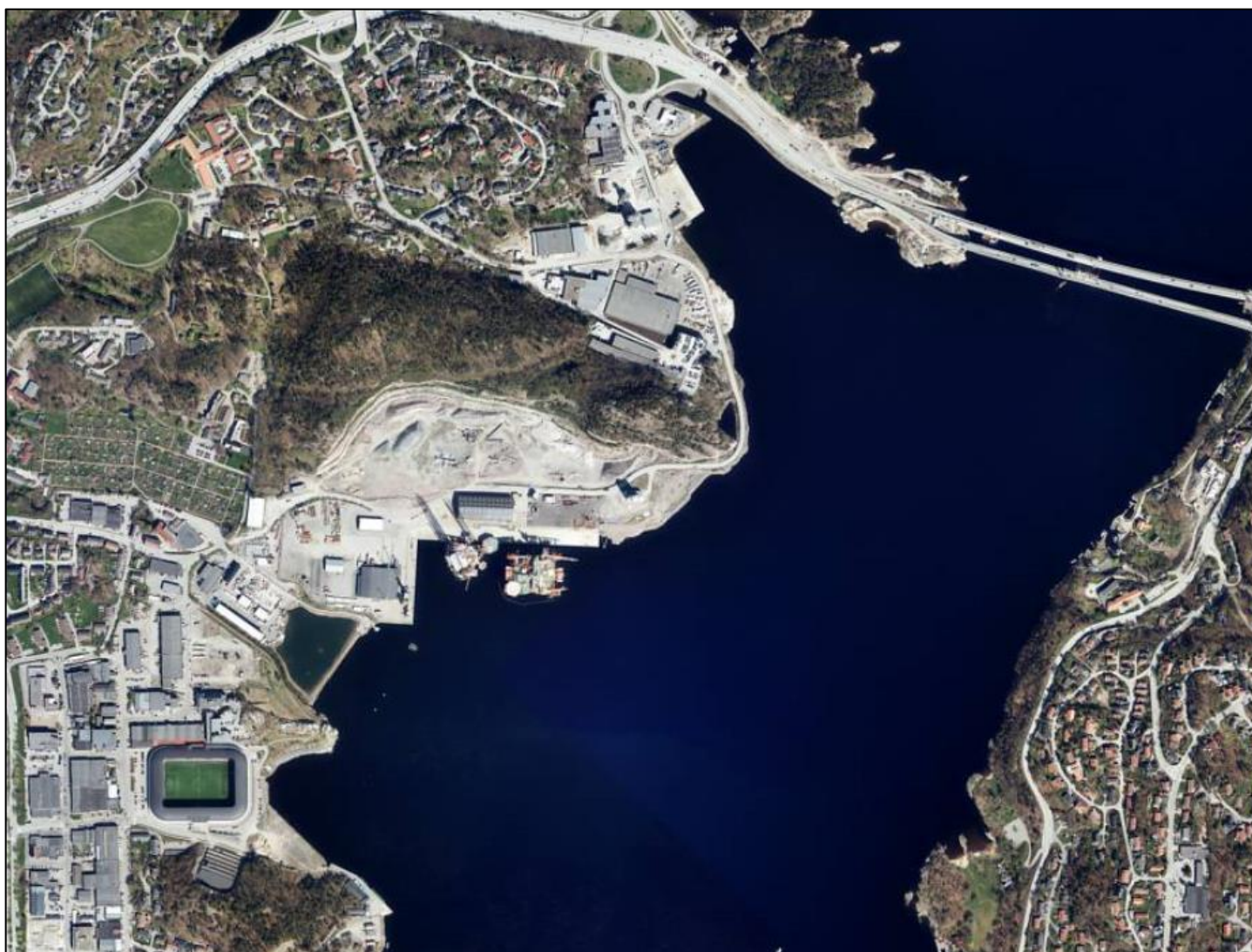


Kristiansand Havn KF

# ► Havneavsnitt Nord - Etablering av ny kaifront i Vigebukta og Torsvika

Alternativstudie

Oppdragsnr.: 5196817 Dokumentnr.: RIB-001 Versjon: C01 Dato: 2020-07-03



**Oppdragsgiver:** Kristiansand Havn KF  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Steffen Borgar Løvdahl  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika  
**Oppdragsleder:** Ignacio Rausa  
**Fagansvarlig:** Trygve Isaksen, Kristian Aunaas  
**Andre nøkkelpersoner:** Ignacio Rausa, Fredrik Giske, Sammy Andre Ziedoy

C01	2020-07-03	For kommentar	FrGis	IgRau/KriAu	TI
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

## ► Sammendrag

Kristiansand Havn KF (KS Havn) ønsker å etablere en ny kailinje i Kongsgårdsbukta (SHA5), og videre nordover mot Vigebukta (SHA4). I tillegg skal det etableres en ny kailinje fra Kongsgårdsbukta til Torsvika (SHA7), se Figur 1-1 for en oversikt over de ulike områdene.

For øst-vest kailinjen i SHA5-området tilrettelegges det for fremtidig bruk som containerterminal. Sør-nord kailinjen som går fra SHA5 mot SHA4 og kailinjen i SHA7-området tilrettelegges for fremtidig bruk som skipsgodsterminal. For containerterminal legges det til grunn en vertikallast på 6 tonn/m<sup>2</sup> og en vanddybde på 16,5 m. For skipsgodsterminal legges det til grunn en vertikallast på 4 tonn/m<sup>2</sup> og en vanddybde på hhv. 10 m og 14 m for SHA4 og SHA7. Det er lagt til grunn at fyllinger etableres opp til kt. +2,5 i SHA4 og SHA5, og til kt. +2,6 i SHA7-området. Tekniske løsninger for SHA 5-området som tilrettelegges for containerterminal er utredet for installasjon av Ship to Shore kran (STS).

I denne rapporten er geotekniske forhold, teknisk løsning, kostnader og lagringsareal vurdert for flere alternative løsninger. Vanngjennomstrømningen i Vigebukta må vurderes videre i neste fase. I SHA7-området ligger Prestebekken, se Figur 1-1. Iht. gjeldene kommunedelplan skal alle områder nord for Prestebekken utvikles først. Kailinje sør for Prestebekken er vurdert, omtalt som «utvidet» løsning. Formålet med rapporten er å danne nødvendig grunnlag for å evaluere og velge hvilke alternativer ønskes å utrede videre for de ulike områdene i Havneavsnitt Nord.

KS Havn ønsker å ta i bruk arealet på strandkantdeponiet for fremtidig lagringsareal. Metoder for å etablere et areal på deponiområdet er vurdert av Multiconsult i en mulighetsstudie [3], se Figur 1-1 for illustrasjon av strandkantdeponi. Tilgjengelig areal anslås til omtrent 11 000 m<sup>2</sup> for deponiområdet, uavhengig av valgt metode.

For alle de regulerte områdene (SHA4, SHA5 og SHA7) utredes en kaifrontlinje som følger ytterkant av de regulerte områdene. Denne løsningen omtales i rapporten som «Base Case», hvor både tilgjengelig lagringsareal og kaifrontlinje maksimeres. I tillegg vurderes en «justert løsning», hvor kaifrontlinjen trekkes inn mot land for å redusere nødvendig oppfyllingsvolum og kostnader

Det er utredet ulike alternativer for både «Base Case» og for «justert løsning», grunnet krevende grunnforhold. Etablering av store utfylte områder vil kreve store motfyllinger ut i sjøen for å oppnå tilstrekkelig stabilitet, samt medføre betydelige setninger og tilleggsbelastninger på pelene. Etableringstid og setningsforløp vil være meget lang dersom det ikke anvendes vertikaldren eller tilsvarende tiltak. Det anbefales derfor løsninger med begrensede utfyllinger. Det må vurderes om setningsestimatene er akseptable, da setninger kan medføre behov for vedlikeholdsarbeid i en eller mange omganger. Det presiseres at setningsestimatene kun er for fyllingen, og at det vil kunne komme ytterligere setninger fra ev. permanente nyttelaster.

De ulike alternativene er oppsummert i tabellene nedenfor. Det er kort beskrevet hva disse alternativer innebærer og hovedkonklusjoner fra de geotekniske vurderinger.

Base Case (BC)		
Område	Kort beskrivelse	Geoteknisk vurdering
SHA 4 -Alt. 1-	Maksimert fylling ut mot øst + åpen pelekai.	Medfører relativt store motfyllinger og et totalt meget stort utfyllingsvolum. Setninger estimeres til 1-1,5 m. Vurderes som gjennomførbart. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 2-8 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 5 -Alt. 1-	Maksimert fylling + åpen pelekai.	Medfører meget store motfyllinger og vurderes generelt som en utfordrende løsning, men antas gjennomførbart. Setninger estimeres til 3 m. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 4-15 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 5 -Alt. 2-	Fylling kun for å nå en kaiasbredde på 50 m for drift av STS-kran + åpen pelekai.	Tilsvarende som Alt 1, men en noe sikrere løsning grunnet redusert utfyllingsvolum. Setningsforløp noe raskere enn Alt. 1. Antas noe lang etableringstid. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 2-8 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 5 -Alt. 3-	Motfylling til kt. -24 + 50 m bred åpen pelekai.	Vurderes som en gjennomførbart og god løsning. Grunnet fundamentering på peler er ikke setninger en stor utfordring som for øvrige alternativer. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 0,5-2 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 7 -Alt. 1-	Forlengelse av dagens kailinje fra eksisterende kai 35 sør til prestebekken + åpen pelekai foran fylling.	Medfører relativt store motfyllinger og vurderes som en noe utfordrende løsning, men gjennomførbart. Antas lang etableringstid. Setninger estimeres til 2,25 m. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 2-6 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 7 -Alt. 1 utvidet -	Videre forlengelse av kailinje mot sør + åpen pelekai foran fylling.	Medfører meget store motfyllinger og vurderes som en utfordrende løsning, men antas gjennomførbart. Setninger estimeres til 1,5-2,5 m. Anbefales å flytte kailinjen lengre inn for dette alternativet. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 5-15 år, men estimatet er meget usikkert.

Justert løsning (JL)		
Område	Kort beskrivelse	Geoteknisk vurdering
SHA 4 -Alt. 2-	Minimert fylling + kontinuerlig kaifront fra eksisterende kai i nord.	Vurderes som en gjennomførbart og god løsning. Medfører kun behov for mindre utfyllinger. Setninger estimeres til 20-70 cm. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 1-2 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 7 -Alt. 2-	Kailinje rotert innover fra kai 35 til prestebekken + åpen pelekai foran fylling.	Vurderes som en gjennomførbart og god løsning. Medfører kun behov for mindre utfyllinger. Setninger estimeres til 30-70 cm. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 0,5-1,5 år, men estimatet er meget usikkert.
SHA 7 -Alt. 2 utvidet -	Videre forlengelse av kailinje + åpen pelekai uten bakomliggende fylling.	Vurderes som en gjennomførbart og god løsning. Medfører kun behov for mindre utfyllinger, men kaidekket ved indre deler av Torsvika må antagelig pelefunderes i sin helhet. Setninger estimeres til 30-70 cm. Utførelsestid for oppfylling estimeres til 0,5-1,5 år, men estimatet er meget usikkert.

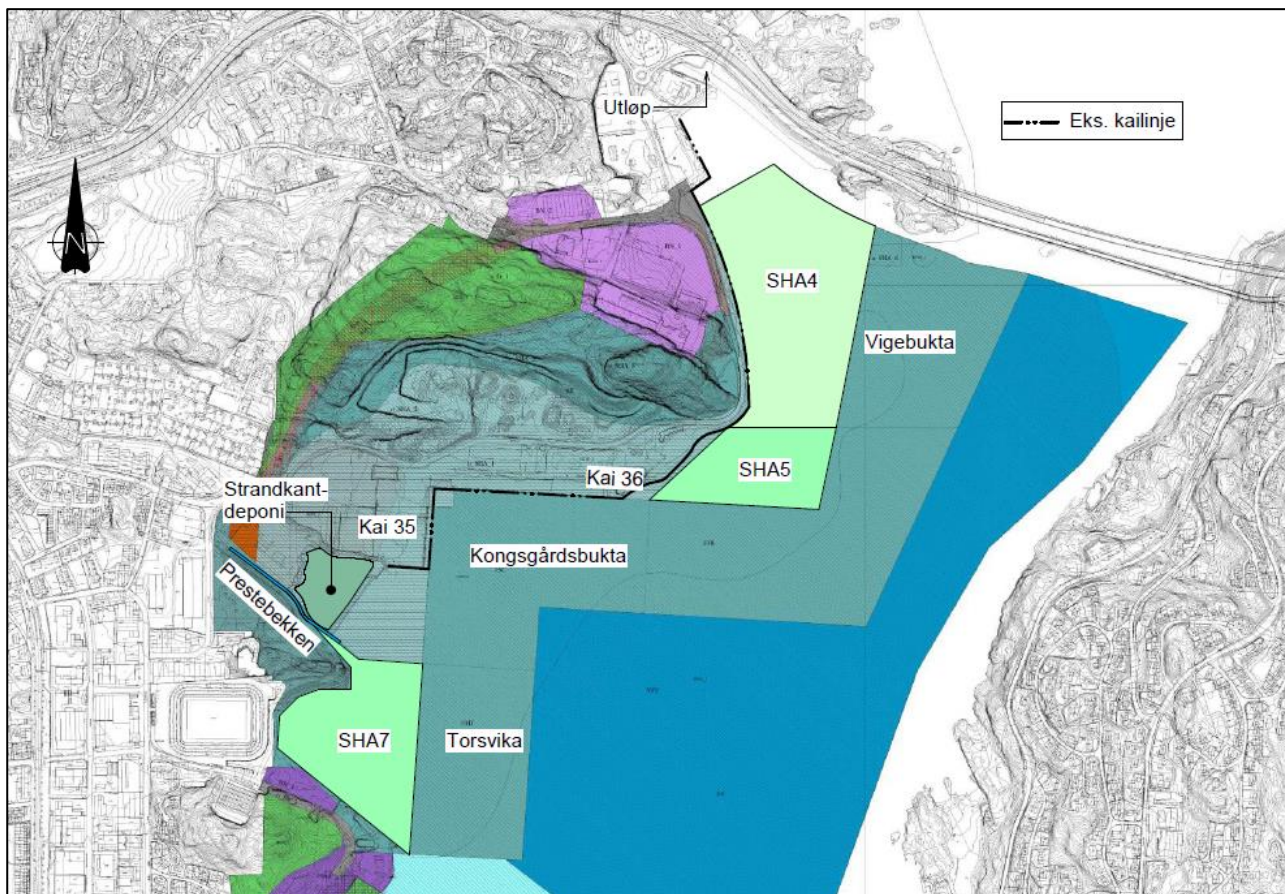
## ► Innhold

<b>1</b>	<b>Generelt</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Vigebukta (SHA4 og SHA5)</b>	<b>9</b>
2.1	Generelt	9
2.2	Generell geoteknisk vurdering av Vigebukta	10
2.3	Kailinje som følger ytterkant av regulert område (Base Case)	11
2.3.1	<i>SHA4 – Alternativ 1</i>	12
2.3.2	<i>SHA5 – Alternativ 1</i>	14
2.3.3	<i>SHA5 – Alternativ 2</i>	16
2.3.4	<i>SHA5 – Alternativ 3</i>	17
2.4	Kailinje som ikke følger ytterkant av regulerte områder (Justert løsning)	18
2.4.1	<i>SHA4 – Alternativ 2</i>	18
2.4.2	<i>SHA5</i>	19
<b>3</b>	<b>Torsvika/Kongsgårdsbukta (SHA7)</b>	<b>20</b>
3.1	Generelt	20
3.2	Generell geoteknisk vurdering av Torsvika/Kongsgårdsbukta	21
3.3	Kailinje som følger ytterkant av regulerte området (Base Case)	22
3.3.1	<i>SHA7 – Alternativ 1, til Prestebekken</i>	22
3.3.2	<i>SHA 7 – Alternativ 1, Utvidet</i>	23
3.4	Kailinje som ikke følger ytterkant av regulerte områder (Justert løsning)	25
3.4.1	<i>SHA7 – Alternativ 2</i>	25
3.4.2	<i>SHA7 – Alternativ 2, Utvidet</i>	26
<b>4</b>	<b>Teknisk løsning - Prinsipp</b>	<b>28</b>
4.1.1	<i>Åpen pelekai med friksjonsplate</i>	28
4.1.2	<i>Åpen pelekai uten friksjonsplate</i>	29
<b>5</b>	<b>Kostnadsestimat</b>	<b>30</b>
5.1	Vigebukta (SHA4 og SHA5)	30
5.1.1	<i>SHA4 – Alternativ 1</i>	30
5.1.2	<i>SHA4 – Alternativ 2</i>	30
5.1.3	<i>SHA5 – Alternativ 1</i>	31
5.1.4	<i>SHA5 – Alternativ 2</i>	31
5.1.5	<i>SHA5 – Alternativ 3</i>	31
5.2	Torsvika/Kongsgårdsbukta (SHA7)	32
5.2.1	<i>SHA7 – Alternativ 1</i>	32
5.2.2	<i>SHA7 – Alternativ 1, Utvidet</i>	32
5.2.3	<i>SHA7 – Alternativ 2</i>	33
5.2.4	<i>SHA7 – Alternativ 2, Utvidet</i>	33
<b>6</b>	<b>Referanser</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>34</b>



## 1 Generelt

Kristiansand Havn KF (KS Havn) ønsker å etablere en ny kailinje fra Kai 36 til og med SHA5-området, og videre nordover til og med SHA4-området innerst i Vigebukta, se Figur 1-1. I tillegg skal det etableres en ny kailinje i Torsvika/Kongsgårdsbukta fra Kai 35 og sørover til og med SHA7-området.



Figur 1-1: Regulerte områder SHA4, SHA5 og SHA7 (Utklipp fra kommunedelplan, Kristiansand Kommune, 27.03.2019)

I denne rapporten er teknisk løsning, stabilitet av fylling, kostnader og lagringsareal vurdert. Konstruksjonsprinsipp, geotekniske forhold og utfyllingsbehov beskrives for de ulike områdene.

Vurderinger tilknyttet vanngjennomstrømning i Vigebukta vurderes i neste fase etter at kailinjen fastlegges. Restriksjoner tilknyttet Prestebekken er tatt med i vurderingene av ny kailinje i Torsvika.

For øst-vest kailinjen i SHA5-området tilrettelegges det for fremtidig bruk som containerterminal (maks skipsstørrelse 8000 TEU, LOA=340 m). Sør-nord kailinjen som går fra SHA5 mot SHA4 tilrettelegges for fremtidig bruk som skipsgodsterminal (maks skipsdeplasement 26 000 tonn, LOA=160 m). Kailinjen i SHA7-området tilrettelegges for fremtidig bruk som skipsgodsterminal (maks skipsdeplasement 86 000 tonn, LOA=230 m)

I Kapittel 2 vurderes en ny kailinje for Vigebukta (SHA4 og SHA5). Ytterkant av reguleringsområdet brukes som utgangspunkt for vurdering av kailinje etter regulert område (Base Case). Totalt presenteres 2 alternative løsninger for SHA4 og 3 løsninger for SHA5.

Kapittel 3 omhandler en ny kailinje i Torsvika (SHA7). To ulike kailinjer er vurdert – én som følger ytterkant av regulert område, og én som er justert for å redusere utfylling. Ulike løsninger for strandkantdeponi har tidligere blitt utredet av Multiconsult (ref. [3]), og er kort oppsummert i Kapittel 3.

Teknisk løsning av omtalte kaikonstruksjoner er beskrevet i Kapittel 4, og et grovestimat av kostnader tilknyttet de ulike løsningene presenteres i Kapittel 5. Formålet med kostnadsestimatet er å kunne sammenligne de ulike alternativene.

## 2 Vigebukta (SHA4 og SHA5)

### 2.1 Generelt

Under dette kapittelet vurderes to ulike kailinjer: En kailinje som følger ytterkant av regulerte område (SHA4 og SHA5), og en justert kailinje. For en oversikt over Vigebukta med regulerte områder, se Figur 2-1.



Figur 2-1: Oversikt over Vigebukta med regulerte områder

Området helt sør i SHA5 (øst-vest kailinjen) skal tilrettelegges for containerskip som en forlengelse av Kai 36. Samt skal et område tilrettelegges for bulkskip, se Figur 2-3 for illustrasjon av kailinjer. Det er ønskelig å kunne benytte så stor andel som mulig av det regulerte området til fremtidig lagring.

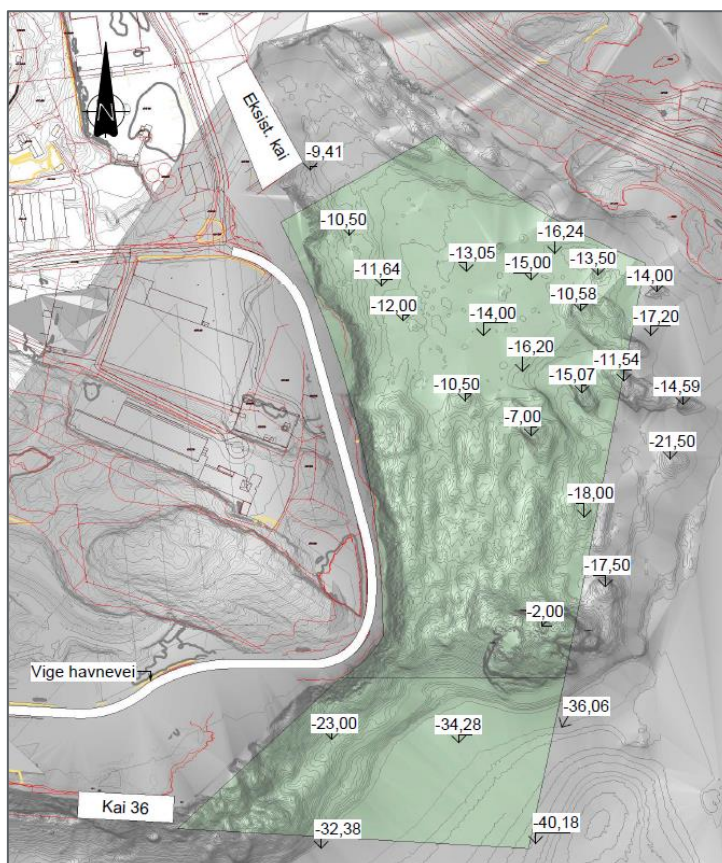
Følgende forutsetninger legges til grunn etter ønske fra KS Havn. I SHA4 og SHA5-området etableres kaidekke opp til kote +2,5 (NN2000). For øst-vest kailinjen i SHA5-området legges det til grunn en jevnt fordelt vertikal nyttelast på 6 tonn/m<sup>2</sup>, for fremtidig bruk som containerterminal. I tillegg skal container-kaien tilrettelegges for STS-kran. Dybde ved kaifront er satt til 16,5 m. Nord-sør kailinjen som går fra SHA4 ned mot SHA5 dimensjoneres for 4 tonn/m<sup>2</sup>, for fremtidig bruk som terminal for skipsgods. Dybde ved kaifront er satt til 10 m.

Kai forbeholdt containerskip, SHA5, dimensjoneres for en maks horisontallast på 100 kN/m, som tilsvarer skip med deplasement på 145 000 tonn (omtrent 8000 TEU). Anvisninger fra havnebygging [2] gir anbefalinger for skipsdeplasement på maks. 100 000 tonn, som tilsvarer en dimensjonerende horisontallast på 50 kN/m. Kai forbeholdt bulkskip, SHA4, dimensjoneres for 50 kN/m.



Det vurderes som økonomisk fordelaktig å etablere en åpen pelekai med bakomliggende fylling i store deler av området. En spunkai er mindre bestandig og det vil kreves stag i flere nivåer for å ta opp horisontalkrefter.

Utfyllingen i SHA4-området vil påvirke vanngjennomstrømningen fra utløpet innerst i Vigebukta. Grunnleggende vurderinger tilknyttet dette er gjort mtp. fyllingens utbredelse. Detaljerte vurderinger gjennomføres i neste fase av prosjektet.



Figur 2-2: Eksisterende sjøbunn (SHA4 og SHA5). Høydereferanse NN2000.

## 2.2 Generell geoteknisk vurdering av Vigebukta

Topografi og grunnforhold er varierende i Vigebukta. Ved indre områder i SHA4 er sjøbunnen relativt grunn og flat bortsett fra enkelte bergknauser. Mot SHA5 og like øst for SHA4 øker sjøbunnsdybden svært mye. Eksisterende sjøbunn i Vigebukta og sørover mot Kai 36 er vist på Figur 2-2.

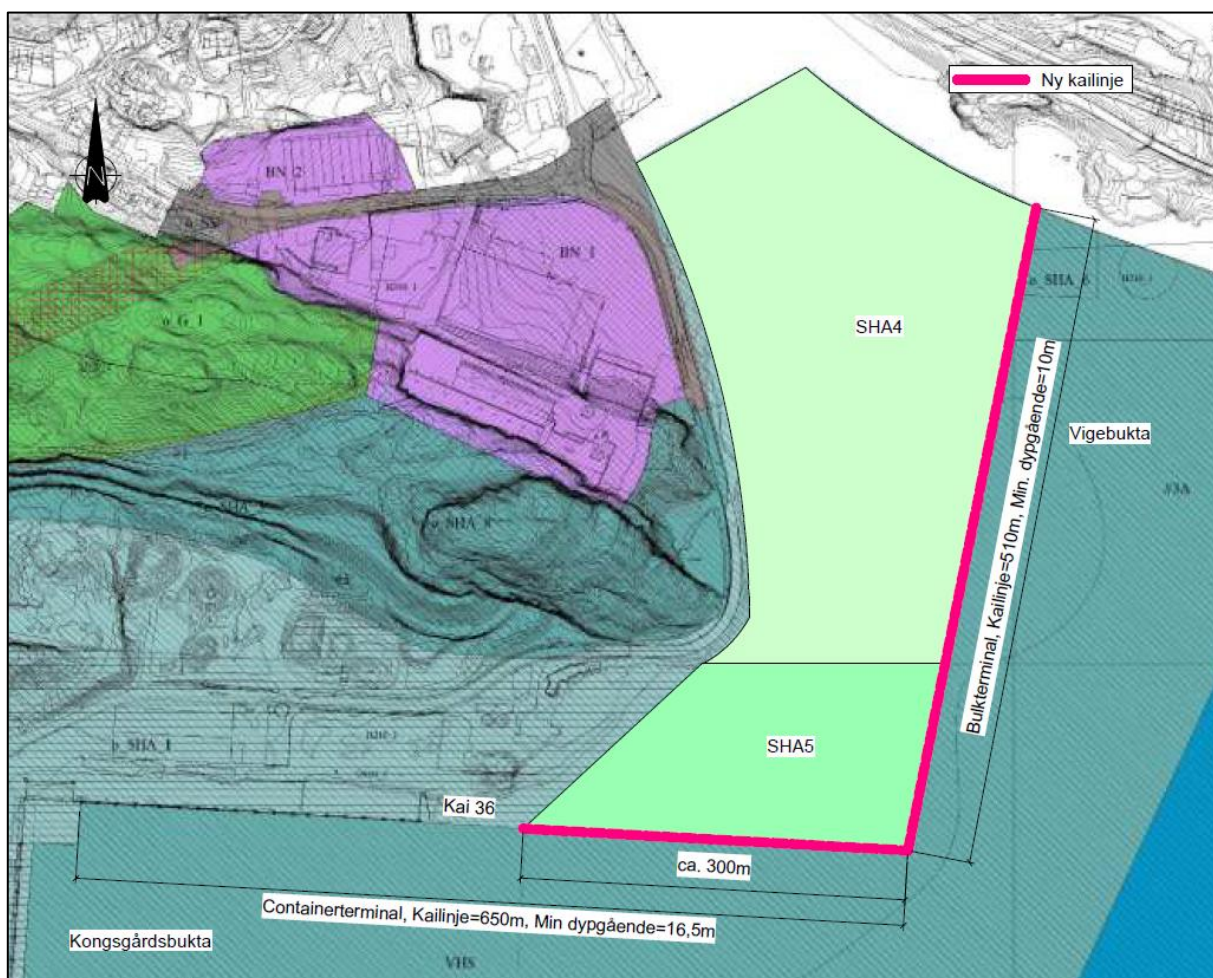
Utførte grunnundersøkelser viser generelt 1-3 m friksjonsmasser over bløt leire til berg. Leiren er sensitiv i enkelte områder, men det er tatt opp få prøveserier. Det vil være behov for en utredning av områdestabilitet i neste prosjekteringsfase, samt utførelse av supplerende grunnundersøkelser.

Det er utført tidligere utfyllinger i områder, som er synlig på sjøbunnskart. Utfyllingene har inntil 10 m høyde og ligger i hovedsak i søndre til midtre del av SHA4, samt inn mot land i SHA5. Utfyllingene har en stabiliserende effekt for videre utfyllinger.

### 2.3 Kailinje som følger ytterkant av regulert område (Base Case)

For å utnytte hele arealet innenfor de regulerte områdene SHA4 og SHA5, vurderes muligheten for å etablere en kailinje som følger ytterkantene av området. Ny kailinje etableres som en forlengelse av Kai 36 (øst-vest), forbeholdt containerskip med en maksimal kapasitet på ca. 8000 TEU (LOA=340 m). Total lengde på øst-vest kailinje er 650 m. Videre knekker kailinjen nordover mot SHA4 (sørs-nord), forbeholdt bulkskip med deplasement på 26 000 tonn (LOA=160 m). Total lengde på sør-nord kailinje er 510 m. Se Figur 2-3 for illustrasjon.

Videre i dette kapittelet presenteres ulike alternativer, både for SHA4- og SHA5-området.



Figur 2-3: Kailinje - Regulerte områder SHA4, SHA5 og ny kailinje langs ytterkanter, Base Case.



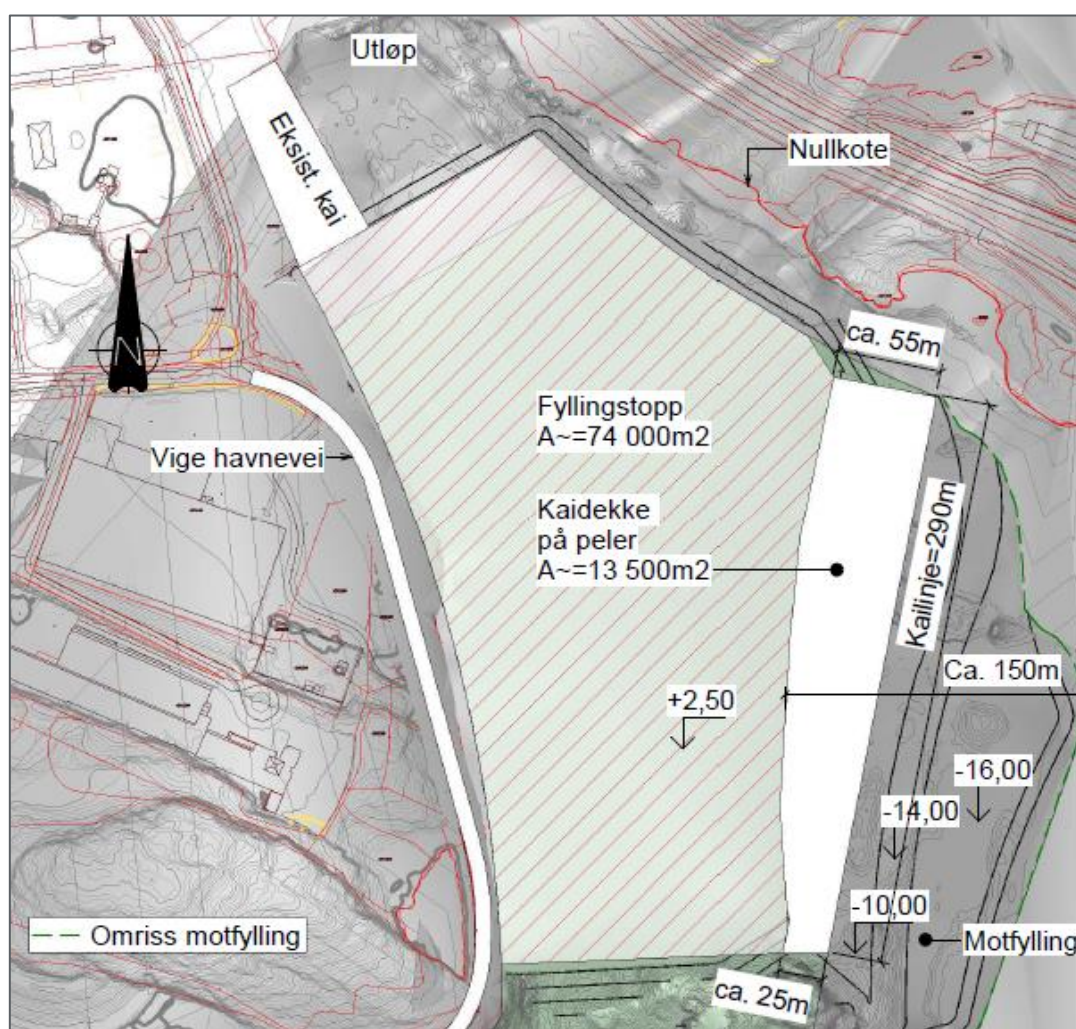
### 2.3.1 SHA4 – Alternativ 1

Det skal etableres en fylling opp til kt. +2,5. Utenfor det oppfylte kaiområdet etableres en åpen pelekai med varierende bredde (ca. 25-55 m), for å opprettholde en helt rett kailinje fra SHA5 og nordover. Geotekniske vurderinger er gjort for å maksimere utbredelsen av oppfyllingen i SHA4-området, hvilket krever en motfylling på omtrent 150 m i front (østsiden), med flere platåer. Fjell ligger på kote -15 til -40 ved kaifronten. For teknisk beskrivelse av kaikonstruksjon, se Kapittel 4.1.1. For illustrasjon, se Figur 2-4.

Det kan bli nødvendig med mudring/sprengning for å få tilstrekkelig vanddybde ved sørsiden av kaien pga. en bergknaus, se Figur 2-2.

Totalt fyllingsvolum er anslått til omtrent 1 500 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til 87 500 m<sup>2</sup>.

Vanngjennomstrømmingen fra utløpet innerst i Vigebukta skal opprettholdes, hvilket begrenser bredden av fyllingen i Vigebukta. En analyse av vanngjennomstrømning utføres i neste fase, som kan føre til at fyllingen må justeres.



Figur 2-4: SHA4 - Alternativ 1. Totalt fyllingsvolum: 1 500 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 87 500 m<sup>2</sup>.

### Geoteknisk vurdering

«SHA4 - Alternativ 1» vurderes som geoteknisk gjennomførbart. Sjøbunnen ligger i hovedsak rundt kote -15 som medfører ca. 17,5 m oppfylling. Mot kailinjen øker sjøbunnsdybden et par meter, før den videre øker til kote -25 til -40 omtrent 50 m øst for kaifronten. Den økende sjøbunnsdybden medfører behov for en relativt stor motfylling. Nødvendig motfylling kan trolig reduseres betraktelig dersom kaifronten flyttes 50-100 m lengre inn.

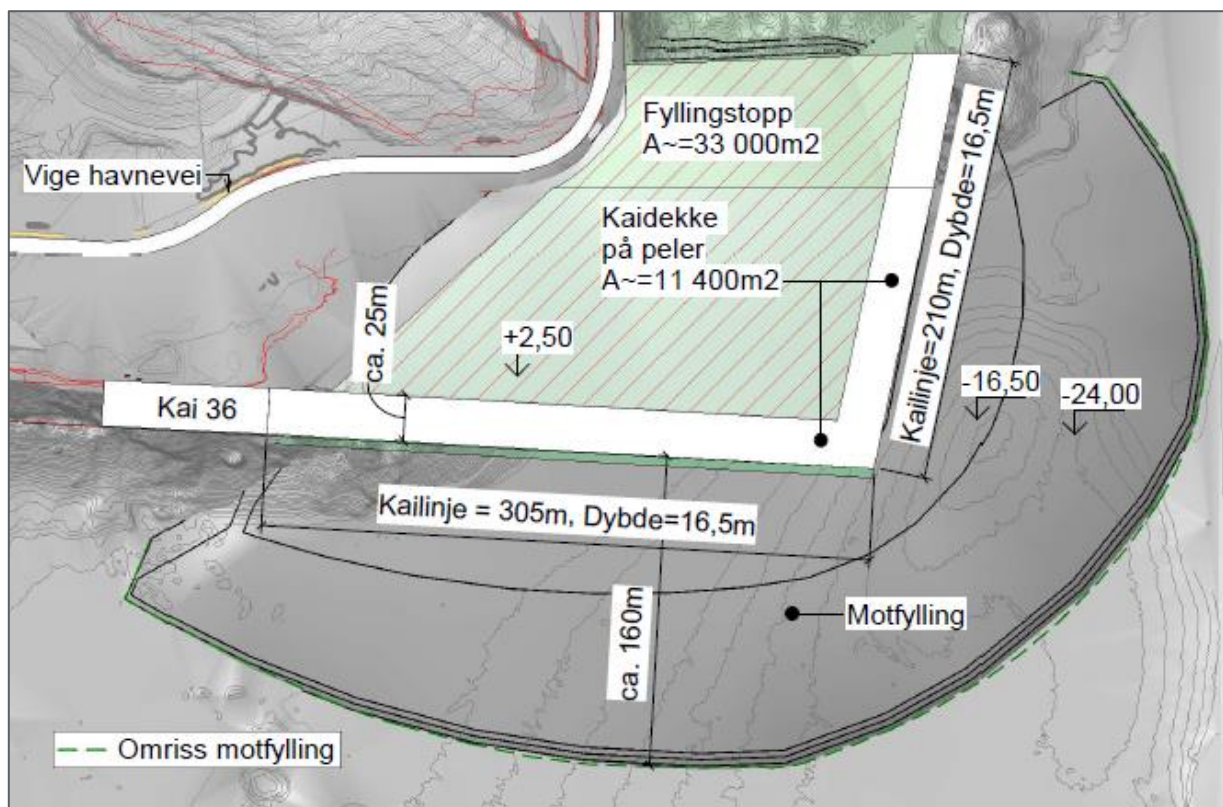
Setninger estimeres grovt til ca. 1-1,5 m innenfor kaifronten. Setningene vil variere i stor grad på området, og vil påløpe over flere år uten tiltak. Det må vurderes om dette er akseptabelt, siden det vil medføre betydelig vedlikeholdsarbeid i flere omganger. Utfyllingen er meget stor, og vil måtte etableres seksjonsvis. Det vil være behov for å installere poretrykksmålere for å kontrollere poretrykket kontinuerlig under utførelse. Utførelsestiden vil trolig være relativt lang, men er vanskelig å estimere da dette avhenger av poretrykksforløpet. Etableringstid og setningsforløp kan forkortes betydelig ved anvendelse av vertikaldren, men dette er meget kostbart. Poretrykksmålinger fra den tidligere utfyllingen i området viste relativt kort konsolideringstid, som er positivt dersom man ønsker å gå for denne løsningen.



### 2.3.2 SHA5 – Alternativ 1

Fylling etableres opp til kt. +2,5 i hele SHA5-området. Utenfor det oppfylte området etableres en åpen pelekai med en bredde på omtrent 25 m. Dybde til fjell er over 30 m i dette området. Iht. til de geotekniske vurderingene vil fyllingen kreve en motfylling på omtrent 160 m i front, delt inn i to platåer på kt. -16,5 og kt. -24,0, se Figur 2-5. For teknisk beskrivelse av konstruksjon, se Kapittel 4.1.1.

Totalt fyllingsvolum er anslått til 2 300 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til ca. 44 400 m<sup>2</sup>.



Figur 2-5: SHA 5 - Alternativ 1. Totalt fyllingsvolum: 2 300 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 44 400 m<sup>2</sup>.

#### Geoteknisk vurdering

Det er utfordrende å fylle ut til den regulerte kaifronten i SHA5-området siden sjøbunnsdybden er meget stor. Nødvendig motfylling har meget stor utbredelse og høyde (inntil 30 m). Utfyllingene vil medføre svært store setninger da det er store løsmassemektheter av leire, og antatt stor dybde til berg. Setninger estimeres grovt til 3 m innenfor kaifronten. Setningene vil variere over kaien, og påløpe over mange år, samt gi betydelig tilleggsbelastning på pelene. Det må vurderes om dette er akseptabelt, siden det vil medføre betydelig vedlikeholdsarbeid i flere omganger og over mange år.

Det er tilnærmet ikke utført grunnundersøkelser utenfor kaifronten, og det vil derfor være behov for et betydelig omfang av supplerende grunnundersøkelser dersom man ønsker å gå for dette alternativet. Supplerende grunnundersøkelser kan også gi informasjon som øker/reduserer estimert nødvendig motfylling og setninger.

Etableringstiden for fyllingen vil antagelig være meget lang grunnet den store fyllingshøyden. Fyllingen må utføres i mange etapper, mens poretrykket måles fortløpende. Nødvendig etableringstid for motfyllingen er vanskelig å estimere da dette avhenger av poretrykksforløpet, men tidligere utfyllinger i området viser relativt kort konsolideringstid. Etableringstiden og setningsforløpet kan kortes betydelig ned dersom det installeres vertikaldren, men dette er svært kostbart.

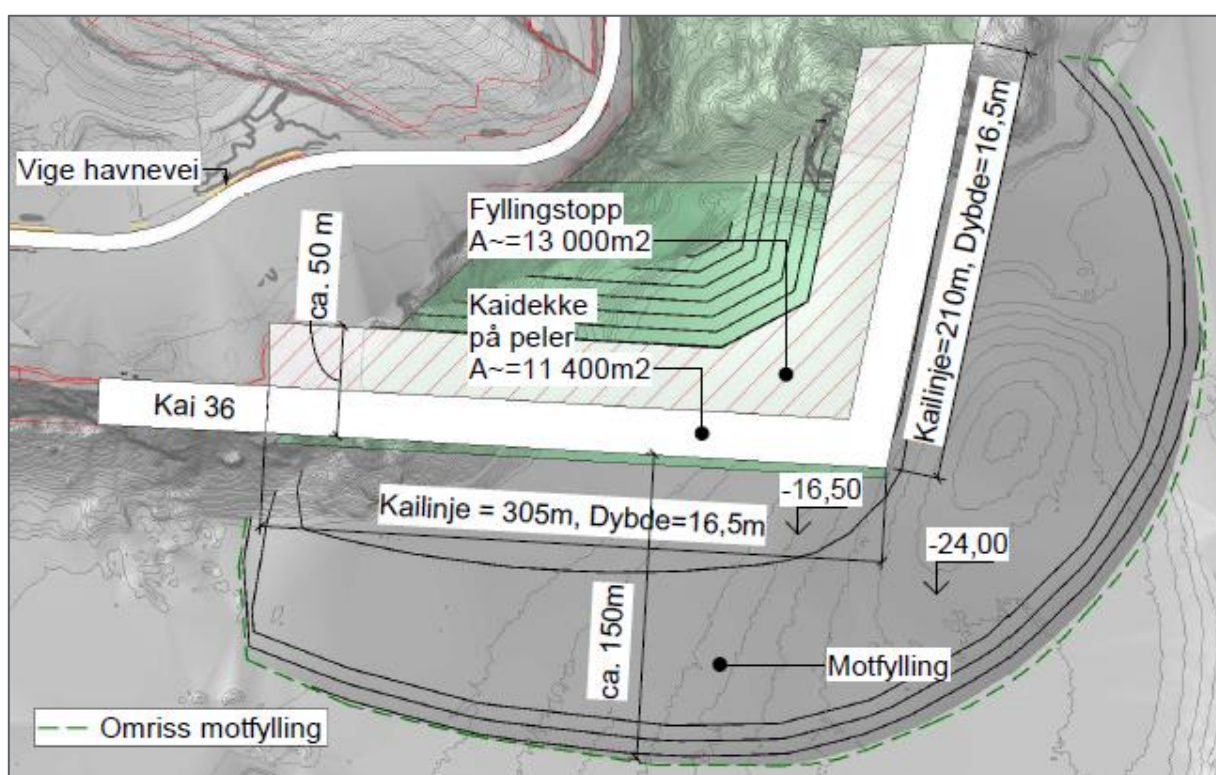
Oppsummert vurderes løsningen som geoteknisk gjennomførbar basert på innledende vurderinger, men det presiseres at det er flere utfordringer, som beskrevet ovenfor, og det anbefales også at man vurderer andre løsninger. Dersom det ønskes å beholde kaifrontlinje er et alternativ å øke pelefundamentert område av kaien. Dette vil redusere motfyllingen og setningene betydelig, og vurderes som en gunstigere løsning mtp. gjennomførbarhet, utførelsestid og pålitelighet, men det vil trolig være en mer kostbar løsning. Løsningen er beskrevet senere i rapporten som «SHA5 - Alternativ 3».

### 2.3.3 SHA5 – Alternativ 2

Fylling etableres opp til kt. +2,5 langs ytterkanten av SHA5-området, med en åpen pelekai i front. Se Figur 2-6 for illustrasjon. Total bredde av fyllingstopp og kaidekke er 50 m, hvilket er tilstrekkelig for en STS-kran. Det betyr at fyllingen begrenses og innsiden av det oppfylte området blir åpent, hvilket reduserer behovet for motfylling. Teknisk løsning av kaikonstruksjon på pelere blir lik som for «SHA5 - Alternativ 1».

Total bredde på 50 m er beholdt også etter kailinjen knekker nordover. Siden det ikke skal tilpasses for STS-kran i dette området, kan denne bredden reduseres. Dette må vurderes i neste fase.

Totalt fyllingsvolum reduseres til omtrent 1 700 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til ca. 24 400 m<sup>2</sup>.



Figur 2-6: SHA5 - Alternativ 2. Totalt fyllingsvolum: 1 700 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 24 400 m<sup>2</sup>.

#### Geoteknisk vurdering

Nødvendig motfylling og geotekniske vurderinger blir tilsvarende som beskrevet for «SHA5 - Alternativ 1». Etableringstid for motfylling og setningsforløpet vil derimot reduseres noe. Det kan være mulig å fylle bassenget ved et senere tidspunkt, men det vil oppstå betydelige setninger ved ev. oppfylling, samt påhengslaster på pelene. Det vil derfor være gunstig å utføre dette fortløpende over mange år, f.eks. med ev. fyllmasser som skulle bli tilgjengelig fra øvrige prosjekter i området. Ev. senere utfyllinger må først vurderes av geotekniker.

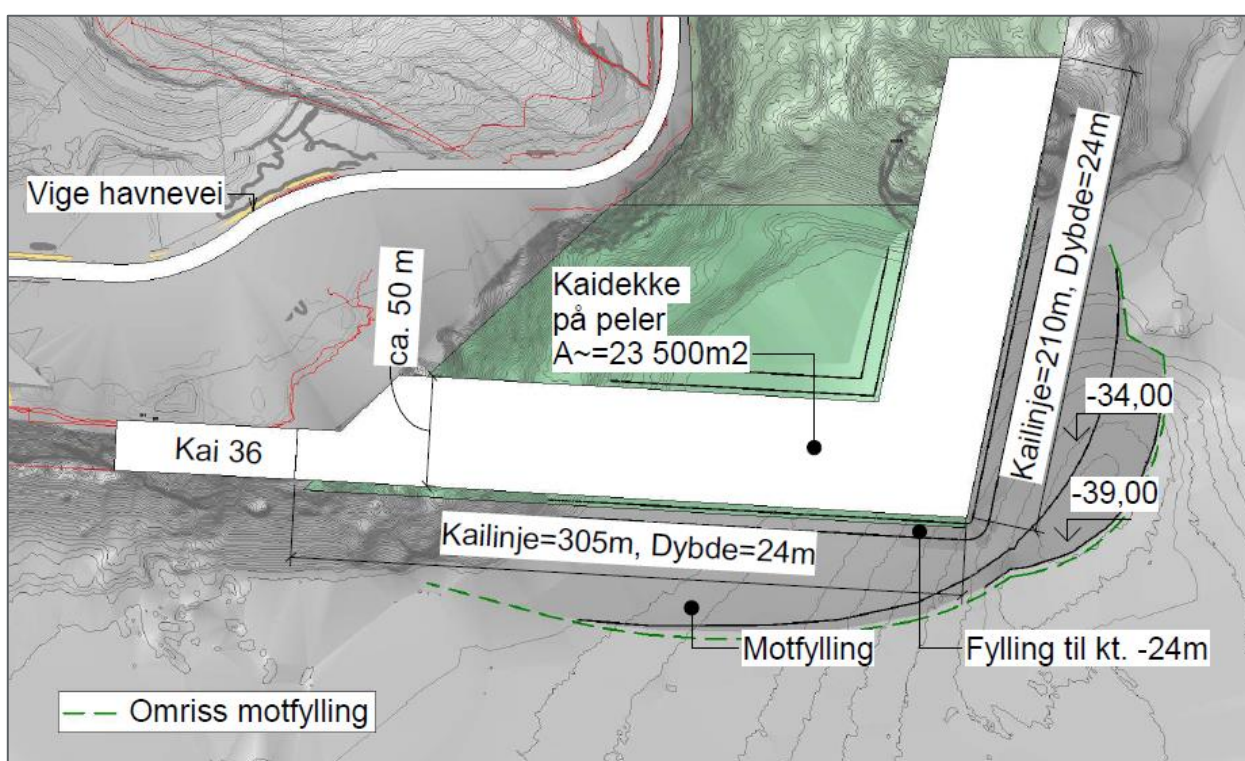


### 2.3.4 SHA5 – Alternativ 3

En åpen pelekai etableres med ca. 50 m bredde i SHA5 området, med en underliggende fylling opp til kt. -24 for å redusere pelenes knekk lengde. Teknisk løsning er vist i Kapittel 4.1.2. Skråpeler etableres for opptak av horisontalkrefter. Kaibredde er, som for «SHA5 - Alternativ 2», tilstrekkelig for STS-kran. Total kailinje blir som for de foreliggende alternativene. Løsning er illustrert på Figur 2-7.

Total bredde på 50 m er beholdt også etter at kailinjen knekker nordover. Siden det ikke skal tilpasses for STS-kran i dette området, kan denne bredden reduseres. Dette må vurderes i neste fase.

Totalt fyllingsvolum reduseres ytterligere til omtrent 250 000 m<sup>3</sup>, som følge av at pelene bærer mer av belastningen. Totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til ca. 23 500 m<sup>2</sup>.



Figur 2-7: SHA5 - Alternativ 3. Totalt fyllingsvolum: 250 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 23 500 m<sup>2</sup>.

#### Geoteknisk vurdering

Alternativet er geoteknisk gjennomførbart. Sammenlignet med «SHA5 - Alternativ 1» og «SHA5 – Alternativ 2» vil motfylling og etableringstid reduseres betraktelig, mens gjennomførbarhet og pålitelighet økes betraktelig. Setninger er ikke et problem siden kaien fundamenteres på peler, utover at pelene må dimensjoneres for påhengslast. Med mindre det er betydelige kostnadsmessige og bruksmessige negative konsekvenser for dette alternativet, anbefales alternativ 3 overfor alternativ 1 og 2.



## 2.4 Kailinje som ikke følger ytterkant av regulerte områder (Justert løsning)

### 2.4.1 SHA4 – Alternativ 2

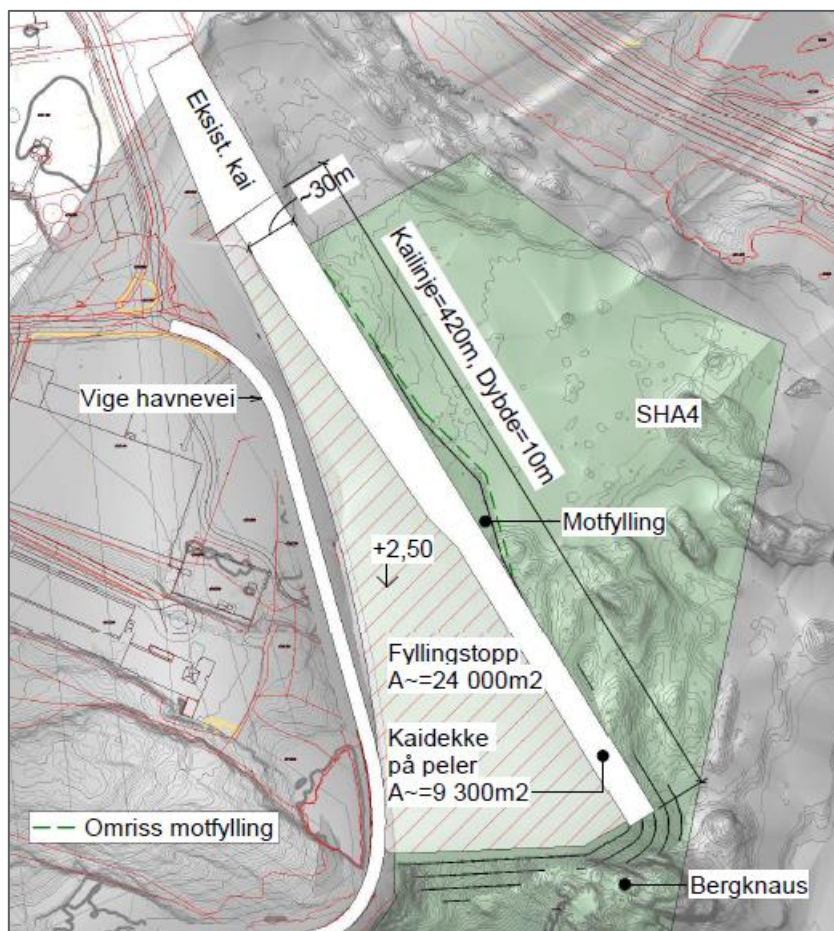
En kontinuerlig kaifront (ca. 420 m) etableres fra eksisterende kai innerst i Vigebukta. For å unngå det grunne partiet helt sør i SHA4-området roteres den nye kailinjen ca. 2 grader utover i forhold til eksisterende kailinje i nord. Kailinjen vil virke som kontinuerlig da dette er en svært liten rotasjon.

Denne kailinjen blir tilrettelagt for bulkskip, som nord-sør kailinjen beskrevet tidligere. Det vil være nødvendig med noe mudring i Vigebukta for å oppnå tilstrekkelig seilingsdybde, se Figur 2-2 for dybdekoter.

Basert på de geotekniske vurderingene, avsluttes fyllingen før bergknausen helt sør i SHA4-området, og trekkes skrått innover for å unngå det bratte området ned mot SHA5. Stabilitetsberegninger er utført for flere snitt langs denne fyllingen. Det er behov for en liten motfylling ved nordre del av SHA4 (nord for eksisterende fylling).

Vanngjennomstrømningen i Vigebukta påvirkes minimalt sammenlignet med «SHA4 – Alternativ 1».

Totalt fyllingsvolum er estimert til 400 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til ca. 33 300 m<sup>2</sup>.



Figur 2-8: SHA4 - Alternativ 2. Totalt fyllingsvolum: 400 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 33 300 m<sup>2</sup>.

### Geoteknisk vurdering

Dette alternativet krever kun mindre motfyllinger og har relativt kort etableringstid. Gjennomførbarhet og pålitelighet er gunstigere enn ved øvrige alternativer. Setninger estimeres grovt til 20-70 cm innenfor kaifronten. Setningene vil variere over området og påløpe over lang tid. Det må vurderes estimerte setninger er akseptable, siden det antagelig vil medføre behov for vedlikeholdsarbeid.

Det er noen stabilitetsutfordringer helt innerst i Vigebukta mot eksisterende kai, og nytt kaidekke i dette området må derfor potensielt pelefunderes i sin helhet. Dette området er relativt lite, og mer avanserte stabilitetsberegninger kan trolig redusere omfang av pelefundering.

#### 2.4.2 SHA5

KS Havn bekreftet at det ikke er aktuelt å knekke øst-vest kailinjen nordover uten å ha tilstrekkelig lengde for to containerskip med kapasitet opp mot 8000 TEU (LOA=340 m). Kailengde fra eksisterende Kai 35 til en fremtidig Kai 36 er 380 m. Kneking av øst-vest kailinjen før enden av SHA5-området vil begrense kaifronten til ca. 450 m, noe som vil redusere kapasiteten av container terminal for å ta imot flere store containerskip samtidig. Derfor gjøres det ikke videre vurderinger av en kailinje som ikke følger ytterkanten av det regulerte området i SHA5.

## 3 Torsvika/Kongsgårdsbukta (SHA7)

### 3.1 Generelt

For en oversikt av Torsvika med regulerte områder, se Figur 3-1. Eksisterende sjøbunn i Torsvika, fra Kai 35 og sørover mot SHA7-området, er vist på Figur 3-2. Nødvendig dybde ved kaifront er satt til kote -14,0 etter ønske fra KS Havn, hvilket er det samme som for Kai 35.



Figur 3-1: Oversikt av Torsvika/Kongsgårdsbukta med regulert område SHA7.

Kote på kaidekke og fylling i SHA7-området tilpasses kai 35, som har en kotehøyde på ca. +2.6, ref. [1]. Her legges det til grunn en jevnt fordelt nyttelast på 4 tonn/m<sup>2</sup>, for fremtidig bruk som terminal for skipsgods. Anvisninger fra havnebygging [2] gir anbefalinger for skipsdeplasement på maks. 100 000 tonn, som tilsvarer en dimensjonerende horisontallast på 50 kN/m. Kai forbeholdt bulkskip dimensjoneres for 50 kN/m.

Eksisterende Kai 35 ble etablert som en spuntkai trolig for å ha kontroll på forurensede masser ved etablering av kaien. En spuntkai er mindre bestandig enn en åpen kailøsning, og som for Vigebukta, kreves stag i flere nivåer for å ta opp horisontalkrefter. Det vil være økonomisk fordelaktig å etablere en åpen kailøsning på peler med en bakomliggende steinfylling. Stabilitetsberegninger er utført for flere snitt langs foreslått fylling.

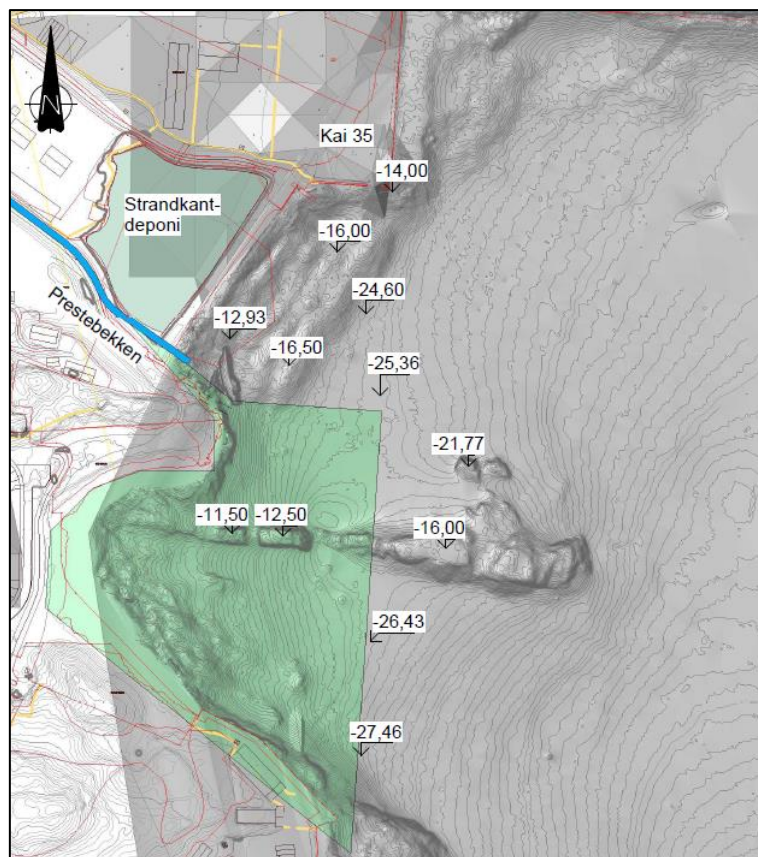
Prestebekken har utløp helt nord i SHA7-området. Den er karakterisert som naturtypen «viktige bekkedrag» i Naturbase. Iht. gjeldene kommunedelplan skal alle områder nord for Prestebekken utvikles først [A]. Dersom Prestebekken berøres i utbyggingen, må dette godkjennes av Fylkesmannen. Ny kailinje legges derfor nord for Prestebekken i første fase, med muligheter for videre utbygging.



Det ligger et strandkantdeponi i området bak den fremtidige kailinjen, ved siden av Prestebekken, se Figur 3-2. Når deponiet avsluttes, ønsker KS Havn å ta i bruk arealet på deponiområdet til havneformål. Metoder for å etablere et areal på deponiområdet er vurdert av Multiconsult i en mulighetsstudie [3], hvor to ulike alternative metoder fremlegges:

- Metode 1 (4.1 i rapport [3]) er å benytte et topplag av komprimert steinfylling.
- Metode 2 (4.1 i rapport [3]) er å forbedre grunnen ved ulike metoder for innblanding av kalk/semert (KS-peler).

Fremtidig lagringsareal på deponiområdet er anslått til omtrent 11 000 m<sup>2</sup>. Merk at begge løsninger krever videre geotekniske vurderinger.



Figur 3-2: Eksisterende sjøbunn sør for Kai 35 og i SHA7. Høydereferanse NN2000.

### 3.2 Generell geoteknisk vurdering av Torsvika/Kongsgårdsbukta

Det er utført innledende geotekniske vurderinger for de ulike alternativene for ny kaifront. Sjøbunnen ligger omtrent på kote -10 til -15 ved indre områder i Torsvika/Kongsgårdsbukta, og kote -25 ved reguleringsgrensen, se figuren ovenfor. Det er en bergknaus mellom områdene, som er tydelig synlig på figuren ovenfor.

Grunnundersøkelsene viser generelt 1-3 m friksjonsmasser over bløt leire til berg. Berget ligger generelt på kote -30 til -45 i Kongsgårdsbukta og kote -10 til -35 i Torsvika (innenfor reguleringsgrensen). Fastheten på leiren varierer betydelig innenfor prosjektområdet som gjør de geotekniske vurderingene utfordrende på skisseprosjektnivå. De geotekniske vurderingene er derfor forsøkt lagt til konservativ side.



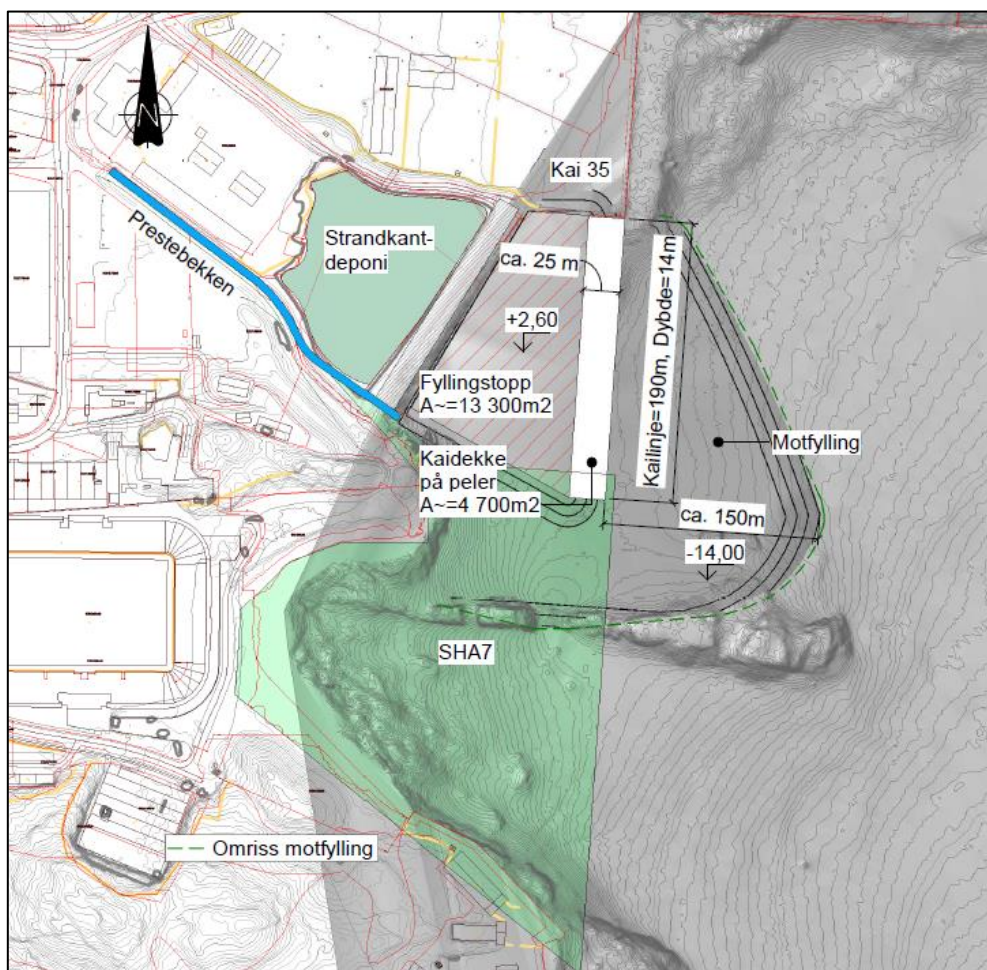
### 3.3 Kailinje som følger ytterkant av regulerte området (Base Case)

#### 3.3.1 SHA7 – Alternativ 1, til Prestebekken

Ved å etablere den nye kailinjen som en forlengelse av Kai 35, sørover mot SHA7-området, tilfredsstilles ønsket vanndybde, samtidig som kailinjen etableres uten knekk. For denne løsningen er det ikke behov for mudring.

Fylling etableres opp til kt. +2,6, med en åpen pele kai i front med en bredde på ca. 25 m. Det må etableres en motfylling på ca. 150 m utenfor dette. Total lengde på ny kailinje blir omtrent 190 m.

Totalt fyllingsvolum blir omtrent 720 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke blir ca. 18 000 m<sup>2</sup>.

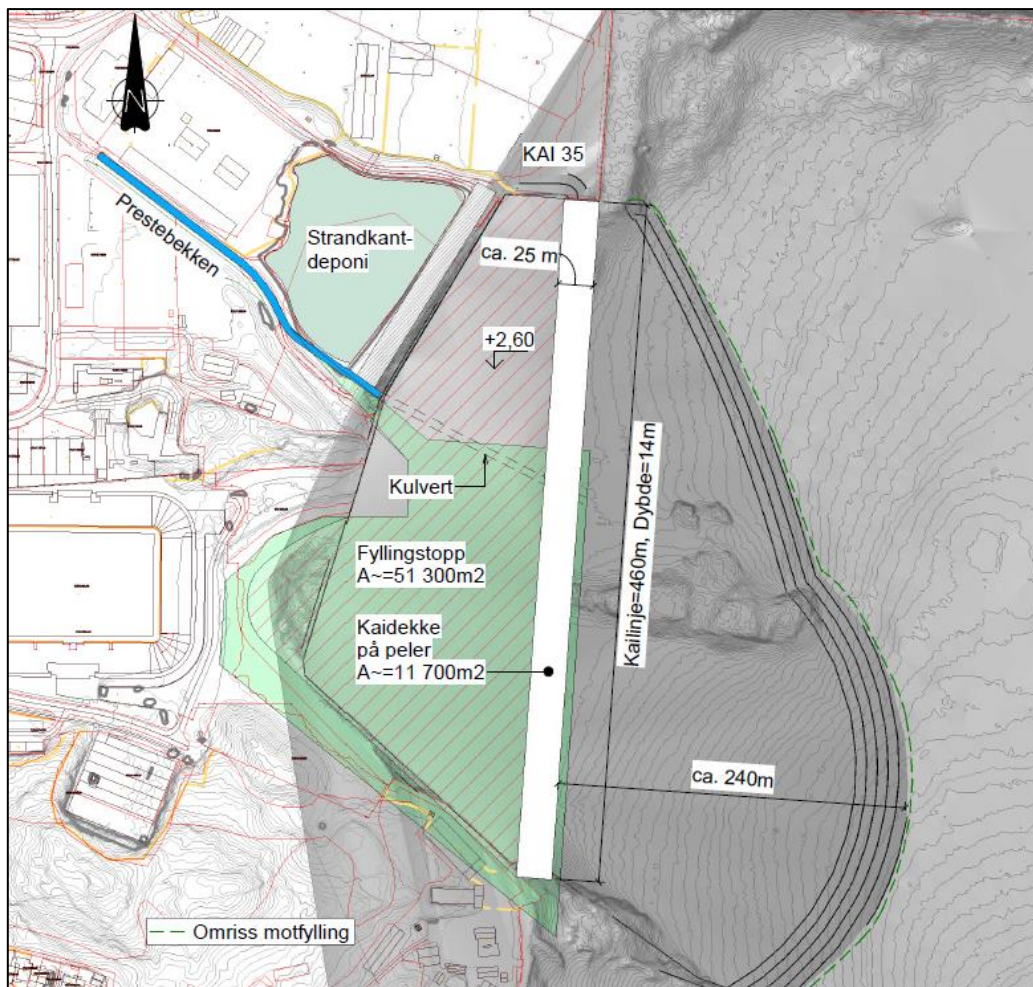


Figur 3-3: SHA7 – Alternativ 1. Totalt fyllingsvolum: 720 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 18 000 m<sup>2</sup>

### 3.3.2 SHA 7 – Alternativ 1, Utvidet

En videre forlengelse av foreslått kailinje, sørover langs SHA7, er vurdert. Det må etableres en kulvert for å føre Prestebekken ut i Torsvika. Løsningen må godkjennes av FM. Fyllingen utvides til hele SHA7-området, med en åpen pelekai i front og deretter motfylling.

For en utvidelse blir totalt utfyllingsvolum omtrent 2 300 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal ca. 63 000 m<sup>2</sup>. Kailinje økes til omtrent 460 m.



Figur 3-4: SHA7 - Alternativ 1, Utvidet. Totalt fyllingsvolum: 2 300 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 63 000 m<sup>2</sup>.

## Geoteknisk vurdering

Det er behov for betydelige motfyllinger for å etablere regulert kaifront.

Nord for prestebekken er det behov for 50-150 m motfyllingen utenfor kaifronten. Motfyllingen er gjennomførbar, men vil medføre setninger over lang tid, kreve overvåking av poretrykk, samt at utførelsesperioden kan være noe lang.

Sør for prestebekken er stabiliteten meget dårlig, og sjøbunnsdybden større. Det kreves derfor en meget stor motfylling, med inntil 240 m utbredelse. Motfyllingen sør for prestebekken er imidlertid såpass stor at etableringstiden er meget lang. Leiren vil derfor konsolideres noe underveis i utførelsen, som medfører økt styrke, og dermed økt sikkerhet. Det antas at motfyllingen kan reduseres noe ved mer detaljerte vurderinger, men det kan ikke garanteres. Det presiseres at motfyllingen kan medføre en utførelsesperiode på mange år.

Kaifronten sør for prestebekken kan alternativt flyttes lengre inn mot land. Det antas at i størrelsesorden 50-100 m flytting innover, vil medføre betydelig redusert omfang av motfyllingen. Siden sjøbunnen faller av i to ulike retninger og området er relativt stort, er det ikke funnet en «optimal» kailinje, men dette kan undersøkes i neste prosjektfase. Det kan vurderes å først etablere kaien nord for prestebekken og deretter vurdere mulige kailøsninger sør for Prestebekken på et senere tidspunkt.

For regulert kaifront estimeres setninger grovt til 1,5-2,5 m på kaiarealet. Setningene vil variere og påløpe over mange år, samt gi betydelig tilleggsbelastning på pelene. Det må vurderes om dette er akseptabelt, siden det vil medføre betydelig vedlikeholdsarbeid i flere omganger og over mange år. Vertikaldren vil forkorte etableringstid og setningsforløp betraktelig, og anbefales sterkt dersom denne løsningen skal vurderes videre. Hvis det ikke anvendes, risikerer man svært lang etableringstid. Det presiseres at det vil være betydelige kostnader forbundet med dette.

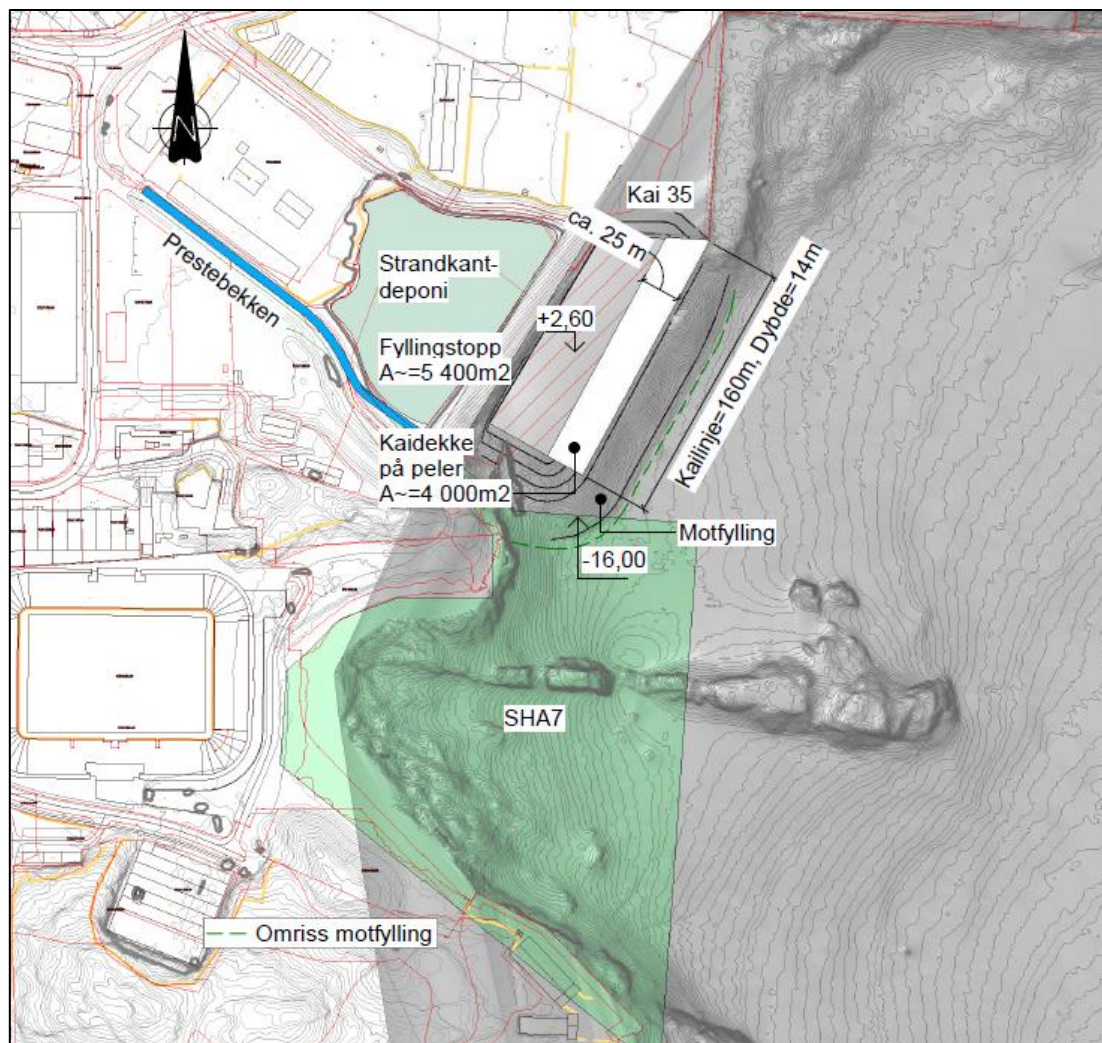


### 3.4 Kailinje som ikke følger ytterkant av regulerte områder (Justert løsning)

#### 3.4.1 SHA7 – Alternativ 2

Kailinje er rotert innover fra Kai 35 for å redusere utfyllingsvolumet og forbedre stabiliteten av fyllingen. Samtidig opprettholdes tilstrekkelig vannndybde på 14 m ved kaifront.

Totalt utfyllingsvolum er anslått til omtrent 150 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke er anslått til ca. 9 400 m<sup>2</sup>.



Figur 3-5: SHA7 - Alternativ 2. Totalt fyllingsvolum: 150 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 9 400 m<sup>2</sup>.

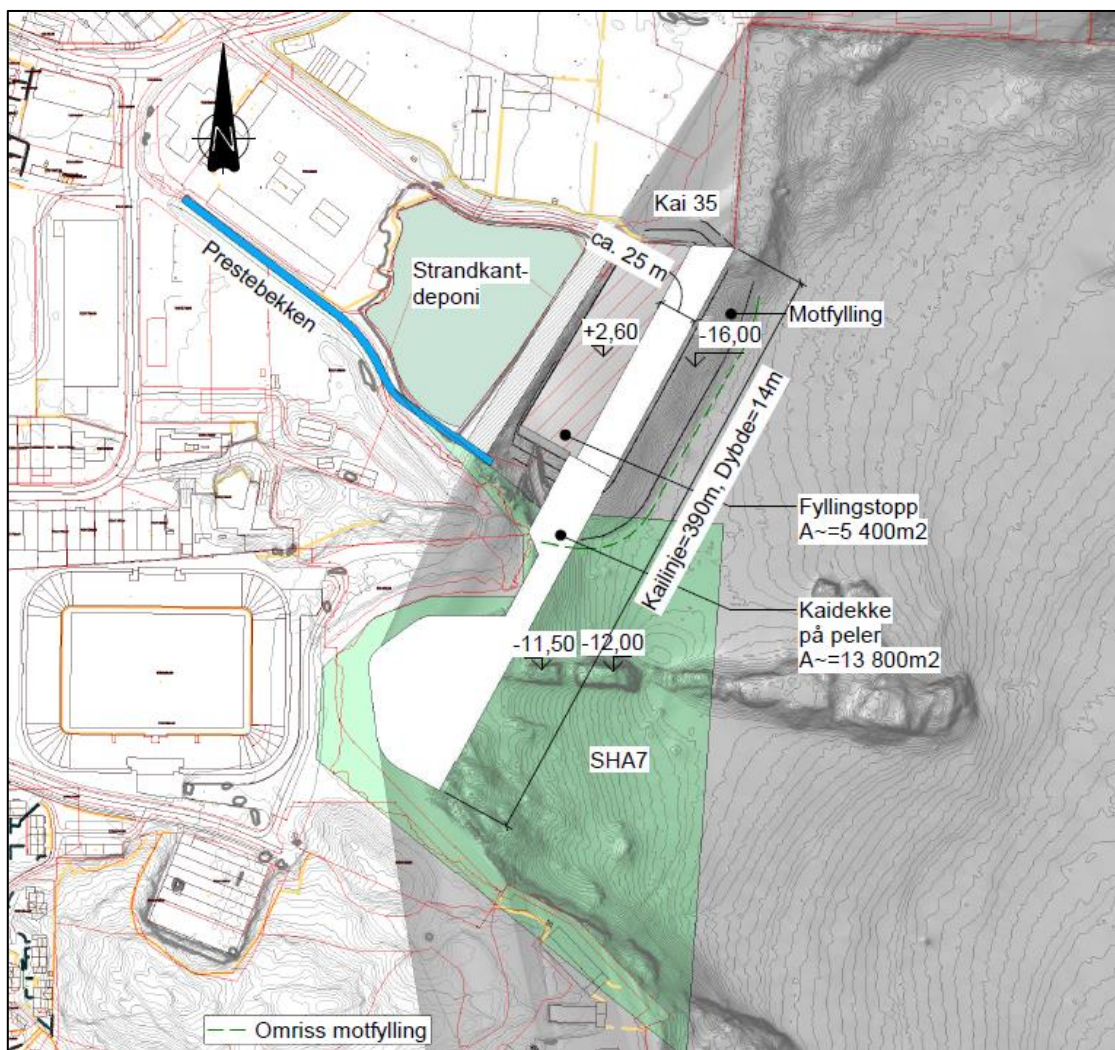


### 3.4.2 SHA7 – Alternativ 2, Utvidet

Iht. den geotekniske vurderingen, se neste delkapittel, er det utfordrende å etablere en stabil fylling videre forbi Prestebekken. Utvidelsen sør for Prestebekken etableres derfor som en åpen pelekai uten bakomliggende fylling.

Denne løsningen vil kreve sprengning/mudring i enkelte partier for å oppnå tilstrekkelig seilingsdybde. Bergknauser er merket med kotehøyder på Figur 3-6.

Totalt utfyllingsvolum blir omtrent 150 000 m<sup>3</sup>, og totalt areal av fyllingstopp og kaidekke blir ca. 19 200 m<sup>2</sup>.



Figur 3-6: SHA7 - Alternativ 2, Utvidet. Totalt fyllingsvolum: 150 000 m<sup>3</sup>. Tilgjengelig areal: 19 200 m<sup>2</sup>.

### Geoteknisk vurdering

En vinklet, redusert kaifront reduserer behov for motfyllinger betraktelig, siden man unngår områdene med store sjødybder. Sammenlignet med alternativ 1 vil denne løsningen ha betydelig mindre utførelsestid og setninger, og betydelig økt gjennomførbarhet og pålitelighet.

Setninger estimeres grovt til 30-70 cm på kaiarealet. Setningene vil variere over området og påløpe over lang tid. Det må vurderes om anslåtte setninger er akseptable, siden det antagelig vil medføre behov for vedlikeholdsarbeid.

Det er noen stabilitetsutfordringer sør for Prestebekken grunnet relativt bratt sjøbunn i dette området. Det må derfor inntil videre antas full pelefundamentert kaidekke sør for Prestebekken. Dette området har imidlertid begrenset størrelse. Omfang av pelefundamentert kaidekke kan trolig reduseres ved mer detaljerte beregninger, redusert krav til seilingsdybde eller flytting av kaifront. Dette må vurderes i neste prosjektfase.

## 4 Teknisk løsning - Prinsipp

To typer kaikonstruksjoner er presentert: En åpen pelekai med forankring i bakomliggende fylling og en frittstående kaikonstruksjon på peler, f.eks. for SHA5-Alternativ 3. Omtrentlige dimensjoner og prinsipp er vist for begge konstruksjonene uten å skille mellom de ulike lastsituasjonene.

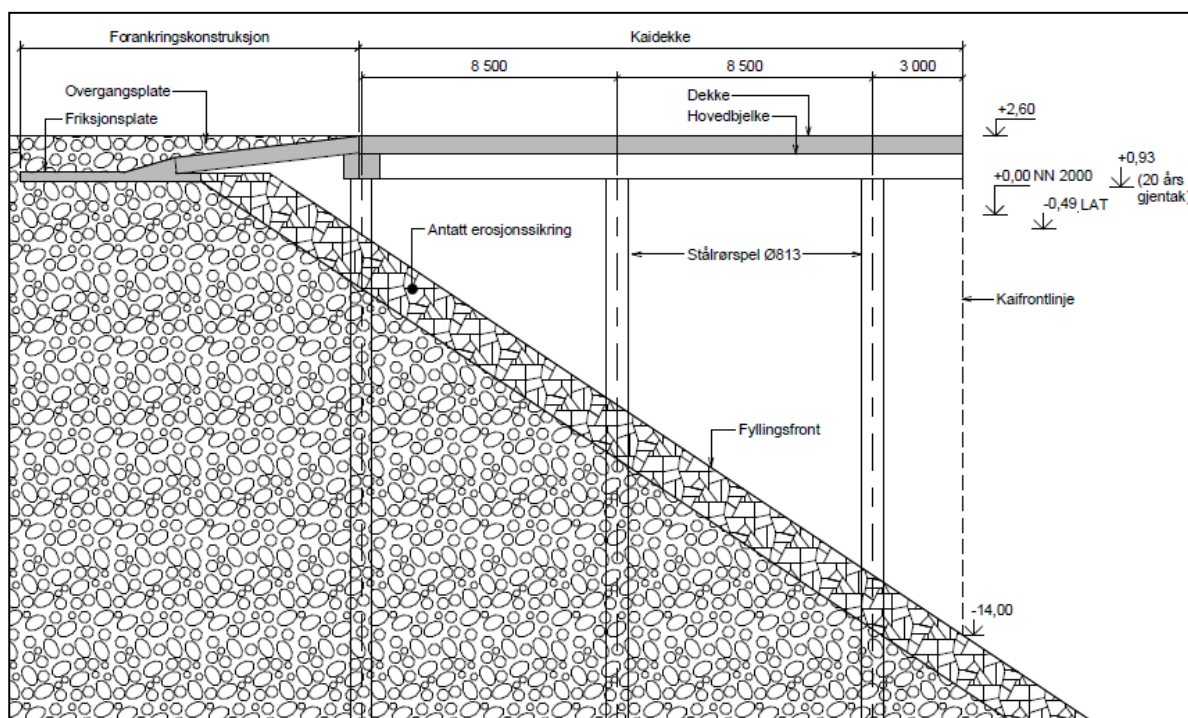
### 4.1.1 Åpen pelekai med friksjonsplate

Kaien skal være en åpen pelekai i betong. Det skal etableres hovedbjelker på tvers med ca. 6 m avstand, med omtrentlige dimensjoner på 1200x1400 mm (bxh). Dekket bygges mellom hovedbjelkene med en tykkelse på ca. 600 mm til en kotehøyde på +2,5 eller +2,6.

Kaien fundamenteres ned til berg på stålørspeler (Ø813). Pelelengdene ned til berg varierer mellom 15 og 45 m avhengig av området. For optak av horisontalkrefter etableres en forankringskonstruksjon bestående av en overgangsplate og en friksjonsplate som ligger i bakomliggende steinfylling. Bakbjelken fungerer som opplegg for overgangsplaten. Typiske dimensjoner og forklaringer for kaikonstruksjonen vises i Figur 4-1, merk at figuren viser løsningen for SHA7.

Kai forbeholdt containerskip i SHA5-området tilrettelegges for en STS-kran. Det etableres derfor en langsgående kranbjelke i overkant av ytterste pelerekke, i tillegg til et fundament for bakre kranskinnen i fyllingen. Dette er ikke vist på figuren under.

Løsningen kan optimaliseres i neste fase.



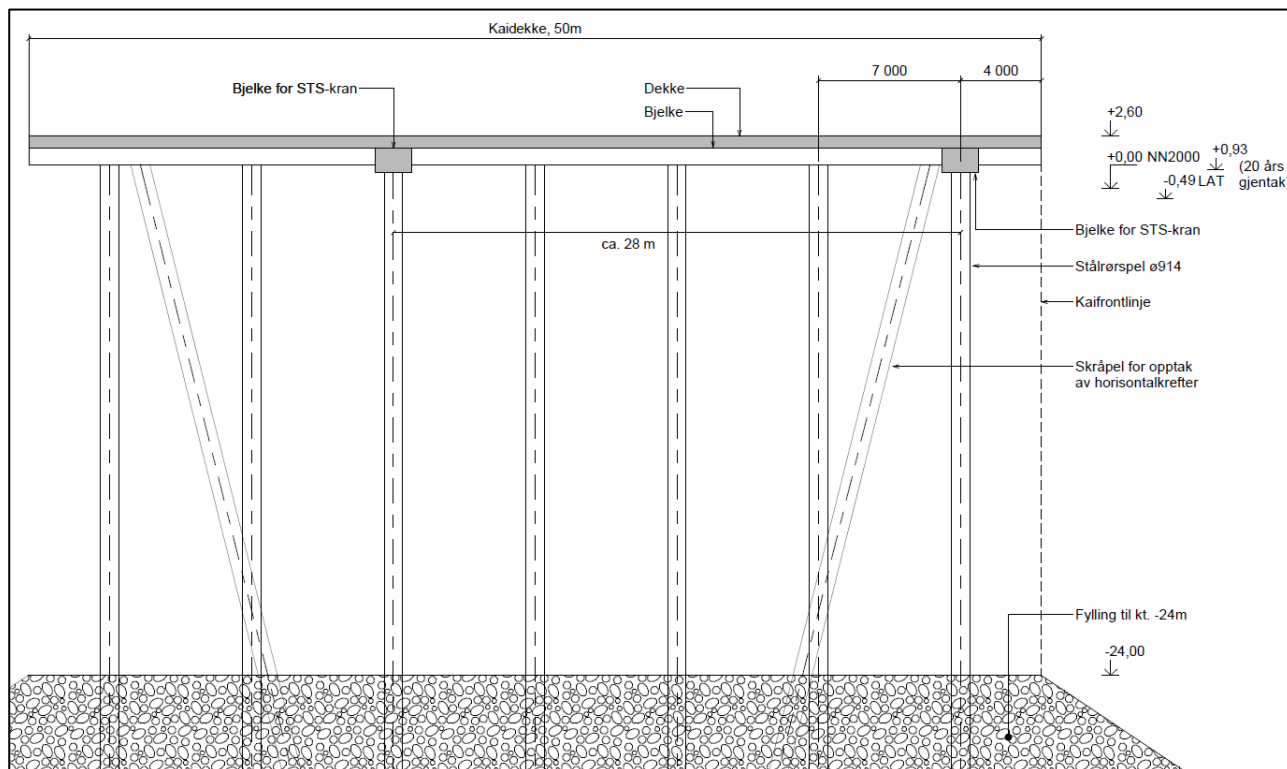
Figur 4-1: Typisk snitt – Kaikonstruksjon med bakomliggende fylling (SHA7)

#### 4.1.2 Åpen pelekai uten friksjonsplate

Kaien etableres som en åpen pelekai i betong opp til kt. +2,5. Dimensjoner på bjelker og dekket er samme som tidligere. Horisontalkrefter tas opp via skråpeler, og som skivekrefter i dekket. Kaien fundamenteres på stålørspeler (Ø914) til berg, med en underliggende fylling som knekkavstiving.

Kaien tilrettelegges for STS-kran med to langsgående kranbjelker i overkant to pelerekker. Det må gjøres ytterligere beregninger for pelene i underkant av kranbjelkene.

Typiske dimensjoner og forklaringer er vist i Figur 4-2.



Figur 4-2: Typisk snitt - Kaikonstruksjon uten bakomliggende fylling (SHA5)



## 6 Referanser

- [1] Høydedata. Tilgjengelig fra: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> (Hentet: Mai 2020)
- [2] Anvisninger for Havnebygging Del 2. Norske Sivilingeniørers Forening
- [3] Multiconsult (2014), *Mulighetsstudie: Kongsgårdsbukta strandkantdeponi*

## 7 Vedlegg

- [A] Norconsult (2020), *Notat: Prestebekken. YM-001*

## VEDLEGG A

Oppdragsgiver: **Kristiansand Havn**  
Oppdragsnr.: **5196817** Dokumentnr.: **YM-001**

**Til:** Steffen Borgar Løvdahl  
**Fra:** Inga Greipsland  
**Dato:** 2020-07-01

## ► Vassdraget Prestebekken

Vassdraget Prestebekken/Vollebekken har sitt utspring i nedre Jegersbergvann og renner gjennom Oddernes kirkegård, under E18, og deretter gjennom et bebygd område før utløpet i sjø ved Kongsgård Vige. Vassdraget er karakterisert som naturtypen «viktig bekkedrag» i Naturbase. Bekkens verdi knyttes først og fremst opp mot potensialet selve bekken har for biologisk mangfold. Den store graden av tekniske inngrep og andre påvirkninger dette vassdraget har, trekker derimot verdien ned. Bekken er blant annet lukket i ca. 170 m i nedre del, etter en liten dam er bekken lukket ytterligere 150 m.

I forbindelse med utviklingen av tidligere industriområde på Lund er det et mål fra Kristiansand Kommunen om åpning av tidligere bekkelukkinger, samt legge til rett for turmuligheter og økt biologisk mangfold. Det er anadrom ørret i bekken, og det er nylig installert en fisketrapp ved tidligere garveri for å bedre oppvandringsmulighetene for ørret. Fisketrappen er ved dammen mellom de to bekkelukkinger. Prosjektet er et spleiselag mellom Kristiansand kommune, Fylkesmannen og Miljødirektoratet. Det er også lagt ut gytegrus i bekken.

Havnen er planlagt utbygd ved utløpet til Prestebekken, men nyeste kommunedelplan (ikke formelt godkjent av kommunaldepartementet) setter visse føringer angående utbyggingen. Alle områder nord for Prestebekken skal utvikles før Prestebekken/Torsvika bygges ut. Kyststien langs bekken og utover mot Torsvika skal opprettholdes til det gis igangsettingstillatelse til tiltak i området. Og før det gis tiltak til utbygging sør for Prestebekken skal det opparbeides en ny tursti som forbinder Marvika med Ringknuten.

Utbygging av havn ved utløpet av Prestebekken og sørover er godkjent i den nyeste kommunedelplanen, men tiltaket må vurderes i henhold til vannforskriften § 12. Paragrafen sier at alle praktisk gjennomførbare tiltak skal settes inn for å begrense negativ utvikling i vannforekomstens tilstand. Endelig løsning på hvordan Prestebekken skal håndteres må godkjennes av Fylkesmannen, enten gjennom en detaljreguleringsfase eller som egen søknad om fysiske tiltak i vassdrag.

For å kunne gjøre nødvendige vurderinger må det skaffes til veie kunnskap både om dagens tilstand i vannforekomsten, og om eventuelle endringer i tilstand som virksomheten forventes å medføre. I dette tilfellet burde det utføres en før-kartlegging av fisketetthet og oppvekst/gyteforhold i bekken, og det burde deretter gjennomføres en miljørisikovurdering av foreslått løsning for utbygging som vurderer hvilken effekt utbyggingen har på fiskeoppvandring og eventuelle barrierevirkninger.

Aktuelle tiltak for å begrense negativ utvikling er:

- Minimerer andel av bekken som må legges under bakken
- Utføre en fiskefaglig vurdering for hvordan en kulvert eller passasje til bekken best mulig kan utformes
- Ha en god dialog med utbyggingen i området oppstrøms havnen. Denne delen av bekken burde åpnes opp i forkant av evt. lukking i nedre del.

J01	2020-07-01	For bruk	INGGRE	OIPHV	IgRau
<b>Versjon</b>	<b>Dato</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Utarbeidet</b>	<b>Fagkontrollert</b>	<b>Godkjent</b>

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.