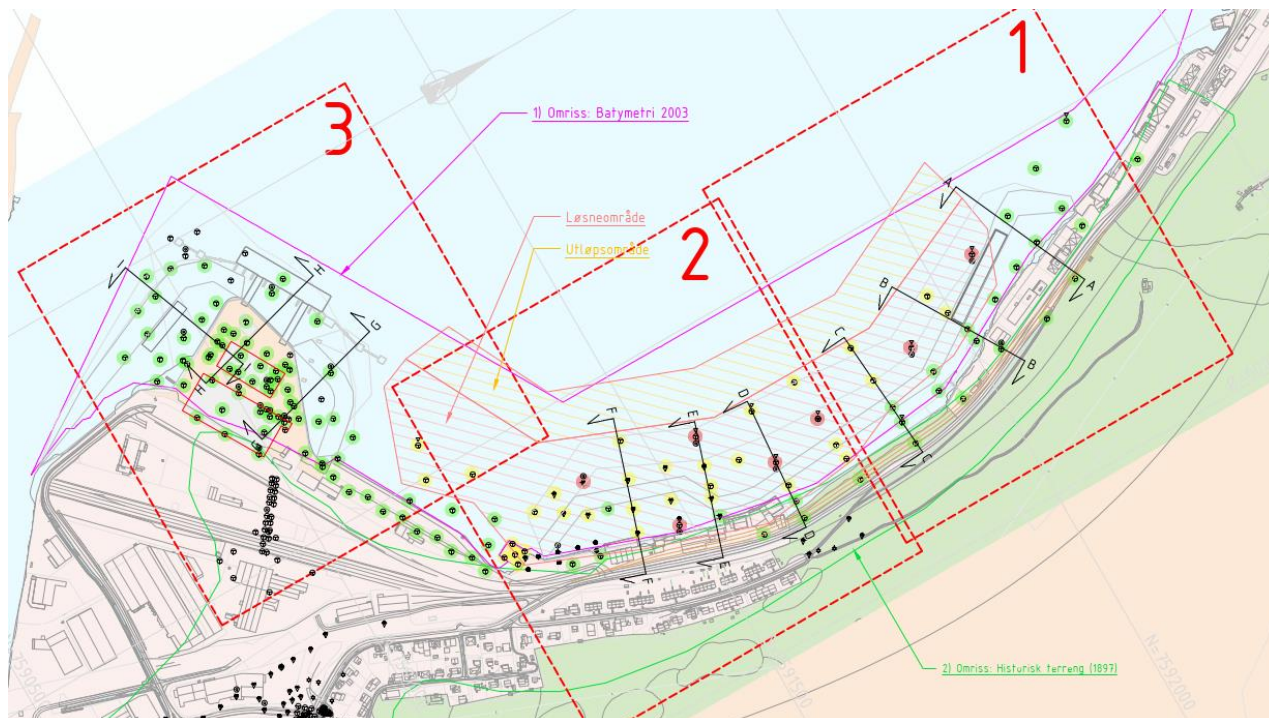
Driving av tunnel er typisk situasjon som gir overskuddsmasser. Ved tunneldrift der det lastes ut to salver per dag i hver ende, kan det daglig blir produsert ca 2000 m³ fyllmasse. Ved lokalt plassert kai, kan dette volumet håndteres av 2 splittlektere og en taubåt. Ved lang transportavstand kan det trenge

flere lektere, kanskje også flere taubåter. Tauefarten er 2-3 knop som kan avrundes til 5 km/time. Er avstanden 10 km blir rundturtida 4 timer+. Med to skift per dag gir det maksimalt 4 turer per taubåt, eller 800 m³ fylling fraktet daglig. Med større daglig volum eller større avstand, bør det vurderes lekter med større lastekapasitet.

Det kan være lønnsomt å legge til rette et relativt enkelt og billig fast opplegg for lokale tilfeldige masser som gjerne blir transportert gratis til et lager på land eller en fast stasjonert lekter. For store volum over kort eller lang tid må det lages en plan som optimaliserer løsningen innen de rammene som da vil gjelde.

5. Geoteknisk vurdering per profil.

Det er gjort beregninger av stabilitet og overslag av setninger i 9 profil på tvers av planlagte utfyllinger i området fra Bulkkaia til Kleiva. Figur 5 viser plassering av profilene fordelt på tre grupper. Gruppe 1 med profilene A-C er fra Kleiva og sørover. Gruppe 2 med profilene D-F er vest for Fagernesskrenten og gruppe 3 med profilene G-I er ved Bulkkaia/Skarveneset.



Figur 5 Kart som viser borepunkt og geotekniske beregningsprofil.

Vi gir en kort beskrivelse per profil fra profil A i nord og mot sør.

Kleiva nord, profil A

Tynt sandlag og bløte masser over morene. Et tynt leirlag ved fyllingsfoten. Det er i utgangspunktet ikke behov for motfylling i dette profilet, men med tanke på jevn oppbygging av motfylling i profil B, er det likevel skissert en liten motfylling.

Kleiva nord, profil B

Fyllingsfoten blir liggende over ca 2,5 meter bløte masser og et ca 4 meter tjukt lag av kvikkleire over tynt sandlag og morene. Det er behov for motfylling. Det kan vurderes å fjerne de bløte massene på toppen med grabbing eller mudring. Mudring er trolig mulig, og kan da være billigst. Beregningene som er lagt til grunn i den geotekniske vurderingen for reguleringsplan er basert på lagvis utlegging av motfylling med horisontal topp og inntil 5 meter tjukkelse per lag. Det kan være mulig å legge ut tjukkere lag, men dette må konkret beregnes.

Kleiva nord, profil C

Tilsvarende vurdering som for profil B.

Kleiva sør, profil D

Fyllingsfoten blir liggende over ca 3,5 meter bløte masser og et ca 9 meter tjukt lag av kvikkleire over tynt sandlag og morene. Det er behov for motfylling. Det kan vurderes å fjerne de bløte massene på toppen med grabbing eller mudring. Mudring er trolig mulig, og er da billigst. Beregningene som er lagt til grunn i den geotekniske vurderingen for reguleringsplan er basert på lagvis utlegging av motfylling med horisontal topp og inntil 5 meter tjukkelse per lag. Det kan være mulig å legge ut tykkere lag, men dette må konkret beregnes.

Kleiva sør, profil E

Fyllingsfoten blir liggende over ca 3,5 meter bløte masser og et ca 4 meter tjukt lag av kvikkleire over tynt sandlag og morene. Det er behov for motfylling. Det kan vurderes å fjerne de bløte massene på toppen med grabbing eller mudring. Mudring er trolig mulig, og er da billigst. Beregningene som er lagt til grunn i den geotekniske vurderingen for reguleringsplan er basert på lagvis utlegging av motfylling med horisontal topp og inntil 5 meter tjukkelse. Det er neppe mulig å legge ut tykkere lag.

Kleiva sør, profil F

Fyllingsfoten blir liggende over ca 3 meter bløte masser og et ca 3 meter tjukt lag av kvikkleire over tynt sandlag og morene. Det er behov for motfylling. Det bør vurderes å fjerne de bløte massene på toppen med grabbing eller mudring. Mudring er trolig mulig, og er da billigst. Beregningene som er lagt til grunn i den geotekniske vurderingen for reguleringsplan er basert på lagvis utlegging av motfylling med horisontal topp og inntil 5 meter tjukkelse per lag. Det kan være mulig å legge ut tykkere lag, men dette må konkret beregnes.

Skarveneset, profil G

Fyllingsfoten blir liggende over ca 7 meter fyllingsmateriale, 2,5 meter bløte masser, et ca 7 meter tjukt lag løst lagra leire og 3 meter sand over morene. Det er behov for lita motfylling. Det er kanskje mulig å fylle helt til topps etter at motfyllinga er lagt ut og konsolidert.

Skarveneset, profil H

Det er ikke behov for fylling i dette profilet. Nåværende fylling er lagt ut med tjukkelse på nær 28 meter og en inntil 8 meter høy motfylling med bredde på over 60 meter utenfor fyllingsfot.

Skarveneset, profil I

Fyllingsfoten blir liggende over ca 2 meter bløte masser, ca 16 meter tjukt lag sand og morene. Det er mulig å fylle fra land. Det er ikke behov for motfylling.

6. Planlegge utfylling

Hensikten med en utfylling er normalt være å legge til rette for aktuell bruk på miljømessig akseptabel måte, til aktuelt tidspunkt og med lavest mulig kostnad. En god utfyllingsplan må kunne kombinere mange variable på en god måte. Vi har god kunnskap om grunnforholdene, men mange andre variabler som gjelder framtidige behov og muligheter, er foreløpig ukjente. Noen viktige element kan derfor bare kommenteres.

6.1 Konsolidering av fylling og undergrunn

Konsolidere er et ord som benyttes i mange sammenhenger. Ved utfylling på leire og annen bløt grunn er det et viktig begrep som brukes hyppig i dette notatet. Det trenger derfor en forklaring tilpasset aktuell geoteknisk problemstilling.

Ordet konsolidere betyr å styrke, gjøre solid, forene eller slå sammen. Når vi snakker om å konsolidere jord, for. eks. leire, så er det en prosess der jord blir sterkere og får evne til å bære tyngre laster. Det skjer en omgruppering av partiklene/korna/steinene slik at de legges tettere og luft og/eller vann presses ut. Dermed skjer det også en komprimering.

Komprimering av jord benyttes normalt som begrep når jordpartiklene pakkes tettere sammen ved mekaniske midler, dvs. dynamisk belastning som rulling, tramping, vibrasjon eller på andre måter. Da reduseres luftrommet, men det er liten eller ingen reduksjon i vanninnholdet. Konsolidering brukes om prosessen når jordpartikler pakkes tettere sammen over en tidsperiode som følge av påført trykk, dvs. statisk belastning. Da er det hovedsakelig vann som dreneres ut fra porene i jorda. Konsolidering skjer raskt i sand og grus, men tar lang tid i saltvannssavsatt leire, som er et finkornig materiale med relativt høyt vassinnhold og dårlig (lav) permeabilitet. Konsolidering av tynne lag med leire kan ta mange år.

Når jord konsolideres og komprimeres blir den sterkere og tåler dermed større laster. En fylling som er lagt ut vil over tid sørge for større styrke på undergrunnen slik at det tåles et nytt lag med fylling. Setninger er begrepet som brukes om den langsomme komprimeringen (volumreduksjonen) som skjer ved konsolidering. Små og jevne setninger (noen cm) er sjelden et problem. Men differensialsetninger kan være problematiske, noe avhengig av brukskravene.

En motfylling bidrar også til at undergrunnen over tid blir sterkere. Den primære funksjonen er å virke som motvekt til en nærliggende fylling. Om det skal lages høye fyllinger på dårlig grunn, kan det i prinsippet lages terrasser av motfyllinger så langt som nødvendig for å sikre tilstrekkelig stabilitet.

6.2 Dårlige fyllmasser

Til fylling forutsettes benyttet egnede masser som sprengstein eller grove graderte mineralske masser (sand, grus, stein). Kfr. kapittel 2.

Finsand, slit, leire og blanding av slike masser kan også benyttes, men da oppstår gjerne to utfordringer:

- Massen bør fylles i et lukket basseng, i praksis ved at det bygges en sjete eller molo av sprengstein som omslutter fyllingsområdet.
- Det kan ta lang tid å fullføre setningene i områder som får tynne lag av slike masser.

6.3 Transport og utlegging av fyllmasser

Metode for transport med tilhørende metoder for opplasting og utlegging er en stor del av totale utfyllingskostnader. Transportavstander og mengde per lass blir viktige premisser for kostnader. Ved

korte avstander er biltransport normalt billigst. Ved avstander på 20-30 km eller mer er lekter- eller båttransport ofte det beste, om det er en tilgjengelig mulighet. Se kapittel 4.

6.4 Fjerne bløte masser

Sjøbunnen i området er generelt dekket med et minst 2-3,5 meter tjukt lag bløte masser. Hvordan dette skal håndteres, må vurderes i senere fase. Det enkleste er å fylle over de bløte massene. Det vil være mulig samtidig som stabilitet opprettholdes.

De bløte massene utgjør en betydelig del av setningspotensialet. Om man trenger å oppnå tilnærmet setningsfri tomt relativt hurtig, bør det vurderes å fjerne disse. Dette antas å være mulig med mudring, men dette må undersøkes nærmere. Å fjerne de bløte massene vil koste en del, og det vil medføre en utfordring med tanke på deponering.

6.5 Fyllingsgeometri og tidsplan

En utfyllingsstrategi som baserer seg på premissene i geoteknisk rapport kan sannsynligvis gjennomføres uten nye beregninger, men det må påregnes at stabiliteten kontrolleres med beregninger i en detaljfase. I geoteknisk rapport for reguleringsplan er inntil 5 meter tykke lag med horisontale topp per utfyllingsfase lagt til grunn. Om geometri, tidsforløp eller andre premisser endres, vil det bli behov for nye beregninger. I noen tilfeller er beregnet sikkerhetsfaktor høyere enn kravene, som er faktor på 1,61 når det er påvist kvikkleire og ellers 1,4. I slike tilfeller er det potensial for geometri med tykkere lag og/eller kortere tidsløp. Andre løsninger enn de som er beregnet, må konkret vurderes av geoteknisk sakkyndig.

Lang tid på å gjennomføre utfylling har betydning både med tanke på stabilitet og setninger. Der det skal anlegges konstruksjoner på fyllinga, vil det være krav til maksimale etterfølgende setninger. Setninger kan beregnes på forhånd, men med begrensninger i presisjon. Det gjøres gjerne konservative beregninger. Uansett må setningsforløpet på ferdig fylling måles og følges opp. Det gir et sikrere informasjonsgrunnlag, og vil ofte gi et gunstigere resultat enn beregnet. I de tilfellene hvor setninger er raskere enn beregnet, vil også stabiliteten bli bedret tilsvarende.

6.6 Rekkefølge fyllingsarbeider

Der det trengs motfylling, må disse i henhold til beregningsgrunnlaget anlegges først med maksimal høyde på 5 meter. Første del av ordinær fylling anlegges fortløpende til samme høyde. Utfylling vil skje så langt fra land at lekter/skip må benyttes. Deretter fylles øvrige lag på samme måte opp til profilert nivå. Det vil ofte eller oftest være hensiktsmessig å benytte lekter. Masser som kommer med lastebil, kan også tippes eller losses fra flytebrygge eller planlekter som forhales. Med lekter er det mulig å fylle opp mot kote 0 (NN2000). Det siste laget på ca 5 meter er enklest å fylle med bil fra land, og med komprimering.

Der det ikke trengs motfylling, eller der motfylling bare trengs med tanke på ytterste delene av fyllinga, kan masser tippes fra land. Det må benyttes gravemaskin med tilstrekkelig lang arm for løpende å sikre forsvarlig fyllingsfront. Dette kan være mulig for utfyllinga på begge sider av Skarveneset.

6.7 Plastring

Fyllingsfrontene må erosjonssikres med plastring etter behov. Bølgepåkjenning og vannstrømmer fra skipspropeller dimensjonerer kravene til plastring. Islast er neppe en aktuell problemstilling.

6.8 Bruk av arealene – mulige laster

Beregninger av stabilitet og setninger er basert på gitte brukslaster. For sporområdene er jernbanens krav benyttet. For storparten av øvrige areal er 20 kPa (2 tonn per m²) benyttet i beregningene. Dette gjelder helt til kanten av fylling mot sjø. Vanlige variable laster (typiske transportlaster med lastebil/semitrailer) og enkle lette bygg er ivare tatt av denne brukslasta.

Når hele området er ferdig utfyllt, vil arealene som ligger et stykke bak fyllingsfronten tåle større laster. Det vil være mulig å bruke reach-stackere som kan ha aksellaster på 80-100 tonn. Dette vil stille strengere krav til overbygningen enn for vanlig veg, men uten at stabilitet for fyllinga trenger være begrensende. Vi antar dette vil gjelde hele området som ligger innenfor regulert grøntbelte og veg med bredde på 20 meter langs fyllingsfronten. Dette må imidlertid kontrolleres nærmere.

Store permanente brukslaster vil gi setninger, og kan påvirke forutsetningene for stabilitet. Slike laster må vurderes særskilt. Dersom store bygg ønskes plassert nær fyllingsfront, kan dette håndteres ved pelefundamentering gjennom fyllinga. Det innebærer krav til maksimal steinstørrelse. Man bør unngå steinblokker i områder der slik peling kan være aktuelt. Sprengstein fra tunneler fungerer bra.

Hvis det på ferdig konsolidert fylling legges ut en last tilsvarende 2 tonn/m², kan man muligens fundamentere setningsfølsomme bygg nær fyllingsfronten uten peling. Slik forbelastning må ligge i anslagsvis 1-3 år, og setningsforløpet må kontrolleres.

Deler av Bulkkaia er beregnet for 400 kPa (40 tonn/m²). Dette er tilpasset kravene til lagring av malm. Der er det gode grunnforhold med friksjonsmasser som tåler store laster.

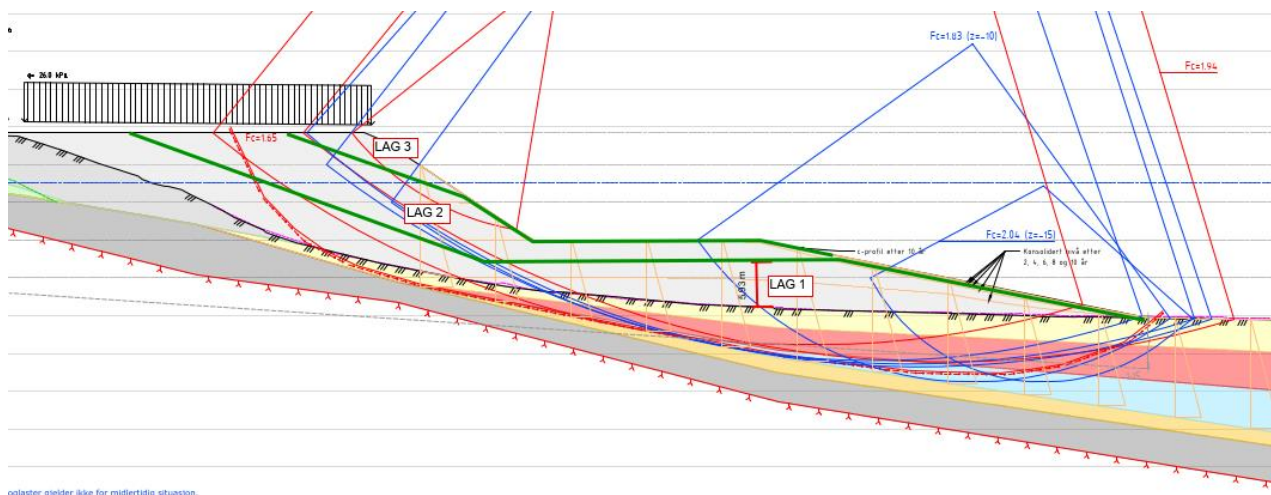
7. Etappevis utfyllingsgeometri

7.1 Optimal lagdeling

De geotekniske beregningene av stabilitet, setninger og setningstider for profilene A-I er basert på fylling som legges ut som 5 meter tjukke lag med horisontal topp og 2 års konsolideringstid mellom hvert lag. For storparten av området gir det 4 lag, og på steder med dybder større enn ca 20 meter, blir det 5 lag. Samlet konsolideringstid for 5 lag blir 10 år. I tillegg tar det tid å legge ut hvert lag. Dermed vil tidsperspektivet bli mer enn 10 år før mesteparten av det oppfylte området kan benyttes.

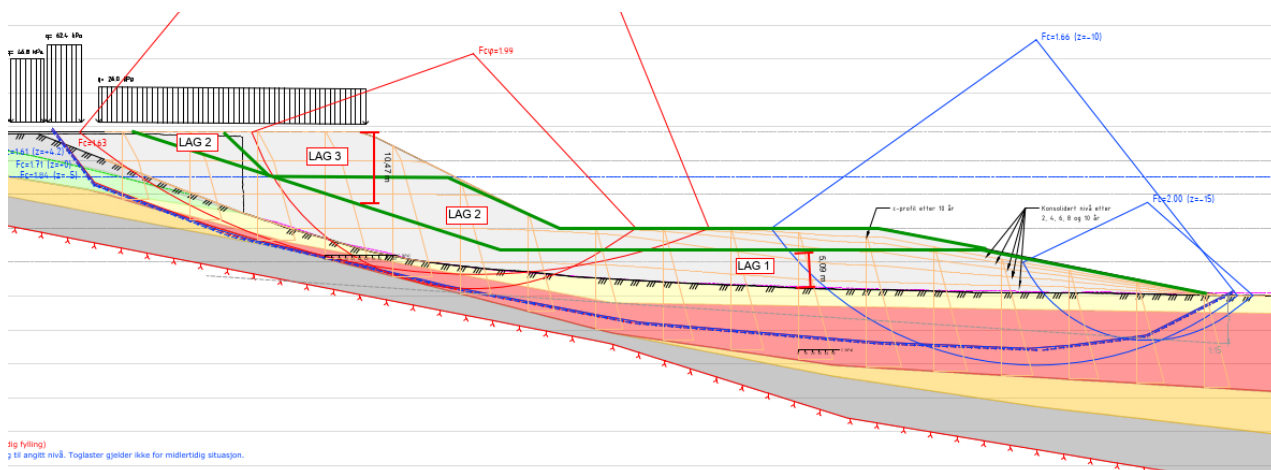
For å kunne ta i bruk deler av fyllinga tidligere, kan det være en aktuell løsning å fylle ut med fem meter tykke lag som følger terrenget. Beregningene tyder på at dette er mulig, i alle fall de fleste steder. Dette må likevel kontrolleres av geoteknisk sakkyndig, eventuelt med nye beregninger.

I området for Kleiva nord, profil A-C, kan det være realistisk å fylle ut storparten i to etapper. Omkring profilene B og C kan det være behov for å måtte vente på et tredje lag. Se illustrasjon i Figur 6. Store deler av grunnen under fyllinga kan være konsolidert etter 4 år, og hele området etter 6-8 år.



Figur 6 Profil C. Lagvis fylling avgrenset med grønn strek

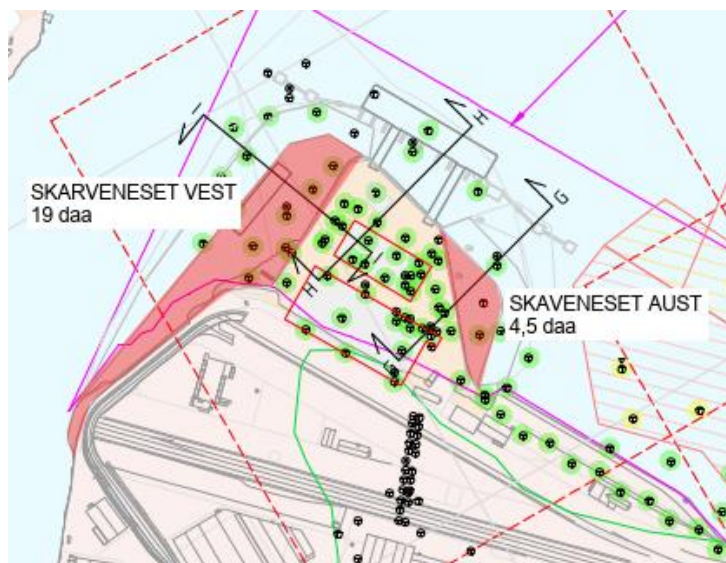
For området Kleiva sør med roro-kaia, profil D-F, er lagvis utlegging som følger terrenget illustrert i Figur 7. Da kan det være mulig å ta i bruk halvparten av fyllinga etter 4 år eller tidligere om det viser seg at beregningsparameterne lagt til grunn i vurderingen for reguleringsplan er konservative. Også her kan eventuelt hele området være konsolidert etter 6-8 år.



Figur 7 Profil E. Lagvis utfylling vist med grønn strek

7.2 Utfylling Skarveneset (Bulkterminalen)

Det er i prinsippet planlagt utfylling ved tre sider av Skarveneset, mot Fagernesstraumen i vest, mot Bulkkaia i nord og mot Fagerneskaia i aust. Den fyllinga som er planlagt mot nord er i praksis en opprydding av dagens fyllingskråning som kan gjøres uten store inngrep. Det er utfylling mot vest og aust som tilfører nytt areal, og som belaster grunnen på slik måte at det trengs etappevis gjennomføring. Figur 8 viser de to aktuelle områdene markert med rød skravur. Profil I-I benyttes for å beskrive utfyllinga Skarveneset vest og profil G-G benyttes for Skarveneset aust.



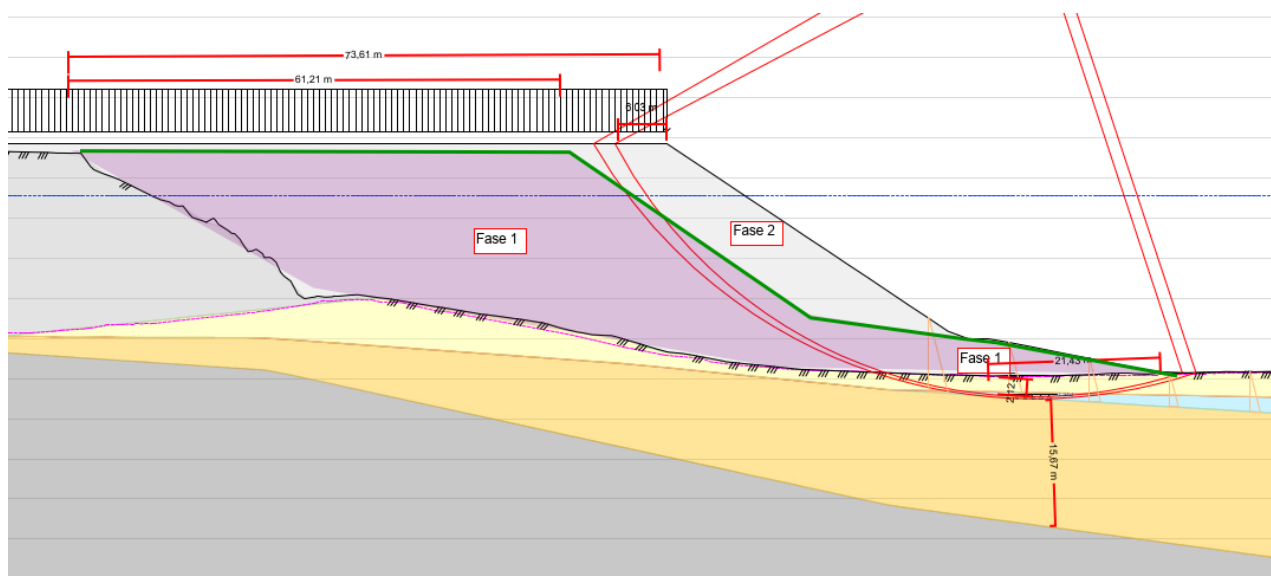
Figur 8 Utfylling og profil ved Skarveneset.

7.3 Utfylling Skarveneset vest.

Ved utfylling på vestsida av neset der det er foreslått regulert et planert nytt areal på ca 18 daa. Dette er et område med relativt gode grunnforhold. Det innebærer at det kan fylles ganske langt ut fra land uten å legge ut planlagt motfylling. Den må legges ut før siste ca 15 meter fylles. Motfyllinga må legges ut før angitt fase 2, men kan helst legges ut tidligere. Da kan fase 1 og 2 gjennomføres samtidig. Motfyllingsvolumet blir ca 50 000 m³. Totalt volum på planlagt utfylling blir ca 400 000 m³.

I første omgang er det være riktig å fylle opp til ca kote 0. Om masse fraktes med skip/lekter kan dette nivået tilpasses dypgangen. Motfyllinga bør uansett legges ut fra lekter/skip. Men siden motfyllinga utgjør et relativt lite volum, kan storparten av fyllinga anlegges fra land om ønskelig. Over ca kote 0 bør fyllinga legges ut lagvis og komprimeres med fall-lodd eller på annen hensiktsmessig måte

Figur 9 viser hovedfasene for utfyllinga. Det er ikke behov for å fjerne de øverste bløte massene.



Figur 9 Utfyllingsfaser Skarveneset vest. Profil I-I.

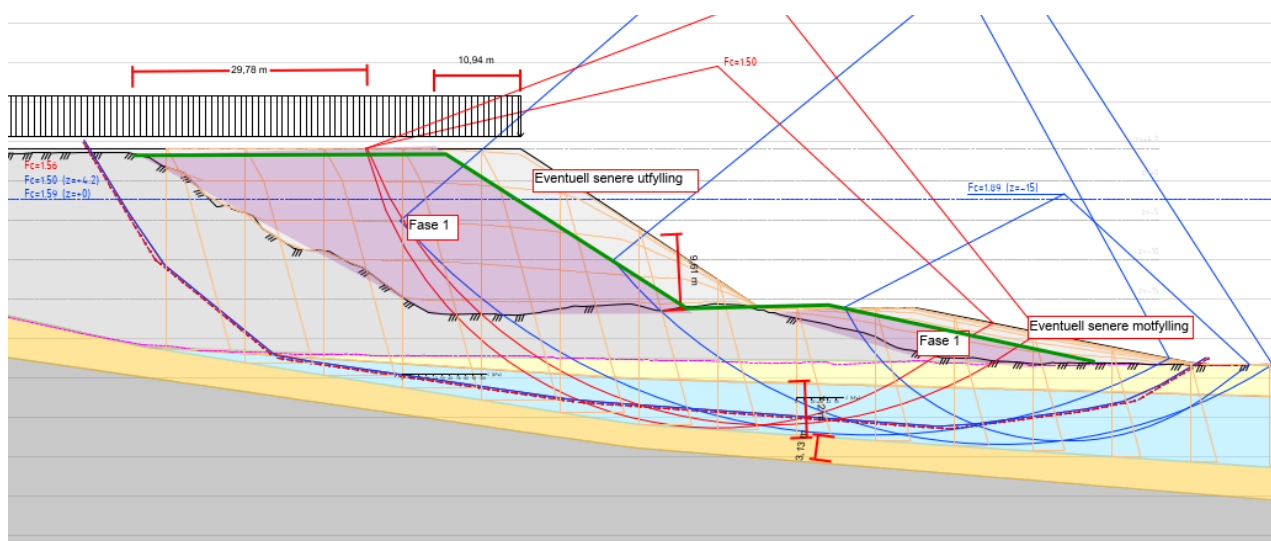
Det er i prinsippet mulig å starte med å anlegge motfylling og en molo/sjete langs planlagt fyllingsfront. Da vil det mellom land og moloen bli et tilgjengelig volum for utfylling med dårlige mineralske masser. Dette volumet er anslått til over 100 000 m³. Dette vil ofte være masser som vil kreve setningstid. Med lagvis utlegging av tette og drenerende masser, kan setningstida reduseres. Men dette vil også øke kostnaden med utlegging. Hva som er riktig å gjøre, er helt avhengig av tidsperspektiv for å ta i bruk området, tilgang på og kostnad for tilgjengelige masser mm.

Om hele fyllinga etableres med grove masser med komprimering over kote 0, vil storparten av setningene være fullført i løpet av den tida det tar å fylle ut. Setningsforløpet bør måles for å kontrollere når det har et akseptabelt nivå for aktuell bruk.

Det må verifiseres at fyllingsfoten mot nord ikke kommer i konflikt med eksisterende dyktalb og kai.

7.4 Utfylling Skarveneset aust.

Fyllinga på austsida av Skarveneset, se Figur 10, er foreslått med regulert planert nytt areal på ca 4,5 daa. Dette er også et område med relativt gode grunnforhold, d v s at det ikke er påvist kvikkleire. Men under fyllingsfoten er det et ca 7 meter tjukt lage med leire i profil G. Der er det allerede lagt ut en motfylling som må forlenges ca 20 meter. Om motfyllinga legges ut i starten av prosjektet, antas det at hele fyllinga kan fullføres i løpet av et par år.



Figur 10 Utfyllingsfaser Skarveneset aust. Profil G.G.

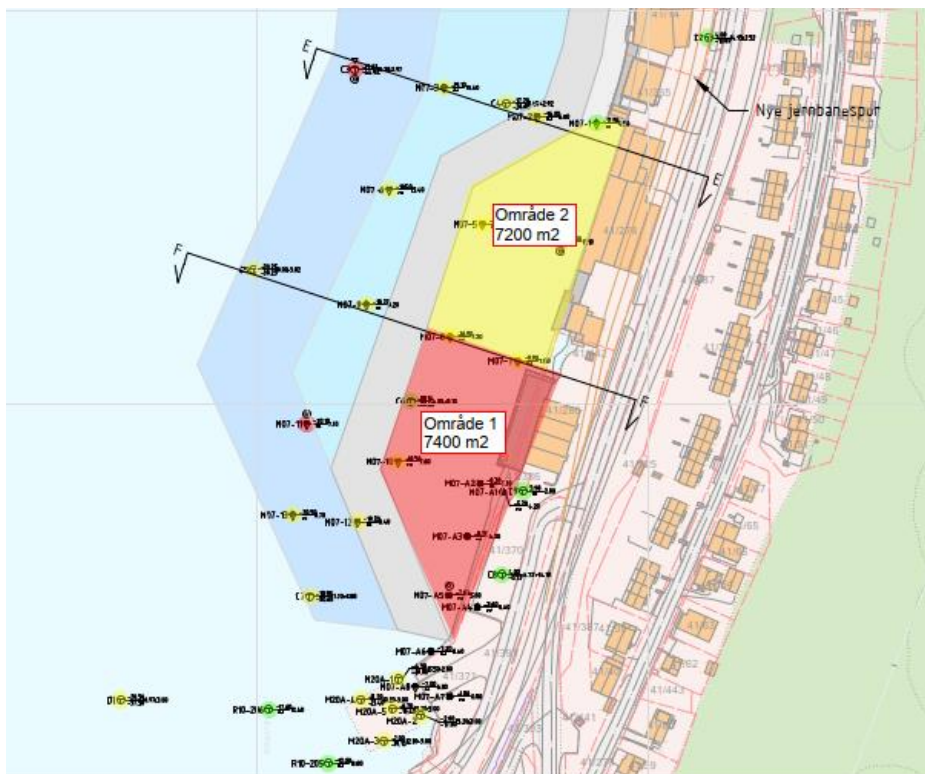
Reguleringsplanens utfylling vil medføre at fundamentet for ett fortøyningspunkt blir stående i fylling som er ca 9 meter høy. Det er ikke mulig å legge ut slik fylling uten å belaste fundamentet med horisontalkrefter det ikke er dimensjonert for. Andre fortøyningspunkt kan også bli påvirket. Dette må i alle fall kontrolleres. Et alternativ er å trekke fyllingstoppen ca 11 meter bakover. Det reduserer det oppfylte arealet til ca 4 daa. Motfyllinga kan trekkes tilsvarende tilbake. Vi legger denne løsningen til grunn da vi antar at marginalkostnaden med å fylle rundt fundamentet blir så stor at det heller lønner seg å fylle et annet sted.

Motfyllingsvolumet blir ca 10 000 m³. Totalt volum på planlagt utfylling blir ca 70 000 m³ for utfylling av det profilet som er vist som Fase 1 i Figur 10. Fyllingsarbeidene gjennomføres på samme måte som for Skarveneset vest. Det er ikke behov for å fjerne bløte masser på fjordbotnen.

7.5 Utfylling ro-ro-kaia (Kleiva sør)

Fyllinga ved ro-ro-kaia er starten på den store utfyllinga for jernbaneterminalen nordover til Kleiva. Det antas at storparten av denne utfyllinga først er aktuell når terminalprosjektet skal realiseres. Om dette skjer innen en tidsperiode på få år, vil det være naturlig først å legge ut motfyllinga langs hele strandlinja som første etappe. Deretter lag to og tre. Om det er snakk om 10-20 år eller mer før jernbaneterminalen skal realiseres, kan dette være en stor investering (noen hundre mill kroner) uten nytte på kort sikt. Da vil det være riktig å se på arealene ved ro-ro-kaia som et separat prosjekt.

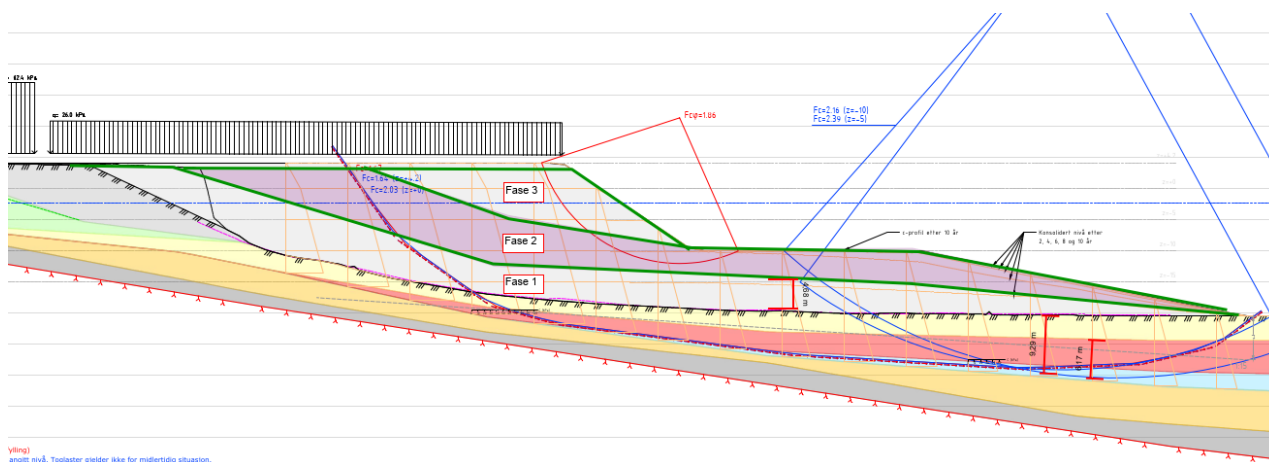
Vi har valgt å beregne effekten av å dele arealet ved ro-ro-kaia i to omtrent like store deler. Område 1 i sør kan realiseres uten vesentlig konflikt med bebyggelsen fra Fagernesveien 62 og nordover. Se Figur 11. En separat utfylling for ro-ro-kaia må avsluttes med nødvendig motfylling og fyllingsskråning mot nord. Inkludert skråning mot nord vil område 1 trenge 260 000 m³ fyllmasse og området 2 trenger 85 000 m³. Marginal fyllingskostnad for område 2 er betydelig lavere enn for område 1. Det taler for å gjennomføre hele prosjektet samlet.



Figur 11 Utfylling og profil ved Roro-kaia

Figur 12 viser profil F-F som er plassert i nordlige kant av det området som foreslås fylt ut først. Grunnforholdene er gunstigere sørover fra dette profilet, altså i den retningen som område 1 dekker. Foreslått inndeling med tre fyllingsfaser er realistisk for hele området. Siden det er en god margin på sikkerhetsfaktoren i dette profilet, kan det tenkes at storparten av utfyllinga kan gjennomføres i to faser. Men slik løsning må dokumenteres med nye beregninger.

Hele fase 1 legges ut først med start fra motfyllingsfot i vest. Storparten må fylles fra leker/skip. 2 år etterpå legges fase 2 ut. Fase 3 kan basert på dagens vurderinger gjennomføres to år etter fase 2, med fylling fra land om ønskelig. Utfyllingshastighet må verifiseres av dokumentasjon av poretrykk og oppnådd konsolidering.



Figur 12 Utfyllingsfaser ved Roro-kaia. Profil F-F.

Det er ikke behov for å fjerne bløte masser på fjordbotnen om man skal bruke utfylte areal til formål som ikke er følsomme for setninger. Setningsforløp kontrolleres etter at fylling er lagt ut. Arealet som fylles ut i fase 1 og 2 bør det før det kan asfalteres og brukes til lette konstruksjoner som tåler mindre setninger. For arealet definert som fase 3 kan ta lang tid, minst 7-8 år, fra siste utfylling til framtidige setningene kan neglisjeres ved de fleste aktuelle formål.

8. Fyllingsvolum og tidsperspektiv

8.1 Fyllingsvolum og enhetskostnader

Tabell 1 gir en oversikt over behovet for fyllmasse (teoretisk anbragt volum) per område. Samla fyllingsvolum er beregnet til 2,1 mill m³ for alle planlagte utfyllinger inklusive nødvendige motfyllinger. I tabellen er det tatt hensyn til at motfylling legges ut først, og at motfyllinga avsluttes horisontalt inn mot land. Dette er i tråd med hvordan utfyllinga i praksis må gjennomføres med lagvis utlegging. Omregningsfaktorer mellom ulike typer fyllmasse finnes i [Håndbok R761 Prosesskode 1 Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter \(2018\) \(vegvesen.no\)](#).

Behovet for fyllmasse i forhold til hvor mye land som etableres (m³/m²) er et viktig nøkkeltall. For de ulike områdene varierer det fra 12 m³ per m² etablert landareal til 35 m³. Disse ytterpunktene gjelder området ved roro-kaia der når utfylling for hele området er delt i to. Tallene illustrer kostnaden ved å avslutte utfylling langs land med skråning i begge ender, Definert område 1 må avsluttes med endefylling både på sør- og nordside. Denne endefyllinga flyttes bare nordover når det fylles ut i område 2. Beregningen er basert på at området ved roro-kaia etableres først. Dette endefyllingsvolumet kommer blir del av en videre utfylling nordover.

Tabell 1 Behov for fyllmasse per område, tam3

Område	Fylling m3	Motfylling m3	Fyllingsvolum m3	Nytt areal	m3/m2
Nord for Roro-kaia.	680 000	590 000	1 270 000	50 000	25,4
Roro-kaia, område 2	40 000	50 000	90 000	7 500	12,0
Roro-kaia, område 1	110 000	150 000	260 000	7 500	34,7
Skarveneset aust *	106 000	17 000	123 000	5 300	23,1
Skarveneset vest *	330 000	6 000	336 000	20 000	22,8
Totalt	1 266 000	813 000	2 079 000	90 300	23,0

- Mer detaljert beregning februar 2024

For Skarveneset aust anbefales å redusere det utfylte arealet noe. Det er viktig å unngå konflikt mellom fylling/motfylling og fundament for Bulkkaia. Det er også grunnforhold i området som medfører stor økning i behovet for motfylling uten særlig stor nytte i form av nytt areal. Volumberegningene gjenspeiler reguleringsplanens areal. Men 10-20% reduksjon i oppfylt areal (1-2 daa) kan gi betydelig større reduksjon i massebehov og ikke minst utfyllingskostnader. Dette bør vurderes nærmere ved detaljert planlegging av tiltaket.

Tallene i Tabell 1 er resultat av overslagsberegning basert på profilene i geoteknisk rapport. Tallene kan danne grunnlag for prioritering ved overordnet planlegging, men må kontrolleres og detaljeres ved beregning i terrengmodell, f. eks. ved bruk av programvaren Gemini. I motfyllingsvolumet inngår den delen av ordinær fylling som ligger på lavere nivå enn toppen på motfyllingslaget. Det er naturlig å legge ut denne delen av fyllinga i samme arbeidsoperasjon som motfyllinga.

Det er teoretisk anbrakte mengder som er beregnet (tam³). Det vil medgå noe større mengder løst fyllmasse, avhengig av type masse. Volum av fast fjell som eventuelt må sprenges, er en del lavere. Vegnormalene har gode nøkkeltall for omregning.

Utfylling av bare halve området ved roro-kaia gir stort behov for fyllmasse per m² innvunnet areal (34,7 m³). Marginalbehovet for dobling av arealet er derimot bare 12,0 m³ per m² tomteareal som etableres.

Dette skyldes at begge endefyllingene kan fordeles på et større totalareal. I gjennomsnitt for Roro-kaia er det beregnet en fyllingshøyde på 23,3 meter, altså bare litt mer enn for Skarveneset vest, og klart mindre enn for videre utfylling nordover mot Kleiva der nøkkeltallet er 25,4 m³ per m² nytt tomteareal. Det siste tallet er basert på at utfylling ved Roro-kaia er gjennomført først med skråning nordover.

Med gjennomsnittlig utfyllingshøyde på 23 meter, vil utfyllingskostnaden være 3 500 kroner per m² basert på 150 kroner per m³ som utfyllingskostnad, og 7 000 kroner per m² basert på 300 kroner per m². Dette er nøkkeltall per m³ som ble brukt i tidligere rapporter med referanse til Multiconsults rapport fra 2020. De antas å være entreprisestkoder eks. mva. Tallene har nok reelt økt som følge av økte kostnader, særlig på diesel. Men for enklere å kunne sammenlikne kostnader ved ulike løsninger, velger vi å referere til det samme grunnlaget.

8.2 Tidsperspektiv for ferdig utfylling

Det er behov for store mengder fyllmasse. Det er neppe realistisk å få tilgang til aktuelle mengder fra masseoverskudd i nærheten. Lange vegtunneler er kanskje den mest aktuelle kilden. Per kilometer tunnel blir det typisk 100-150 000 m³ fyllmasse. Et fyllingsvolum på over 2 mill m³ krever dermed masser fra 15-20 km tunnel. En annen kilde kan være å sprengre fjell i et lokalt massetak. Da er begrensningen å finne et sted i nærheten der det er mulig å sprengre fritt, og der et eventuelt planert område er godt egnet for senere bruk til andre formål. I slik tilfelle kan det være mulig å oppnå en «vinn-vinn»-situasjon på sikt. Det er vanskelig å se andre muligheter for tilgang på masser av aktuell mengde og kvalitet.

Fyllingene på begge sider av Skarveneset kan bli tatt i bruk måneder etter at de er fullført. Utfyllingene langs strandlinja fra Roro-kaia til Kleiva vil trenge konsolideringstid på opp mot 8 år. I beste fall kan de være ferdig konsoliderte etter 6 år. Man må også ta hensyn til at neste fase med utfylling først kan starte to år etter at forrige fase er avsluttet. Deretter tar det tid å fylle ut. I sum trengs derfor det mer enn to år per fase/lag om ikke mer detaljerte beregninger og/eller målinger av setninger og/eller poretrykk viser at kortere tid er forsvarlig.

Fyllmasser fra tunnelsprenging må normalt lastes opp og hentes fra mellomlager, gjerne nær tunnelinnslaget. Dette skyldes blant annet at anleggsdumpere normalt ikke kan kjøre på vanlig veg. Likevel vil tilgangen på masser fra en tunnel over tid være avhengig av framdrift og antall påhogg. Med to påhogg, 10 meter framdrift per døgn 5 dager per uke, vil ukevolumet være ca 15 000 m³ fyllmasse. Det blir ca 25 000 tonn per uke, eller omkring 650 billass med lastbil av type som beskrevet i kapittel 4. Med så stort volum tilgjengelig, kan motfyllinga for hele Roro-kaia (ca 200 000 m³) legges ut i løpet av ca 4 måneder. Dette innebærer 130 billass per dag/døgn. Hvor mange biler som trengs, er avhengig av transportavstand.

Vi bør realistisk legge til grunn minst 2,5 år per fase/lag og delområde som fylles ut. Generelt får vi da følgende tidsperspektiv for konsolidering av grunnen under fyllinga:

- Ferdig konsolidert for lag 1 blir 2,5 år etter start fylling
- Ferdig konsolidert for lag 1 og 2 bli 5 år etter start fylling lag 1
- Ferdig konsolidert for lag 1,2 og 3 blir 7,5 år etter start fylling lag 1

Fyllmassene konsoliderer raskere enn grunnen under. Dette vil derfor ikke påvirke total konsolideringstid. Store deler av fyllinga bare vil ha ett eller to lag med foreslått strategi. Da er det bare den ytterste delen mot fyllingsfronten som må vente i 7,5 år før den blir tatt i bruk med dimensjonerende laster. Av flere grunner er det mer sannsynlig med kortere konsolideringstid enn lengre.

8.3 Utfylling – anbefalt rekkefølge.

Når reguleringsplanen skal realiseres fullt ut, vil det være behov for 2,1 mill m³ fyllmasse. Om det skaffes til veie ved fjellsprenging, tilsvarer det 1,5-1,6 mill m³ fast fjell. Om dette volumet må sprenges alene til formålet, vil kostnaden være omkring 600 mill kroner. Kfr. kapittel 2. Dette er ikke et urimelig stort beløp med tanke på å anlegge jernbaneterminalen. Det tilsvarer også ca 7000 kroner per m². Det kan sammenliknes med kostnad for råtomt i by, og er heller ikke spesielt dyrt. Disse kostnadene kan i prinsippet nær halveres om man får mulighet til å benytte overskuddsmasser fra tilstrekkelig nære områder. Strategien bør legges fleksibelt til rette slik bruk. Men slutføring av prosjektet vil trolig kreve eget massetak til formålet. Dette bør planlegges og reguleres i god tid.

Vi foreslår følgende prioritering:

1. Etter det vi kjenner til er det ved Roro-kaia det er størst behov for tilleggsareal på kort sikt. Dette er også et område som trenger lang tid fra første utfylling til ferdig konsolidert tomt, ca 7 år eller mer for deler av tomta. Det trengs opp mot 200 000 m³ lekerfrakta masse til fase 1 i denne fyllinga.
2. Ved Skarveneset vest bør det vurderes å legge til rette for sjete/molo med mulighet for bruk av ca 100 000 m³ dårlige mineralske masser til deler av fyllinga som totalt trenger 360 000 m³. Slik sjete kan fylles med lastebil fra land, eller i stor grad med leker. Dette er det området som egner seg best for mottak av tilfeldige masser både på kort og lang sikt. Med bruk av gode masser og produksjon på 25 000 m³ per uke, kfr. punkt 8.2, kan storparten av området fylles ut på 4 måneder. Om dårlige masser benyttes (bak sjete), vil det kunne ta mange år.
3. Ved Skarveneset aust fylles det ut når det er konkret behov for arealene.
4. Strandlinja fra Roro-kaia til Kleiva bør fylles ut tidlig i prosessen med å bygge jernbaneterminalen. Jernbanespora er planlagt på den delen av området som er konsolidert etter ca 2 år eller før. Området nær fyllingsfronten vil være konsolidert ca 5 år senere. Man må forvente at vegen langs fyllingsfronten først kan ferdigstilles deretter.

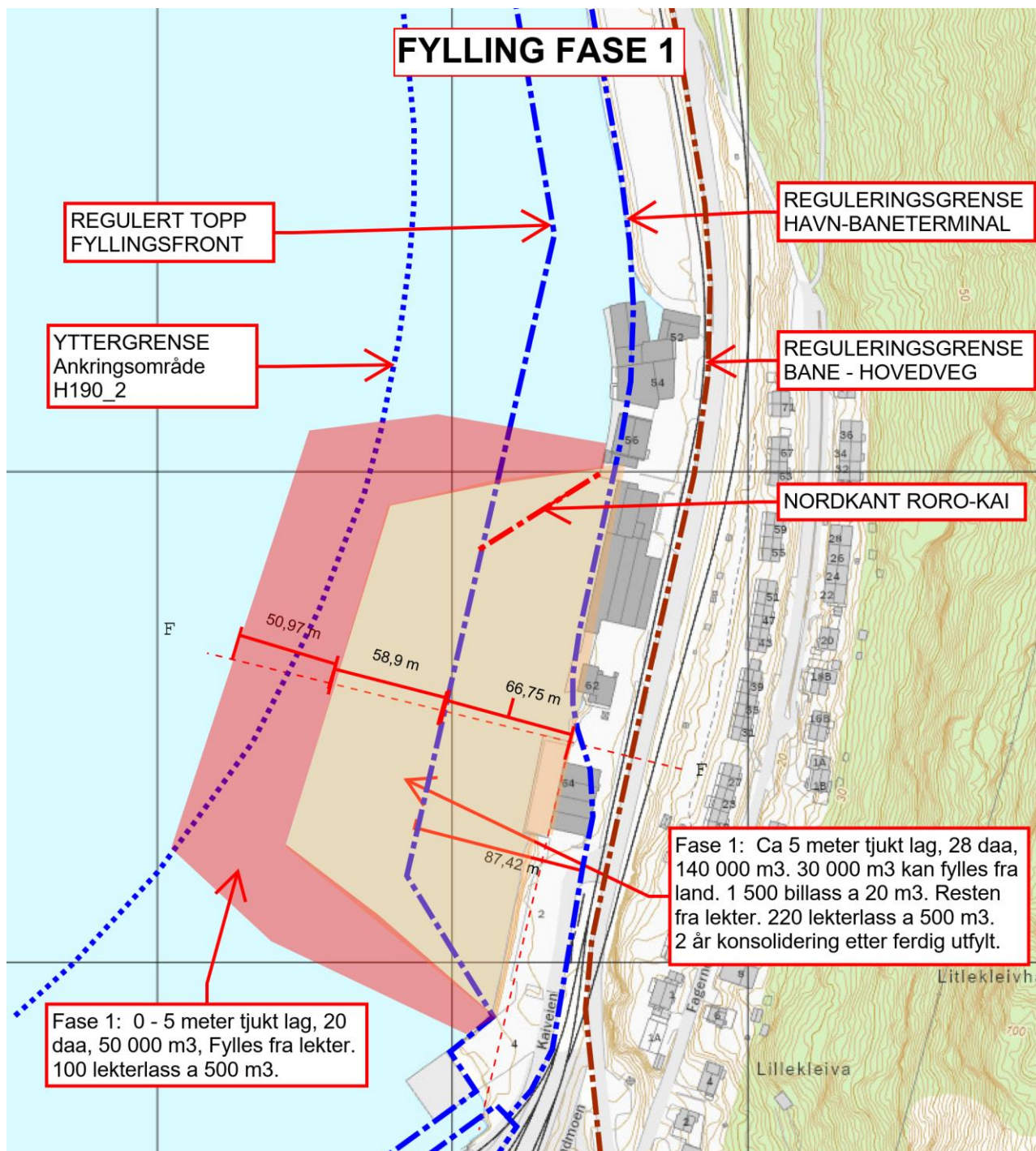
8.4 Illustrasjon av utfyllingsetapper roro-kai

Området ved roro-kaia er mest interessant med tanke på havneutvikling på kort sikt. Det er samtidig det området som trenger lengst tid til konsolidering av planlagt utfylling, foreløpig beregnet til mer enn 7 år fra start utfylling til hele arealet tåler planlagt last. Det vil være behov for tre utfyllingsstapper. Et mindre areal nærmest land vil være tilgjengelige for bruk etter ca 2,5 år og et noe større areal etter ca 5 år, men hele arealet på 10 daa først etter mer enn 7 år.

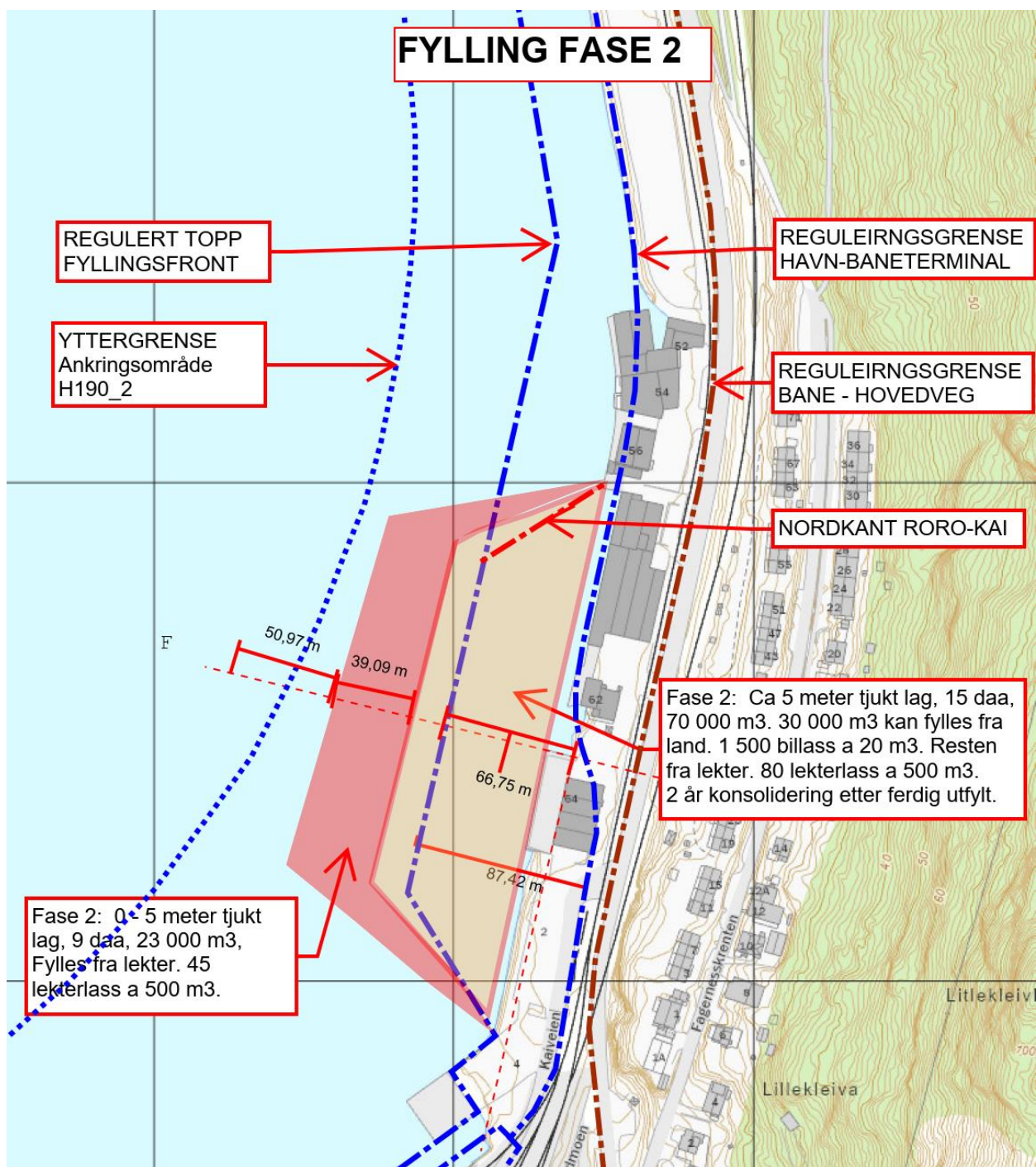
Figur 13 til Figur 15 på de neste sidene illustrerer hver av de tre utfyllingsfasene som kan gjennomføres med ca 2,5 år mellom hver. Figur 16 illustrerer hvor store areal som blir tilgjengelige for ordinær bruk ca 2 år etter fullført fase. Tabell 2 gir en oversikt mengder per fase fordelt på anslått mengde som kan fylles fra land, og fylling der leker må benyttes.

Tabell 2 Utfylling for roro-kaia, volum per fase.

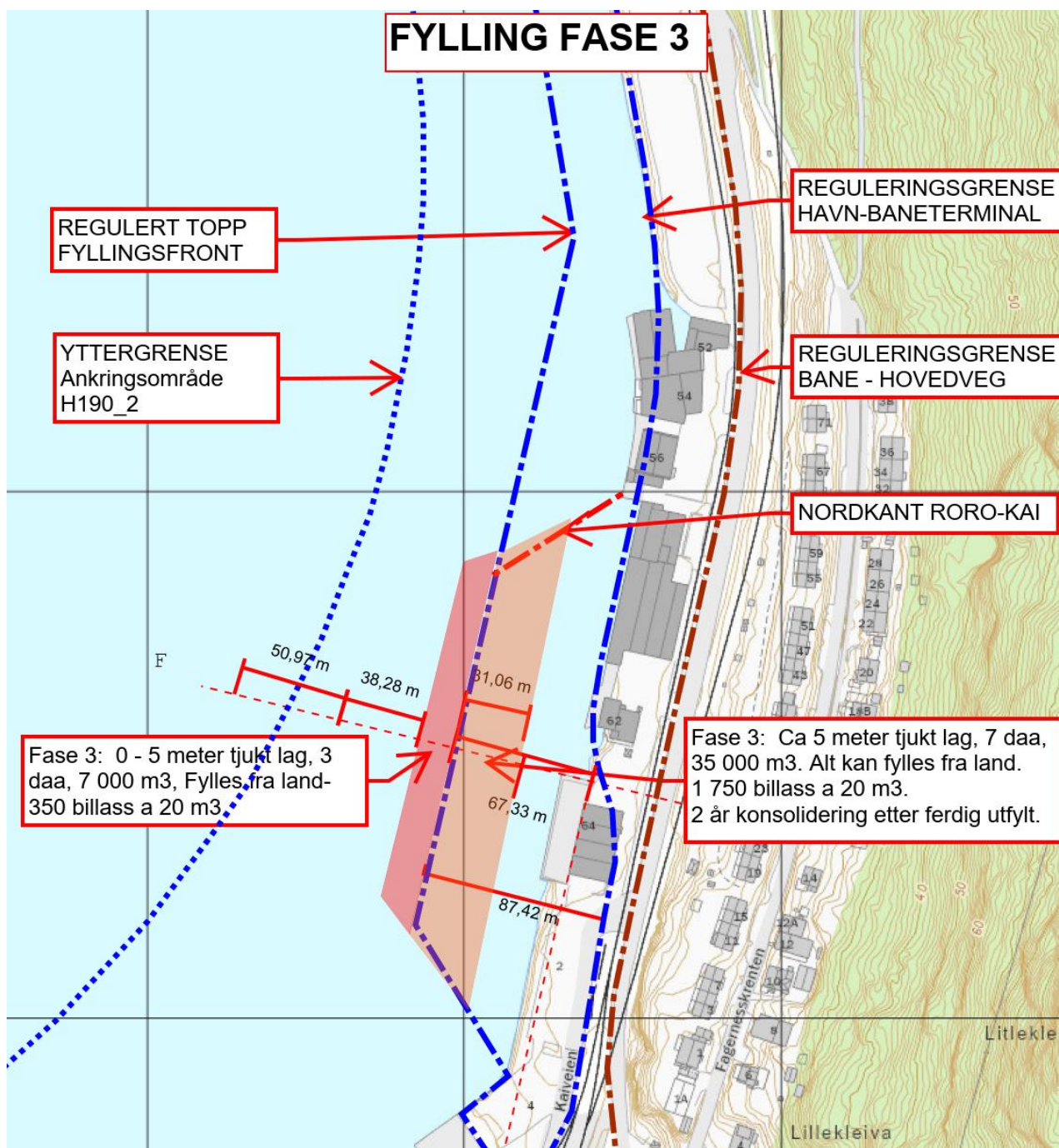
Fase	Fyllingsvolum tam3	Aslått fylling fra land tam3	Fylling fra leker tam3	Antall billass a 20 m3	Antall lekerlass a 500 m3
1	190 000	30 000	160 000	1500	320
2	97 500	30 000	67 500	1500	135
3	42 500	42 500	0	2125	0
Sum	330 000	102 500	147 500	5125	455



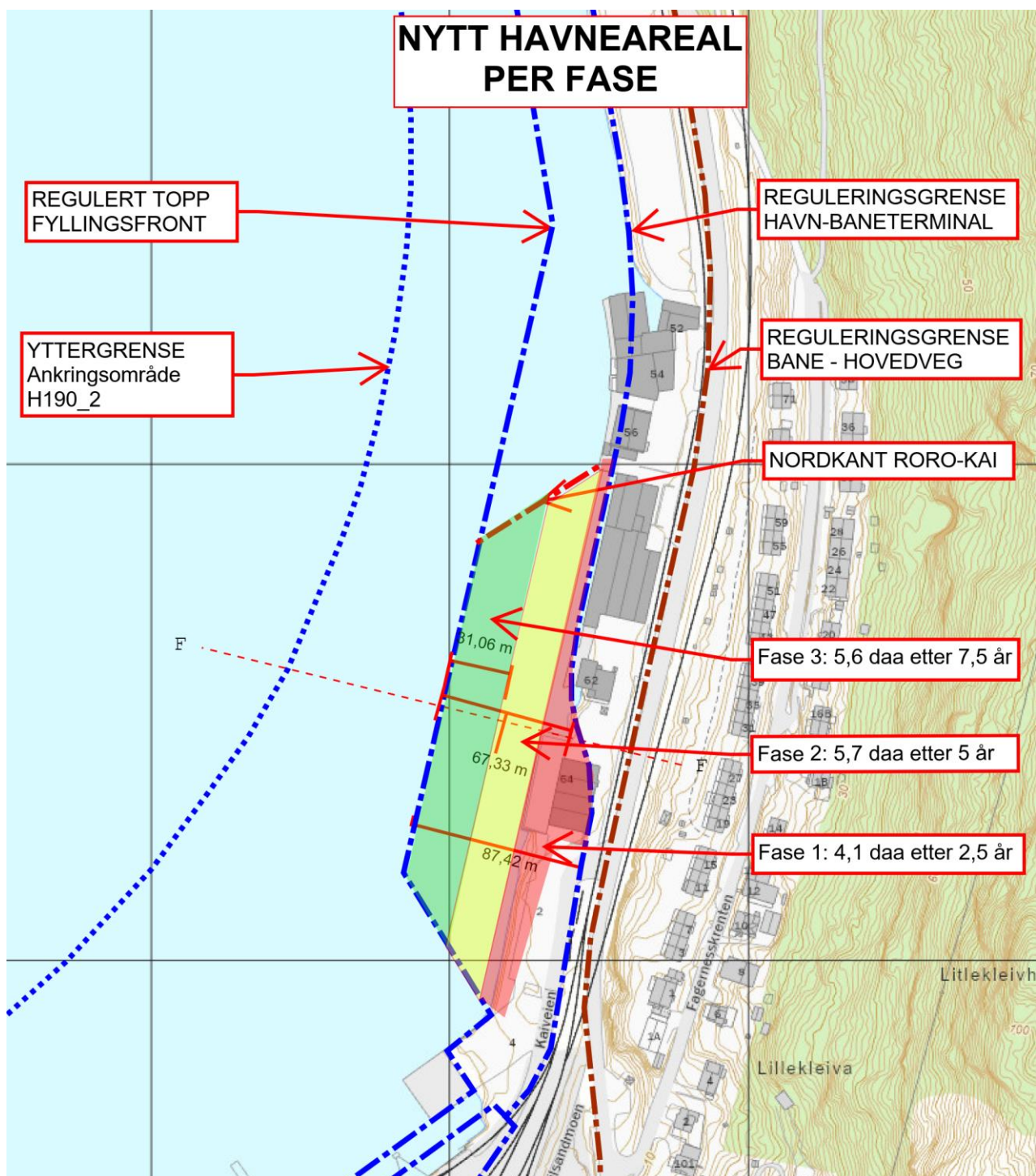
Figur 13 Roro-fylling fase 1



Figur 14 Roro-fylling, fase 2



Figur 15 Roro-fylling, fase 3



Figur 16 Roro-fylling, nytt havneareal per fase

Forslaget til faseinndeling er ment som en illustrasjon av hovedprinsippet med tre fyllingsfaser. Det må lages en detaljert plan for hvordan dette skal gjennomføres. Slik plan må kvalitetssikret med tanke på geotekniske rammebetingelser. Oppgitte volum er enkle overslag med moderat nøyaktighet. Totale volum knyttet til roro-utfylling er beregnet på ulike måter i tabell 1 og 2. Svarene er også forskjellig, h h v 350 000 og 330 000 m³. Med mer spesifisert beregningsgrunnlag vil man også få mer nøyaktige svar.

9. Andre byggemåter enn fylling.

9.1 Bakgrunn for behov

Utfylling i sjø er en vanlig metode for å skaffe byggegrunn ved sjøen, men det finnes andre løsningsmåter, avhengig av hvordan arealene skal benyttes, krav til levetid, kostnader m m.

Fylling er ofte det enkleste og billigste. Men fylling krever tilgang på egne fyllmasser, noe som ikke alltid er like lett å innfri. Fylling kan også medføre mange år til konsolidering av fylling og undergrunn før det kan være mulig å bygge tunge bygg. Ved foreslått reguleringsområde vil det også være behov for flere utfyllingsetapper som på deler av området medfører at det kan ta omkring 8 år fra man starter arbeidene til hele arealet kan benyttes. Om det skal bygges bare ett bygg, kan det også være relativt dyrt å fylle ut bare en kort strandlinje siden endefylling til hver side kan vil bli en betydelig del av total kostnad. Om det skal bygges fast kai eller det av andre grunner trengs vertikal fyllingsfront, må fyllinga uansett avsluttes med en konstruksjon.

I det aktuelle utfyllingsområdet er hovedformålet jernbane- og havneterminal med bygninger, kaier og andre konstruksjoner. Vi er bedt om å gi et bilde av kostnader ved noen alternative løsningsmåter. Den mest åpenbare metoden er dekke på peler til fjell eller morene. Fylling bak spuntvegg for å unngå motfylling kan også være en mulighet. Begge metoder kan i prinsippet benyttes med tanke på hele eller deler av området som er planlagt fylt opp. Vi legger likevel til grunn av det er mest aktuelt mellom Kleiva og roro-kaia, altså der vi har profilene fra A til F. I reguleringsprosessen ble det konkret vurdert å plasser bygning på pela fundament i området mellom profilene A og C. Det kan også komme tilsvarende behov andre steder. Vi skiller mellom to situasjoner; peling for enkeltbygg og peling med dekke over store flater.

Kostnader ved ulike løsningsmåter vil være en viktig premiss ved valg. Vi starter derfor med å beregne kostnader per m² for fyllingsarbeider og forbelastning av fylling der det kan være nyttig. Deretter behandler vi peling og spunting som mulige alternativ eller supplement.

9.2 Gjennomsnittlige og marginale fyllekostnader

Kostnaden ved fylling kan beregnes totalt for hele prosjektet, eller marginalt for deler av prosjektet. For hele det regulerte utfyllingsområdet er utfyllingsbehovet knapt 25 m³ teoretisk anbrakt fyllmasse (inklusive motfylling) per m² tomteland som etableres. Med fyllingskostnad på 150-300 kroner per m³ (kfr. kapittel 2 og Multiconsults rapport fra 2020), vil gjennomsnittlig fyllingskostnad være mellom 3750 og 7500 kroner per m² råtomt. I denne kostnaden inngår både motfylling, økt skråningsvolum som følge av fylling på djupe vann og endefyllinger.

Det er interessante å se på marginal økning i fyllingskostnad ved større utfylling enn planlagt. En meter ekstra utfylling langs planlagt fyllingstopp (ytterkant fylling) vil få gjennomsnittlig høyde på 20 meter for profilene A til G. Siden det er ganske flat sjøbunn utenfor fyllingsfoten, vil slik marginal økning i det totalt utfylte arealet skape behov for noe over 20 m³ fyllmasse med kostnad 3000 – 6000 kroner per m² råtomt. Marginal utfyllingskostnad er altså lavere enn gjennomsnittlig fyllingskostnad. Dette er en sikker konklusjon, men helt presis effekt må eventuelt beregnes mer detaljert.

For de områdene som ligger nærmest land, innenfor ca 20 meter fra dagens strandlinje, er fyllingshøyden ved ytterkant fylling 8-18 meter med 15 meter i gjennomsnittet for hele strandlinja fra profil A til F. Det blir i tillegg behov for motfylling og økt skråningsvolum siden sjøbunnen er fallende i det aktuelle området. Dette behovet er ikke konkret beregnet, men anslås å være i nærheten av

gjennomsnittet hele utfyllingsområdet. Økte skråninger og motfylling utgjør et tillegg på 25% for hele utfyllingsområdet, så dette legges til grunn. Marginalt fyllingsvolum per m² ekstra tomteareal ved strandlinja blir da ca 19 m³. Fyllingskostnaden vil være 2850 – 5700 kroner per m² råtomt.

I tillegg til råtomt kommer kostnaden ved overbygning som for de store terminalflatene vil være forsterkningslag, bærelag og asfalt. Kostnad per m² settes til 1300 kroner. Med eventuelt betongdekke økes den til 2500 kroner.

I gjennomsnitt for hele utfyllingsområdet vil entreprisekostnaden per m² bli 5000-9000 kroner (asfaltdekke). Ved større utfylling enn planlagt, vil denne gjennomsnittskostnaden bli litt redusert. Det motsatt skjer ved redusert utfylling, da vil gjennomsnittskostnaden per m² øke så lenge vi snakker om utfyllingsbredde på mer enn ca 25 meter ut fra dagens strandlinje.

9.3 Forbelastning av fylling

Setninger er et viktig tema der mekanismene er behandlet i kapittel 6.1. Konsekvensene av setninger er avhengig av arealbruk. For konstruksjoner er det også viktig å skille mellom totale setninger og differensialsetninger.

Fyllinger vil alltid ha setninger. Høye fyllinger på tjukke lag av løsmasser kan ha setninger på flere cm per år over flere år. Differensialsetningene vil alltid være mindre. Det er vanligvis differensialsetningene som lager problemer, altså forskjellen i setninger innenfor et definert areal.

For areal uten bygninger eller fast dekke er setninger vanligvis uproblematisk. Det etterfylles med egne masser ved behov. På relativt flate areal der det er anlagt fast dekke, kan differensialsetninger medføre motfall og vannansamling. Det kan korrigeres ved reasfaltering. Enkle lagerbygninger tåler også differensialsetninger mens komplekse bygg og bygg på flere etasjer tåler bare beskjedne differensialsetninger. Krav til maksimale differensialsetninger må settes per konstruksjon.

På oppfylt areal som skal benyttes til setningsfølsom konstruksjon vil gjennom fyllinga peling til fjell eller fast morene være en god løsning når fyllinga er planlagt med dette som mulighet. En alternativ metode er å forsere de setningene som oppstår som følge av konstruksjonens egenvekt og påførte laster. Det kan gjøres ved å forbelaste grunnen med de aktuelle lastene i lang nok tid, i vårt tilfelle typisk 1-2 år. Det fylles opp med passende mengde stein eller andre masser som etterpå fjernes.

9.4 Dimensjonerende laster ved peling

Når ulike byggemetoder skal vurderes opp mot hverandre, vil krav til dimensjonerende laster, både statiske og variable, være viktige felles forutsetninger. Kravene til levetider og til drifts- og vedlikeholdskostnader kan være forskjellige, men det er viktig å identifisere betydningen av forskjellene. Det samme kan gjelde andre forhold som estetikk, miljøkonsekvenser med mer.

Storparten av planlagt utfylling er i de geotekniske analysene dimensjonert for 20 kPa (2 tonn/m²). Dette er krav som ivaretar behovene knyttet til alle vanlige trafikklaste. Total vekt på vanlige bygninger på inntil 3-4 etasjer er også ivare tatt ved dette kravet. Jernbanesporene og særlig bulkterminalens lagerområde for malm, er dimensjonert for større laster.

Deler av terminalområdet bør tåle aksellast fra reach-stacker. De kan være fra 50 til 100 tonn i den delen av terminalområdet der håndtering av containere er aktuelt. Det gjelder hele laste/losseområdet og lagringsområdet for containere. På et oppfylt område med fyllingshøyde på 10-20 meter blir denne

aksellasta fordelt på så stort område at 2 tonn/m² som dimensjonerende nyttelast for fylling vil være akseptabelt. Men ytterste 20 meter av fyllinga kan ikke benyttes av reach-stackere med last. Dette arealet er i reguleringsplanen avsatt til veg og grøntområde.

Ved bruk av peler med 5 meters avstand mellom pelene, kan en pel i prinsippet måtte bære hele aksellasta fra en reach-stacker hvor som helst på området. Det tilsvarer inntil 4 tonn per m² når det er 5 meter mellom hver pel som da kan få opp mot en hel aksellast som punktbelastning. Vi antar det trengs en betongplate med tykkelse på opp mot 1 meter og dermed egenvekt på 2,4 tonn/m² for å fordele belastningene mellom pelene. Med mindre avstand mellom pelene, blir det tynnere plate og flere løpemeter peler. Vi har ikke beregnet hvilken kombinasjon av pelavstand og dekktykkelse som gir laveste kostnad. Ved peling får vi to ulike lastsituasjoner:

1. Dekke på peler for bygning med inntil 3-4 etasjer. 2 tonn/m² jevnt fordelt last og 5 meter mellom hver pel. 75 cm betongdekke med egenvekt 1,8 tonn/m². Maksimalt 95 tonn ytre løst per pel.
2. Dekke på peler for område som trafikkeres med reachstacker. 4 tonn/m² jevnt fordelt last og 5 meter mellom hver pel. 100 cm betongdekke med egenvekt 2,4 tonn/m². Maksimalt 160 tonn ytre last per pel.

Med dekke menes jevntykk plate eller system av bjelker og tynnere plate.

Vi har ikke beregnet dekketykkelse eller peldimensjoner ved de to lastsituasjonene. Mulig dekketykkelse er antydnet for å illustrere mulig størrelse på egenvekt av dekker. Beregningen illustrerer også den positive effekten en fylling har med tanke på å håndtere store punktlaster.

9.5 Kostnader for peling

Bygninger på peler ved sjøkanten har vært en ganske vanlig byggemåte. På de fleste steder langs kysten finner vi gamle brygger med denne konstruksjonsmåten. Det var mest vanlig å bruke trepåler med trebjelker på toppen som plattform for trebygning. Dette var typisk enkle brygger og lagerhus dimensjonert for små laster på relativt grunt vann. Hensikten var gjerne at bygningsfronten også skulle fungere som kai for mindre skip.

Ved peling i dag er det enklest å pele til fjell. Det gir sikker setningsfri konstruksjon. Når det er tynne lag med løsmasser, kan det være mulig å benytte friksjonspeler som bærer lastene ved spissmotstand og friksjon mellom pel og løsmasse, noe som var vanligst ved tidligere tiders trepåler. I reguleringsplanens utfyllingsområde fra profil C til profil G (roro-kaia) vil peling til fjell være det eneste aktuelle. I området ved Kleiva (profil A – C) er det opp mot 40-50 meter til fjell, men mesteparten av løsmassene, ca 20 meter, er morene. Der er et relativt tynt lag av sand og bløte masser over, ca 5 meter. I dette området kan peler få tilstrekkelig lastkapasitet som friksjonspeler.

Peler til fjell festes til (slås ned i) fjellet så de får tilfredsstillende forankring med tanke på horisontale krefter. Peler i faste løsmasser får også sidestøtte i løsmassene. Dermed reduseres knekklemden og utfordringene knyttet til håndtering av horisontale krefter.

Ved planlagt utfylling vil det bli en gjennomsnittlig pelengde på 27 meter i området for profilene A-F. Fjell og morene har et fall på 7-10 meter fra dagens strandlinje til ny topp fyllingsfront. Pelene vil hovedsakelig ha lengder mellom 22 og 32 meter. Sjødjupna for ytterste pelerekke varierer fra ca 13 meter i profil E til ca 20 meter i profil A. Der det er tynne morene, er det lagt til grunn friksjonspeler som slås ca 8 meter ned i morenen. Det gjelder profilene A og B.

Skissert pelt løsning kan enklest sammenliknes med bygging av industrikai for skip med dypgang 10-15 meter når det gjelder både krav til konstruksjon, løsningsmåte og kostnader. Vi har erfaringsdata som indikerer kostnader på 25 000-30 000 kroner per m² (entreprisekostnad eks. mva. 2021 prisnivå). For områdene ved land bør kostnaden ligge i den lave enden av dette intervallet mens den for de store områdene lengre ute antas å ligge over den øvre delen. Både dekke og horisontalavstiving er inkludert i tallgrunnlaget. Store punktlaster fra reach-stacker antas også inkludert. Et kostnadsintervall for pela løsning mellom 25 000 og 35 000 bør være sannsynlig, med gjennomsnitt noe høyere enn middelverdien av disse to tallene.

9.6 Spuntvegg i fyllingsfronten

Ved å spunte hele fyllingsfronten kan man i prinsippet unngå skråningsutslag og motfylling. Det vil i så fall være sammenhengende stålsputtvegg. Sputtnålene slås ned i fjellet tilsvarende ytterste pelerekke og vil ha en gjennomsnittlig lengde på ca 27 meter i sjødjupn som varierer mellom 13 og 20 meter. Slik spunt vil i tillegg trenge skråforankring til fjell i flere nivå. Det er i prinsippet mulig å etablere slik løsning langs hele strandlinja.

Vi har ikke vurdert spunt som en teknisk realistisk løsning i aktuell situasjon. Det skyldes at spuntveggen må etableres med skråstag før man kan fylle inn mot veggen. Man kommer i en situasjon der man må pakke fyllmasse omkring skråstag som ikke bør utsettes for store sidekrefter fra pakking eller etterfølgende setninger. Det er i beste fall dyrt, særlig under vann. Det kan også være en risikabel løsning med tanke på langsiktig funksjonalitet og risiko.

9.7 Sammenlikning fylling/peling, bygging ved stranda.

Det kan være aktuelt å bygge et næringsbygg på peler ved Kleiva. Langs denne delen av strandlinja er det bare et tynt lag med sand og bløte masser oppå et tykt lag med morene over fjellet. Dette er bedre grunnforhold enn lengre sør, men relativt djupt til sjøbunnen. Det antas mulig å fylle i bredde på 20 meter uten motfylling. Gjennomsnittlig behov for fyllmasse vil bli omkring 15 m³ per m² råtomt. Kfr. Figur 6 som indikerer at det selv i det «dårligste» profilet i området er mulig å legge ut 20 meter brei fylling på eksisterende fylling eller morene. Dette er fylling som kan etableres og som vil konsolidere raskt, på mindre enn to år. Denne fyllinga som del av lengre fylling vil ha en kostnad på 2250 – 4500 kroner per m² pluss overbygning til 1300 kroner per m².

Pelekostnaden er estimert til ca 25 000 kroner per m². Det er minst fire ganger så stor kostnad som med fylling. Fordelen er at det kan etableres setningsfritt bygg uten å vente på sammenhengende og konsolidert fylling.

Framtidig fleksibilitet med tanke på alternativ bruk reduseres betydelig ved peling. Om det bygges ett sted på peler ved dagens strand, vil det ødelegge muligheten for sammenhengende fylling til begge sider og utenfor. Dette siden vi ikke kan tilrå å fylle inn mot en pela konstruksjon. Totalt mulig nyttbart areal blir dermed redusert.

Levetid for peling er kortere enn for fylling. Normal påregnelig levetid vil være 60-100 år. Korrosjon av stålet og forvitring av betongen begrenser levetida. Lang levetid oppnås ved vedlikehold av konstruksjonen. Fylling har, for alle praktiske formål, ubegrenset levetid uten nevneverdige krav til vedlikehold.

Det bør også vurderes om det er hensiktsmessig med bygning som har tre fasader mot sjø uten mulighet for annen tilkomst enn båt eller enkel påhengt gangveg. Normalt er det gode grunner for utvendige enkel tilgang til alle byggets sider. Om det er slikt behov, vil arealbehov og total differansekostnad øke betydelig i favør av fylling.

Det raskeste og mest fleksible ville være å fylle og deretter pele for bygget gjennom fyllinga. Da kan man pele og bygge umiddelbart etter at fylling er lagt ut, og man oppnår de samme langsiktige fordelene som ved fylling og bygging på den. Om man har noe mer tid på seg, kan man muligens fjerne pelekostnaden ved å forbelaste området et par år før bygging. Om aktuelt bør dette vurderes som løsning.

9.8 Sammenlikning fylling/peling, hele terminalområdet.

Mulighet for rask realisering er nevnt som motiv for å kunne anlegge hele terminalområdet, eller deler av det.

Kostnaden for peling av hele terminalområdet er estimert til mer enn 30 000 kroner per m² opparbeidet terminalareal (betongplate). Fylling inklusiv overbygning og asfaltering, er beregnet til mellom 5 000 og 9 000 kroner per m². En pela løsning vil mer enn være tre ganger då dyr som fylling. Vi sammenlikner med høyeste enhetskostnad for fylling siden det i skissert situasjon med behov for rask etablering. Da må man regne med å etablere eget massetak for fyllmasser.

En peleløsning vil ha de samme ulempene med tanke på fleksibel bruk, levetid og vedlikeholdskostnader som nevnt i forrige kapittel.

Vi har ikke studert hvor raskt det er mulig å realisere en pela kontra fylling på et stort areal. Men om vi legger til grunn 10 000 daa ved roro-kaia, så vil entreprisekostanden være 300-350 mill kroner og ca 100 mill kroner for fylling.

For fylling kan det med tidskriske være å etablere et massetak med kapasitet til å levere omkring 400 000 m³ fyllmasse. Selve utfylling kan skje raskt, i løpet av måneder for første fase. Men deretter skal det fylles i to faser med totalt tidsforløp på omkring 7 år før hele området er tilgjengelig for bruk.

En peleløsning krever lengre tid for detaljplanlegging og anbudsinnhenting med mer. Det må regnes med omkring 1,5 år på den prosessen. Deretter kan det være leveringstid på peler. Det bør likevel være realistisk med byggetid på omkring 2 år.

REFERANSER TIL KAPITTEL 3.

1. Forskjeller ved bruk av elektroniske og ikke-elektriske tennere på infrastrukturprosjekter i Norge. Masteroppgave ved NTNU 2018. Sigbjørn Midtskogen.
2. Elektroniske tennere i tunnel. Teknisk rapport nr. 19. Norsk forening for fjellsprenningsteknikk 2019.
3. Problemer med plast ved utfylling av sprengstein i sjø. M- 1085 Miljødirktoratet 2018.
4. Testforsøk - spredning av plast i sjø fra utfylte tunnelmasser skutt med elektroniske tennere. Norconsult 2017.