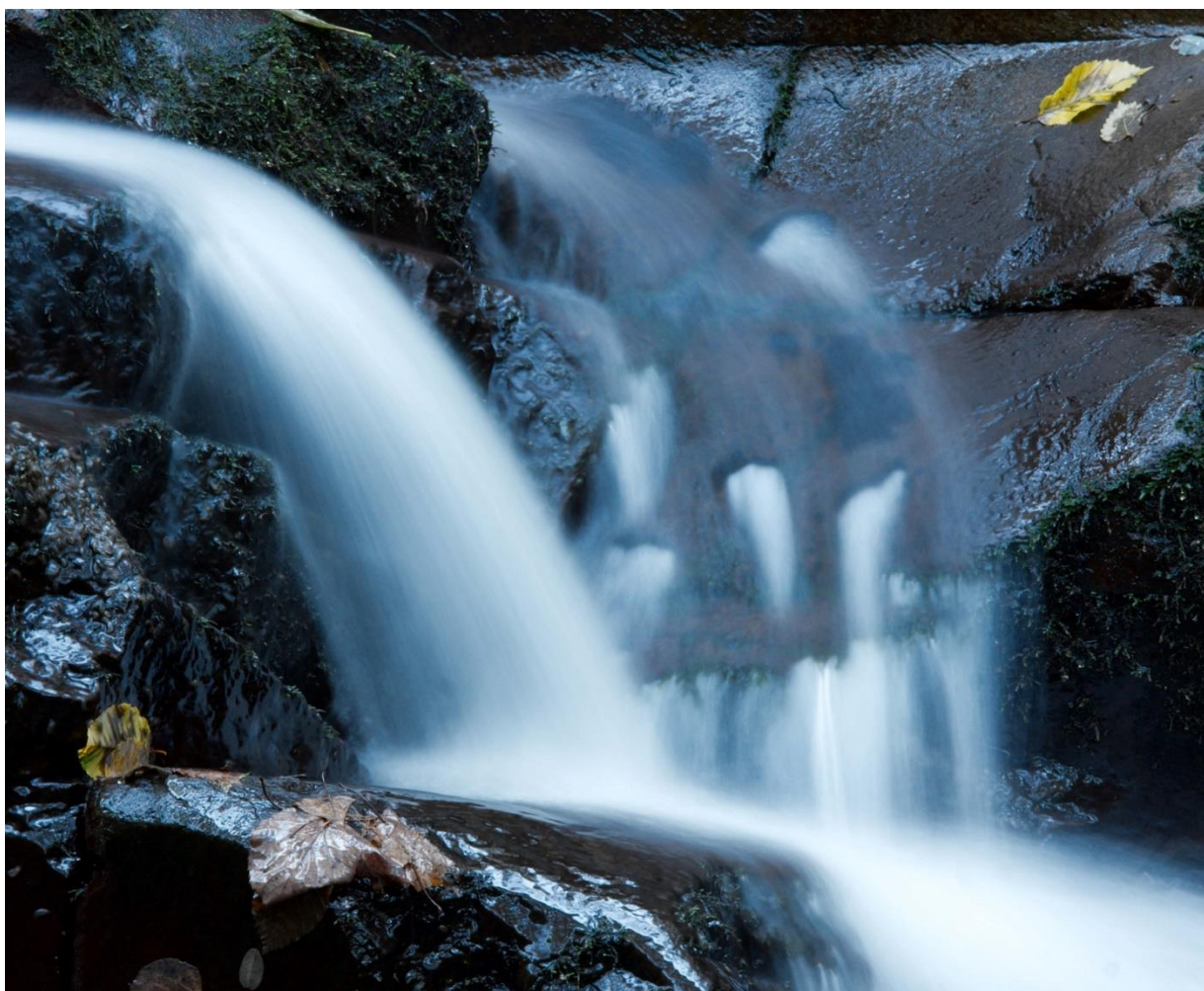


Breivika Utvikling Bodø AS

► **Utviklingsområde vest**

Vurdering av skiring mot sjø

Oppdragsnr.: 6192886 Dokumentnr.: Havn Versjon: 02 Dato: 2020-05-07



Oppdragsgiver: Breivika Utvikling Bodø AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Håvard Engseth
Rådgiver: Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Gøran Antonsen
Fagansvarlig: Arne E. Lothe
Andre nøkkelpersoner: Viktor Renstrøm

02	2020-05-07	Oppdatert mengde motfylling og kostnadsberegning av bølgesikring foran bygninger. Lagt inn eksempelfoto på beplantning på kai.	MagBac	AEL	GAn
01	2020-02-20	Sammenslått notater til en rapport. Oppdatert figur 14 og utført en kostnadsvurdring av kort molo løsning	Arne E. Lothe / Magnus T. Bach-Gansmo	Arne E. Lothe	
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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

► Sammendrag

Norconsult er engasjert av Breivika Utvikling Bodø AS for å vurdere sikringstiltak mot sjøen for planlagte boliger i forbindelse med en utvidelse av bykjernen i Bodø kommune. Det er utført vurderinger av 5 sikringstiltak. Tiltakene inkluderer to moloutforminger, flytende bølgedemper, en lav og bred erosjonssikringsvoll og en kaifront.

Det er forutsatt at utbyggingen må tilfredsstillende kravene i TEK 17 § 7-2 sikkerhetsklasse F2. Lowverket krever at det boligene er tilstrekkelig sikret mot en kombinert effekt av 200 års signifikant bølgehøyde og 200 års stormflo.

Det er ikke utført egne bølgeberegninger på grunn av kompleksiteten av bølgemønsteret inn mot Breivika. Hovedtyngden av bølgene må komme inn mellom Store Hjertøya og øyene utenfor Hernes-skagen, men det er også betydelig vekst av bølgehøyder fra Svartoksleia og inn til Breivika. Basert på tidligere studier antar vi at en dimensjonerende signifikant bølgehøyde i et punkt mellom sørenden av Lille Hjertøya og Hammervika er i størrelse $H_s = 5,0$ m. Bølgene er så modellert inn mot Breivika for å finne de lokale sjøforholdene. Analysen viser at dimensjonerende signifikant bølgehøyde i Breivika er 3,5 m med en spektral topp-periode på 12 s.

Stormfloanalysen viste at vannivået under en 200 års stormflo inkludert havnivåstigning fram til 2090 vil ligge på 3,17 m over NN2000. Det vil si at minimum teoretisk høyde på gulvnivået er 3,17 m NN2000 for å sikre boligene mot stormflo. Gulvnivået bør derimot legges noe høyere for å sikre et lite fall og ned til sjøen. Det er foreslått at gulvnivået ikke legges lavere enn kote +3,5 m NN2000.

Av de ulike sikringstiltakene fraråder vi både en kaifront og flytende bølgedempere. Grunnen er at sjøforholdene er for ekstreme og slike løsninger er ikke egnet på dette stedet.

Vi mener at det beste alternativet er å beskytte byggene med en fast molo. Ved å legge moloen i en viss avstand fra byggene vil høyden være redusert, og utsikten blir ikke hindret. I tillegg gir en molo en mulighet for å tilby båtplasser og marina for beboere og et allment publikum. Av de to moloutformingene er det utført et kostnadsestimat for molo alternativ A (kort moloutforming), som viser at prisen på en molo vil ligge mellom 300 og 400 millioner kroner. Median blokkvekt for en skuldermolo er anslått til 4,5 tonn.

Det er også mulig å bygge slike tiltak ved å fylle ut i sjøen. Dersom man velger å bygge ut i sjøen, vil det i mindre grad gå på bekostning av verdifullt landareal. Det er mulig å bevare utsikten og utsynet utover sjøen ved å bygge en lav og brei voll av store steinblokker ut fra strandkanten. Ulempene med tiltaket er knyttet til estetikk og det visuelle inntrykket, og at man avskjæres fra nærkontakt med sjøen. Man må også regne med at en slik fylling vil bli oppsamlingsted for flytende gods i sjøen. Det knyttes noen utfordringer til hvordan man skal beskytte sør-vestsiden uten å komme i konflikt med den eksisterende småbåthavnen. Kostnadsestimatet for denne løsninger er estimert til å ligge rundt 146 millioner.

Ved utfylling i sjøen må en regne med behov for mudring og masseutskiftning eller andre geotekniske tiltak på grunn av utfordrende bunnforhold.

Bygningene kan også sikres ved å plassere dem langt nok inn på land. Dimensjonerende bølger inn mot Breivika har en beregnet bølgelengde på ca. 140 m. Normalt kan man regne med at effekten fra bølgeopp skyl er null i avstand på en halv bølgelengde inn på land. Derimot anses det som tilstrekkelig å legge byggene 40 m fra kystlinjen ved Breivika pga den lille småbåtmoloen og grove sjøfronten som vil gi en dempende effekt.

► Innhold

1	Innledning	5
2	Utfordringer	6
3	Datagrunnlag	9
4	Metode	10
4.1	Modellområde	10
4.2	Bølgedata	11
4.3	Undersøkte tilfeller	13
5	Alternative metoder for å dempe bølger	17
5.1	Ingen tiltak i sjøen	17
5.1.1	<i>Steinfylling</i>	17
5.1.2	<i>Sikker avstand fra land</i>	18
5.2	Kortere molo	19
5.3	Flytende bølgedempere	20
5.4	Bølgedempingstiltak nært land	20
5.5	Kaifront	21
6	Utredet sikringsforslag – lav og bred voll	23
6.1	Nødvendige steinstørrelser	23
6.2	Sikring av den sør-vestlige sideskråningen	26
6.3	Innseilingsbredde ved den eksisterende småbåthavnen	28
6.4	Kostnadsvurdering	29
7	Kostnadsvurdering av kort molo alternativ A	32

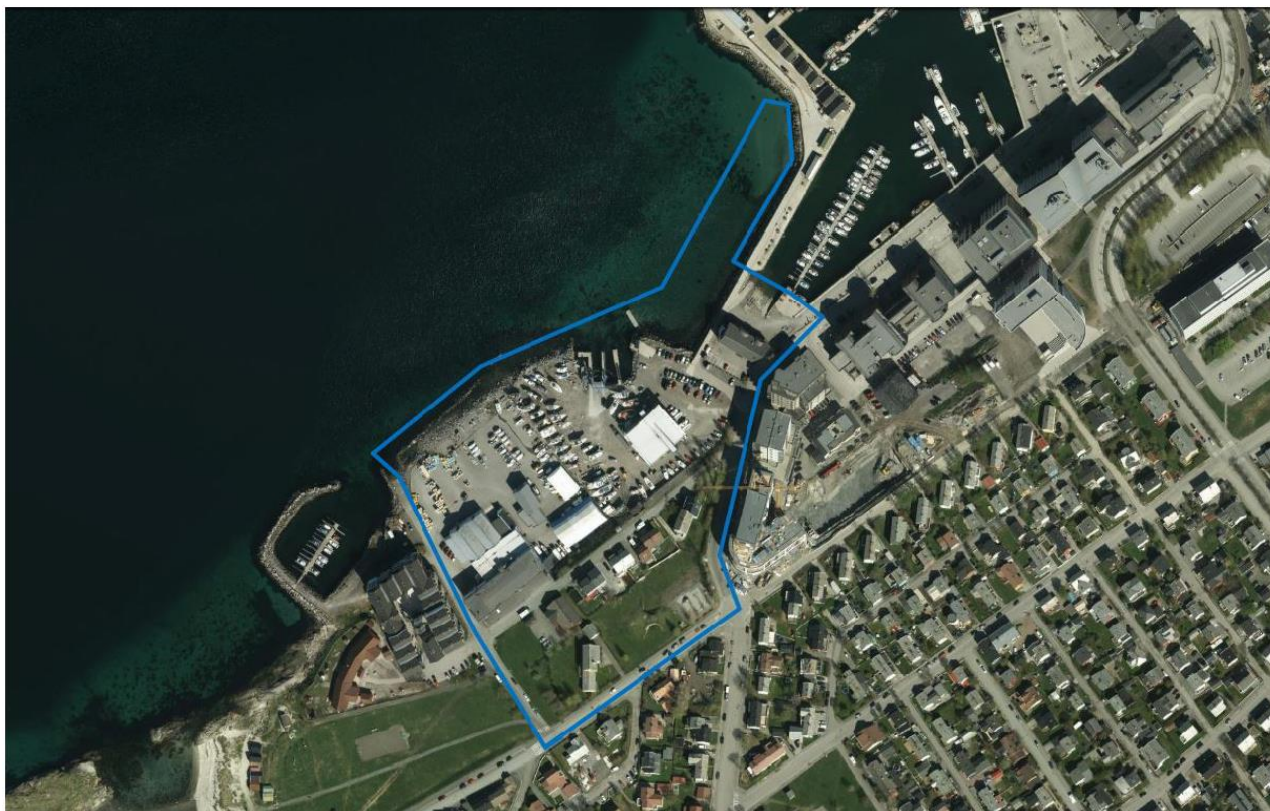
1 Innledning

Det er utarbeidet planer for utvikling av området kalt Utviklingsområde vest i Bodø. Breivika ligger utenfor den store hovedmoloen som beskytter Bodø havn, se Figur 1. Det er planlagt bygninger og boliger med publikumsareal langs strandsonen, se Figur 2.

I innledende diskusjoner er det nevnt at boliger og publikumsområder stiller strenge krav til sikkerhet mot flom. Flom er i denne sammenheng inntrenging av vann der det finnes bygninger eller arealer som er åpne for publikum. Flom kan komme av høy vannstand, bølger eller en kombinasjon av disse.

Det er antydnet at det vil være et behov for å beskytte installasjoner langs sjøkanten mot flom ved hjelp av faste moloer. Det er mulig å gjennomføre et utbyggingsprosjekt uten en molo, men det vil føre til at bygninger må heves opp til et høyere nivå, eventuelt at bygg må flyttes lenger bort fra sjøkanten. I tillegg til at en molo derfor vil gi en høyere utnyttelsesgrad for området, vil moloen også gi et nytt havnebasseng som kan utnyttes som marina.

I dette notatet undersøkes ulike tiltak for å beskytte prosjektet i Breivika mot bølger. Innseilingen til et nytt basseng med molo ligger nær opptil dagens hovedmolo. På et tidlig stadium ble det også vurdert en løsning der den nye moloen ble ført helt fram til hovedmoloen, og at innseilingen til det nye bassenget vil skje via havnebassenget. Den siste løsninger er ikke lenger aktuell, men tilfellet er blitt utredet, og resultatet nevnes i denne rapporten.



Figur 1 Fra planprogrammet. Hovedmoloen i Bodø sees i øvre bildekant



Figur 2 Skisse til utbygging. Opprinnelig kystlinje er merket med stiplet linje

2 utfordringer

Hovedutfordringen er at området er utsatt for stor belastning fra bølger. Det er i tidligere undersøkelser vist at bølger fra Vestfjorden har liten evne til å trenge forbi øyrekka Fleinvær, Bliksvær, Steinsvær, Helligvær og Landegode. De bølgene som kommer inn mot Breivika er derfor dannet i området ytre Saltfjorden, dvs mellom Bodøhalvøya og Fleinvær og Bliksvær.

Hovedtyngden av bølgene må komme inn mellom Store Hjartøya og øyene utenfor Hernes-skagen, men det er også betydelig vekst av bølgehøyder fra Svartoksleia og inn til Breivika og moloen, se Figur 3 og Figur 4.

Vi har ikke en eksakt beregning av bølgehøyder for Breivika, men basert på tidligere studier antar vi at en dimensjonerende signifikant bølgehøyde i området er i størrelse $H_s = 5,0$ m. I et prosjekt som dette må vi forholde oss til bestemmelsene i TEK 17, som gir verdier med 200 års returperiode beregnet for et tidspunkt i 2090.

I Bodø (og hele Salten og Lofoten) er det gode bevis for at høy vannstand vil inntre samtidig med store stormer (sist under «Berit»). I slike tilfeller vil de byggene som står nærmest sjøen være utsatt for flom fra høy vannstand og samtidig oppskylning av bølger på land.

Slik flomfare kan motvirkes ved å legge alle bygg med et laveste golvnivå på et nivå som er høyere enn ekstrem stormflo. Samtidig må det beskyttes mot bølger. Bølgebeskyttelse kan leveres på følgende måter:

1. Heve golvnivå ytterligere til sikkert nivå.
2. Bygge en bølgeskjerm i strandsonen som f.eks en betongmur.
3. Trekke bygg tilbake fra strandlinja.
4. Redusere bølgehøyden mot stranda ved å bygge en molo.

Problemet oppstår fordi man må opp til cirka +3,2 NN2000 for å være sikret mot stormflo, og ytterligere cirka 4 m for å kunne motstå bølger med høyde $H_s = 4.0$ m. Eventuelt kan man trekke byggene ca. 40 m tilbake

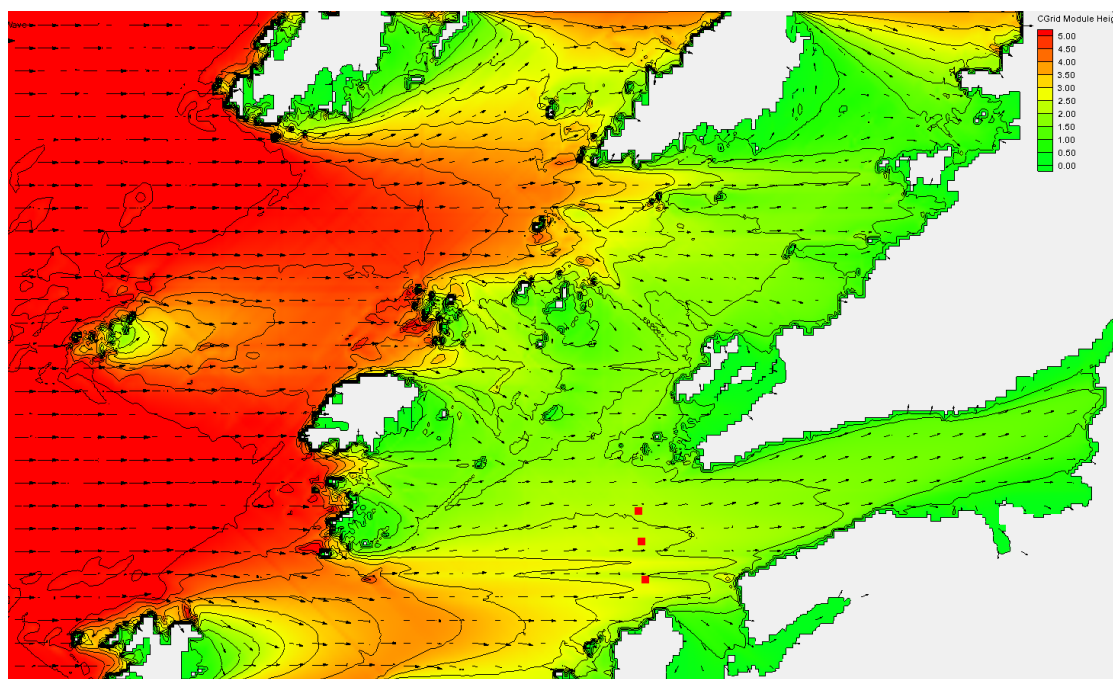
fra strandlinjen. Dersom bølgene skal stoppes i vannkanten vil det gi meget ruvende konstruksjoner som vil forringe kvaliteten på byggene eller det vil båndlegge store arealer som ikke kan bebygges.

Vi mener at det beste alternativet er å beskytte byggene med en fast molo. Ved å legge moloen i en viss avstand fra byggene vil høyden være redusert, og utsikten blir ikke hindret. I tillegg gir en molo en mulighet for å tilby båt plasser og marina for beboere og et allment publikum.

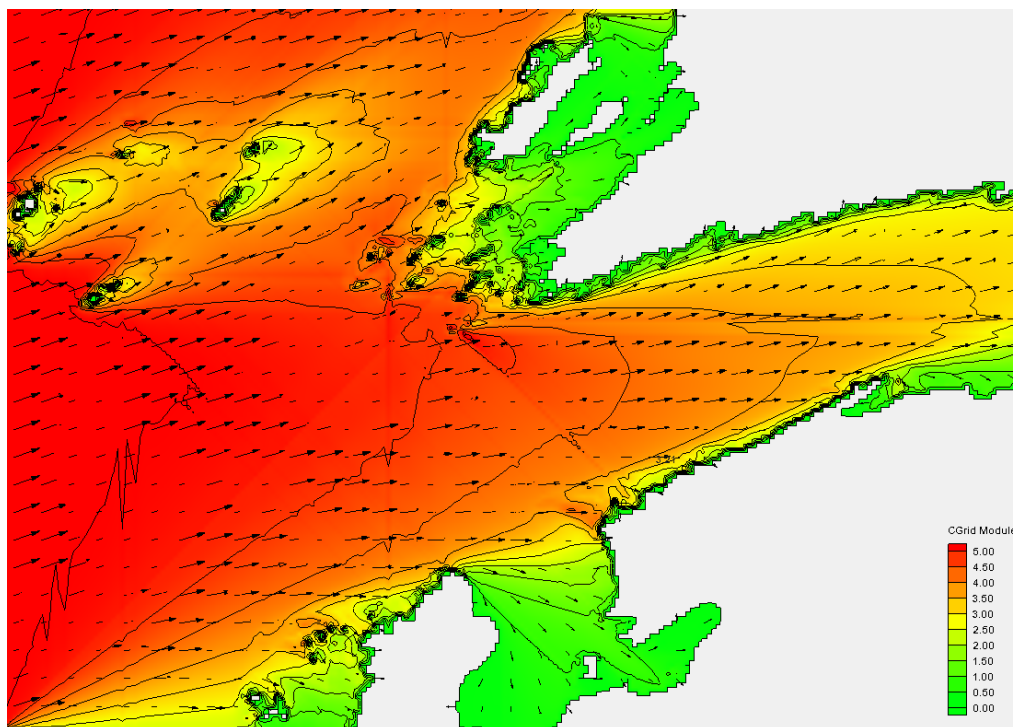
En ny molo må ha sitt startpunkt et sted mellom den nåværende lille moloen tilhørende en marina og Breivikskjæret. Den må være så lang at den gir beskyttelse til alle de planlagte byggene.

Det gir åpning for en mulighet til å koble denne nye moloen sammen med hovedmoloen i Bodø. Det er kjent at hovedmoloen i Bodø er lav, og at den derfor blir stengt for publikum under større stormer. Moloen er gammel, og sannsynligvis betydelig underdimensjonert etter dagens krav. Man kan tenke seg å fortsette «vår» nye molo fra Breivikskjæret til den treffer hovedmoloen et sted cirka midt på den lengste rette strekningen på hovedmoloen. Deretter må det lages en ny innseiling på hovedmoloen like utenfor de byggene som nå står på moloen, se Figur 5.

Et slikt grep vil skape en helt ny og stor havn for fritidsbåter, samtidig som det løser problemet med at hovedmoloen er utsatt for bølgeoverskylling ved stormer. Det vil være naturlig å forsterke den gjenstående biten av hovedmoloen ut til Rundholmen, slik at denne blir trygg også under stormer.



Figur 3 Figuren viser at bølger fra Vestfjorden i liten grad trenger inn til Breivika.



Figur 4 Figuren viser andelen bølgeenergi fra Saltfjorden som kommer inn mellom Store Hjartøya og øyene utenfor Hernes-skagen.



Figur 5 Bodø havn med løsning for Breivika i blått og eventuell kobling til eksisterende molo i rødt.

3 Datagrunnlag

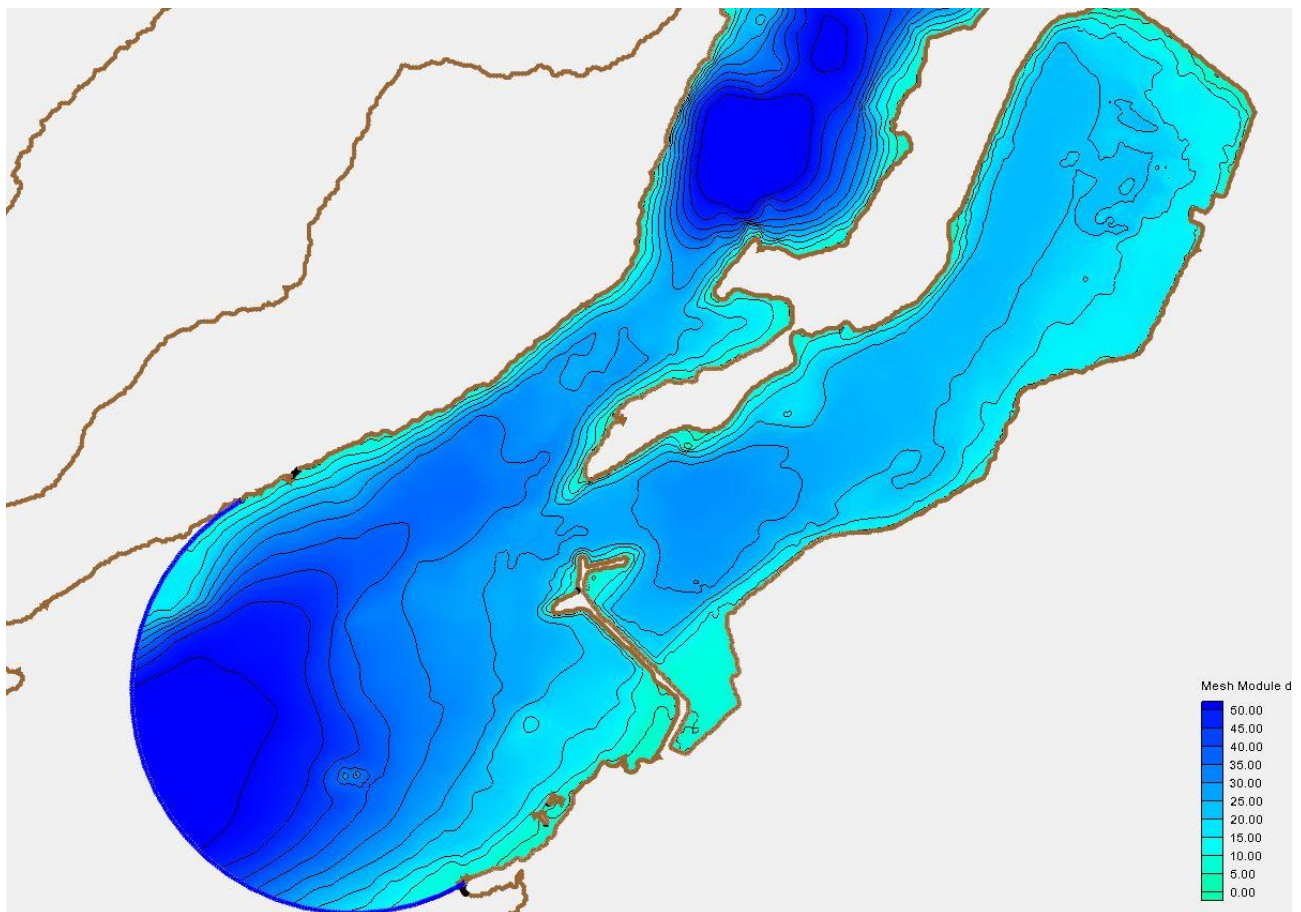
Datagrunnlaget for undersøkelsen er vist nedenfor.

1. Dybde data fra Kartverket, primærdata med 25 - 50 m oppløsning
2. Dybdemålinger for Bodø havn, levert av Bødø Havn. Disse data er benyttet for den eksisterende molo og havneområdet innenfor.

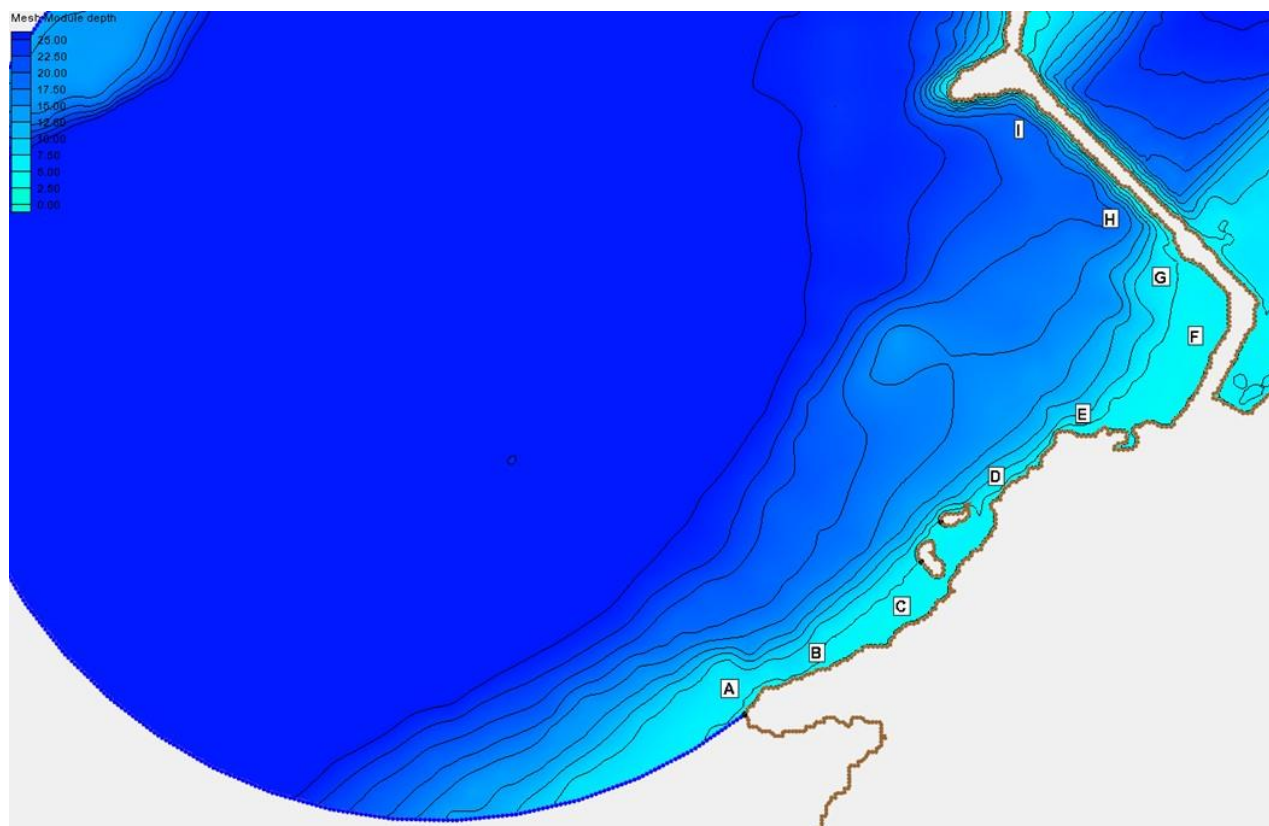
4 Metode

4.1 Modellområde

For analysen av bølge-effekter i Breivika er det benyttet en numerisk modell (CGWAVE) med høy oppløsning av dybde data, ned til 4 m i de grunneste områdene. Hele modellen er vist i Figur 6, og Figur 7 viser detalj av Breivika med punkter A - I inntegnet. Punktene er steder der bølgehøyden er beregnet for de ulike alternativene.



Figur 6 Dybde datamodell



Figur 7 Detalj av dybde datamodell med angivelse av punkter A - I der bølgehøyder er observert

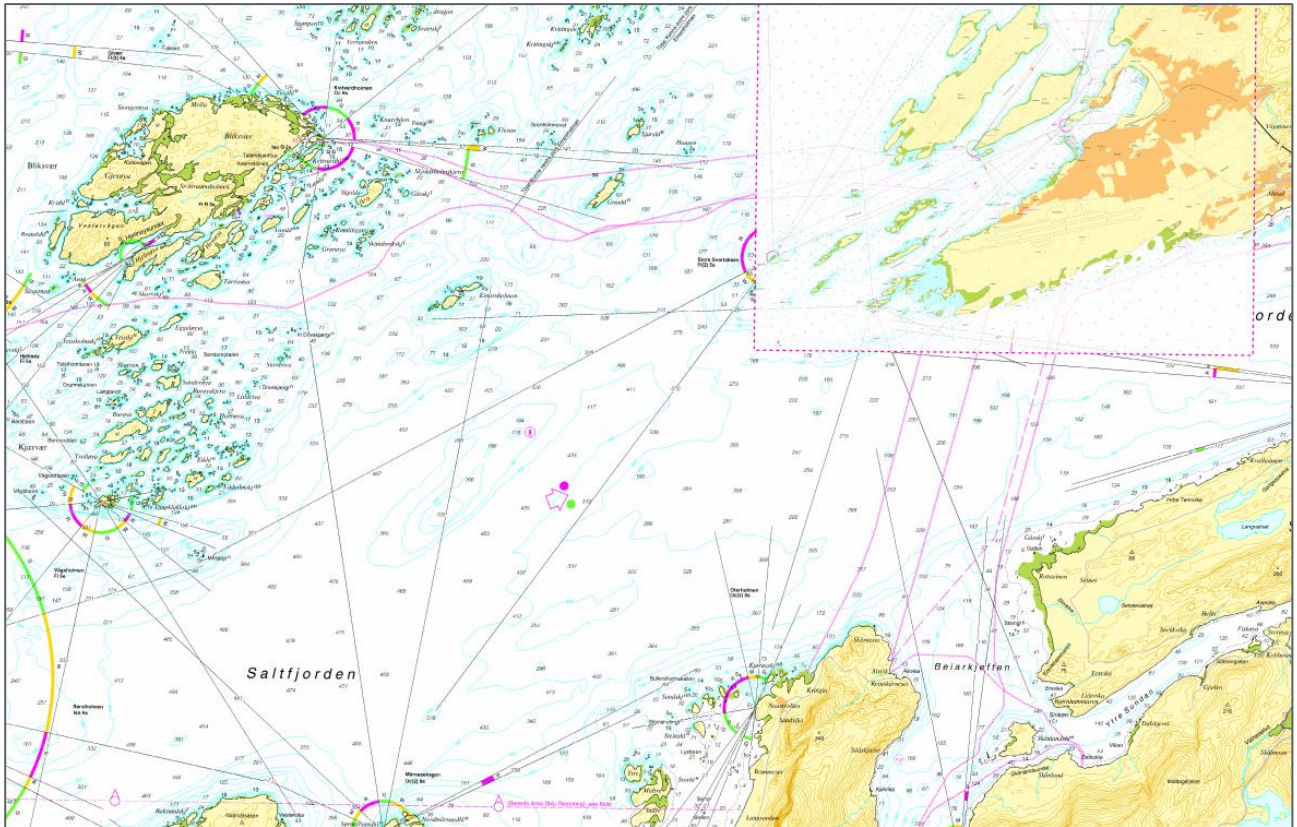
4.2 Bølgedata

Det er ikke gjort egne beregninger av bølgehøyder for området utenfor Breivika. Årsaken er at bølgene som kommer inn mot Bodø og Breivika er meget kompliserte og sammensatte, og erfaringen er at bølgemodeller gir et ufullstendig bilde av bølgene. Bølgene inn mot Bodø fra SV vil bestå av en komponent av tyngre bølger som er dannet i Saltfjorden, og kystnære bølger som er dannet i farvannet mellom havna og Svartoksleia/Hernesskagen.

Tidligere analyser viser at bidraget fra bølger i Vestfjorden er lite. Vi komponerer derfor en sjøtilstand som består av bølger fra SV og har innslag av både kystnære bølger og litt tyngre bølger fra Saltfjorden. De valgte verdiene er vist i Tabell 1, og bølgespekteret er vist i Figur 9.

Vi anser at den bølgetilstanden som er vist under «Total» i Tabell 1 er en realistisk ekstremtilstand for stedet, og kan benyttes for å illustrere hvilken effekt bølgedempingstiltak vil ha.

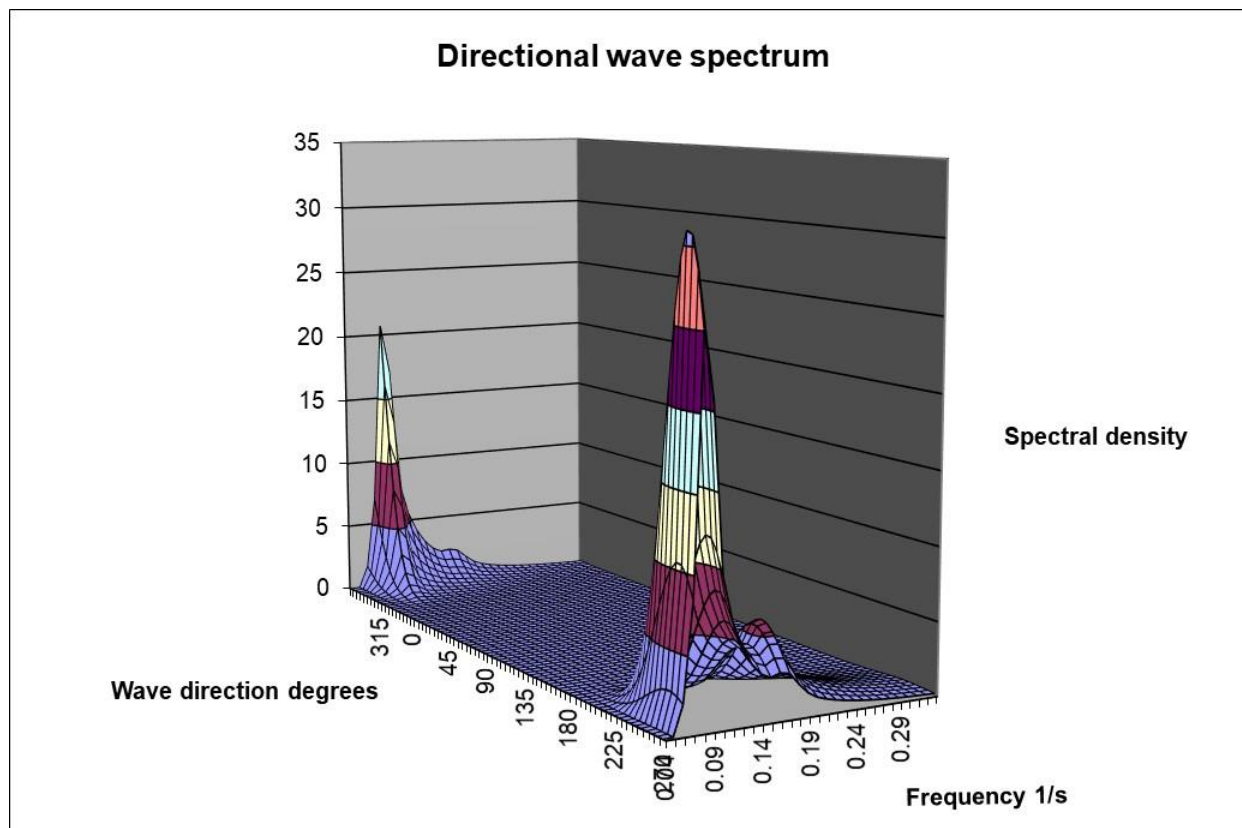
Det valgte, totale bølgespekteret er vist i Figur 9. De to spektra fra hhv Saltfjorden og Svartoksleia har nesten sammenfallende retninger, men vi ser at det er en liten variasjon i frekvensaksen (høyre akse).



Figur 8 Sjøkart over Saltfjorden og Bodøhalvøya

Tabell 1 Bølgedata benyttet som inngående bølger («Total») i vestre kant av modellen

	Saltfjorden	Svartoksleia	Total
Retning °	250	240	255
Signifikant bølgehøyde H_s m	4.0	2.0	4.5
Spektral topp-periode T_p s	12.0	6.0	12.5



Figur 9 Inngående bølgespektrum

4.3 Undersøkte tilfeller

Bølgebelastningen i Breivika er undersøkt for følgende tilfeller:

1. Eksisterende situasjon Figur 10, Figur 7
2. Alternativ A - kort molo
3. Alternativ B - lang molo

Resultat fra bølgemodelleringen for de tre tilfellene er vist nedenfor i Figur 10 - Figur 12.

Figur 10 viser at det bare er en svak reduksjon i bølgehøyden fra i modellens ytterkant (venstre på figuren) til utbyggingsområdet. Bølgehøyden reduseres fra $H_s = 4.5$ m til $H_s \approx 3.0 - 3.5$ m.

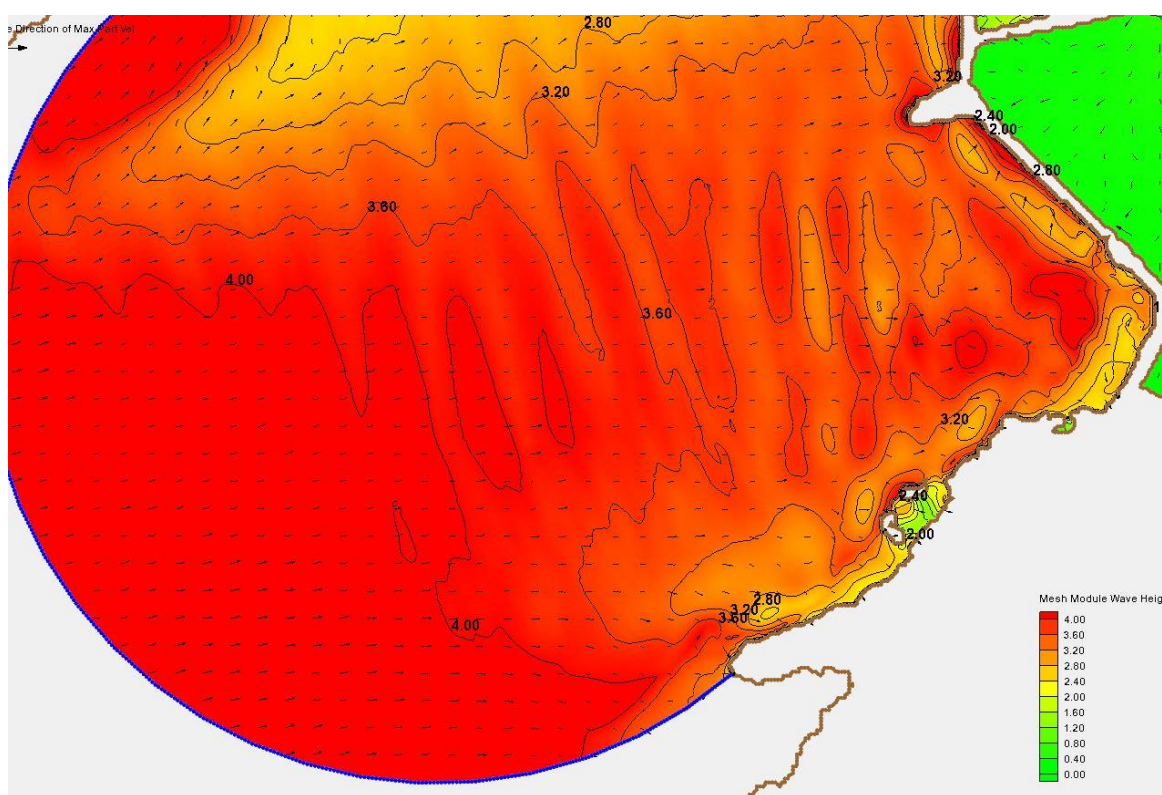
I Figur 11 er det vist en kort molo som gir god dekning til Breivika-prosjektet, og en romslig havn som har akseptable forhold. Det er fortsatt noe bølger ved landfestet til den gamle moloen, og det bør ikke planlegges marina-anlegg her. Bølgene skyldes at innseilingen er relativt bred. Innseilingen er bevisst valgt så bred fordi den vil være utfordrende ved sterk vind og bølger fra SV, og det vil være behov for store marginer på begge sider av innseilingen.

Figur 12 et radikalt alternativ der det er bygget en hel molo, og laget en ny innseiling via den eksisterende havna. Et slikt prosjekt vil kreve et samarbeid mellom kommunen, Bodø Havn og Breivika utvikling Bodø.

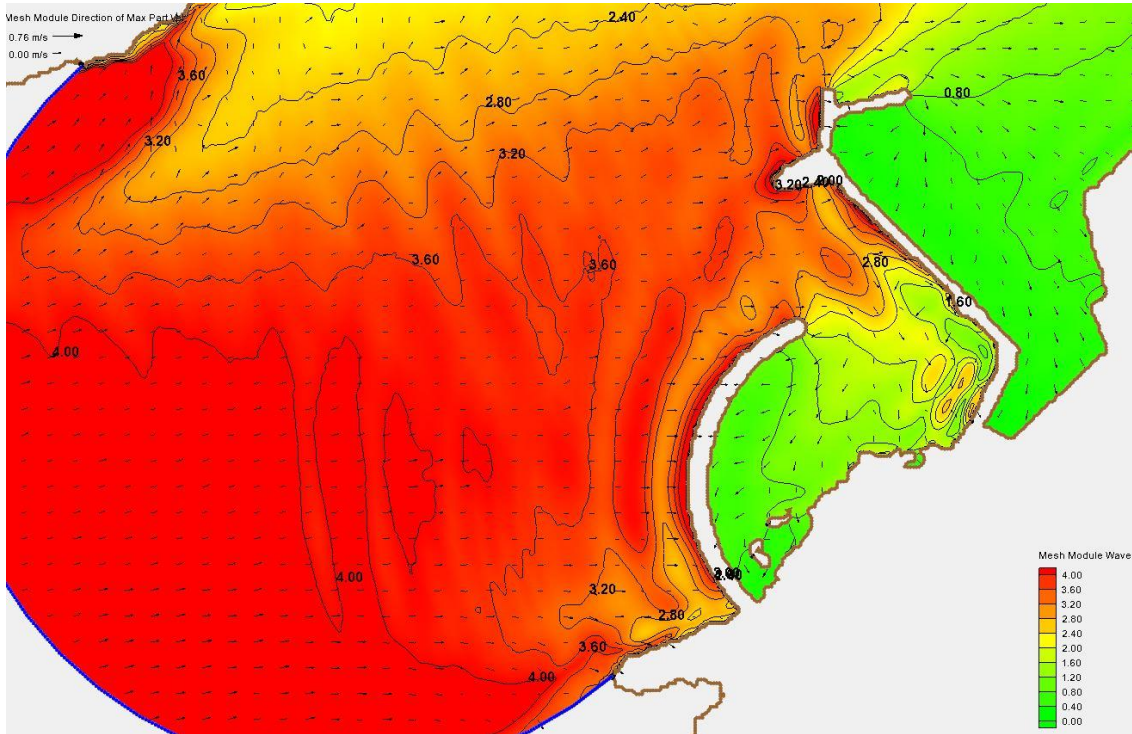
Med en slik molo er bølgene mot Breivika-prosjektet redusert til nesten null, og det er skapt en stor havn som kan brukes som alminnelig marina.

Figur 13 viser den relative reduksjon av bølgehøyden fra et punkt ved randa til modellen midt fjords ($H_s = 4,5$ m) til hvert av punktene A - I (Figur 7). Breivika-prosjektet er lokalisert ved Punkt D - E/F. En bølgehøydekoefisient på f eks 0,6 betyr at bølgehøyden er redusert til 60 % av bølgehøyden ute i fjorden.

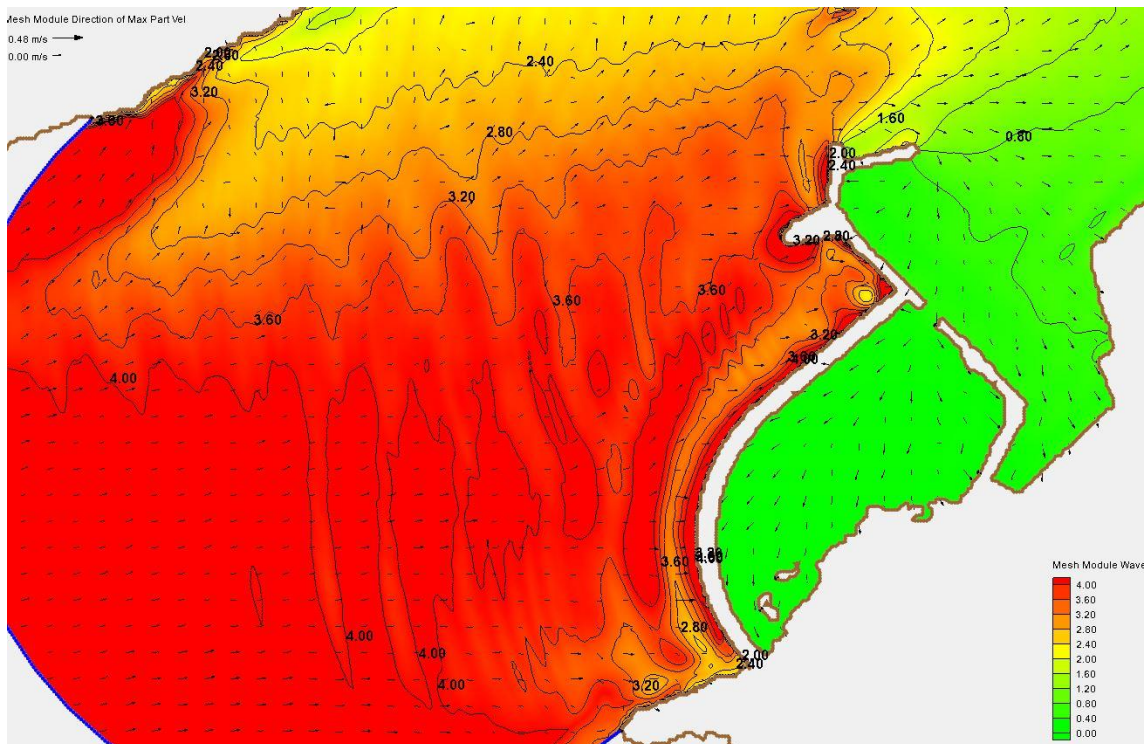
Dersom man velger dette Alternativ A må høyde på golv og dekker bak moloen være 3,17 m NN2000 + et tillegg for mindre bølger i havnebassenget, antatt maksimalt 0,3 m.



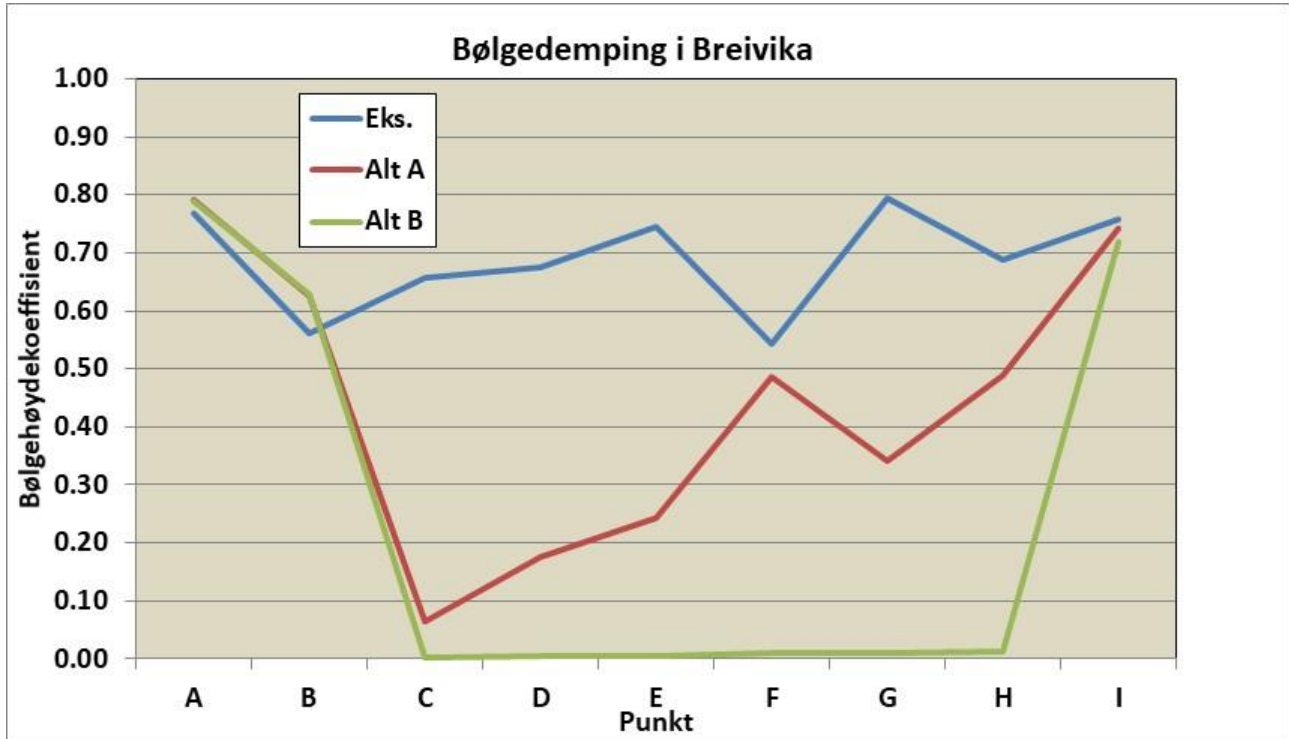
Figur 10 Eksisterende situasjon. Tallene angir signifikant bølgehøyde



Figur 11 Alternativ A, Kort molo. Tallene angir signifikant bølgehøyde



Figur 12 Alternativ B, Lang molo. Tallene angir signifikant bølgehøyde



Figur 13 Bølgehøydekoefisienter for Punktene A - I for eksisterende tilfelle og Alternativ A og B

5 Alternative metoder for å dempe bølger

Det er kjent at grunnforholdene på sjøbunnen i Bodø-området er vanskelige. Det er store forekomster av bløt leire, og for molobygging kan det være påkrevet med store masseutskiftninger. Vi ser derfor etter andre metoder enn moloer for å beskytte byggene og publikumsområdene mot bølger.

5.1 Ingen tiltak i sjøen

Det er mulig å gjennomføre prosjektet uten å innføre tiltak for å dempe bølger. Det vil imidlertid kreve at bygninger og publikumsområder må legges på et forholdsvis høyt nivå, eventuelt at de bygges i sikker avstand fra sjøen.

Vi legger til grunn at alle bygg må prosjekteres i Flomklasse F2 TEK17, og det gir i Bodø en dimensjonerende stormflohøyde på 317 cm NN2000 (200 år returperiode, 2090, klimaendringer inkludert). I Bodø må man regne med at ekstrem storm med høye bølger kan inntreffe samtidig med ekstremt høyvann (stormflo).

Det er noe avvik mellom estimatet på 317 cm NN2000 ovenfor og det offisielle tallet 297 cm NN2000 som finnes blant annet på nettsiden sehavniva.no. Stormflo-estimat i hht klasse F2 er summen av 200 års stormflo i dag og et tillegg for antatt netto heving av middelvannstand i havet ved Bodø fram til 2090 (altså inkludert effekter av landheving). Årsaken til avviket er estimatet på 200 års stormflo i dag. Her melder sehavniva.no at 200 års stormflo i Bodø er 235 cm NN2000, men det rapporteres samtidig at høyeste målte verdi er 236 cm NN2000 for målinger siden 1949. Dette er ikke teoretisk umulig, men det er ikke konservativt. I vår alternative metode får vi 200 års stormflo på 254 cm NN2000, og høyeste registrerte verdi har en teoretisk returperiode på 60 år. Tillegget for klima-drevet vannstandstigning er det samme i de to metodene. Vi mener derfor at man ikke bør planlegge et bygg i Flomklasse F2 for en stormflohøyde som allerede har vært overskredet en gang i løpet av de siste 70 år, og anbefaler derfor at man benytter den noe høyere verdien på 317 cm for klasse F2. Klasse F2 er 200 års returperiode i 2090, med klimascenario RCP8.5 og 95 % ensemblespredning.

Bølger som treffer land medfører oppskylling og vann (flom) inn på land. Slik flom kan føre til skader på bygninger i form av vannskader, slagskader og skader som følge av at flytende objekter kastes mot bygningene. Vannet kan også utgjøre en fare for personer som beveger seg i området, og for kjøretøyer.

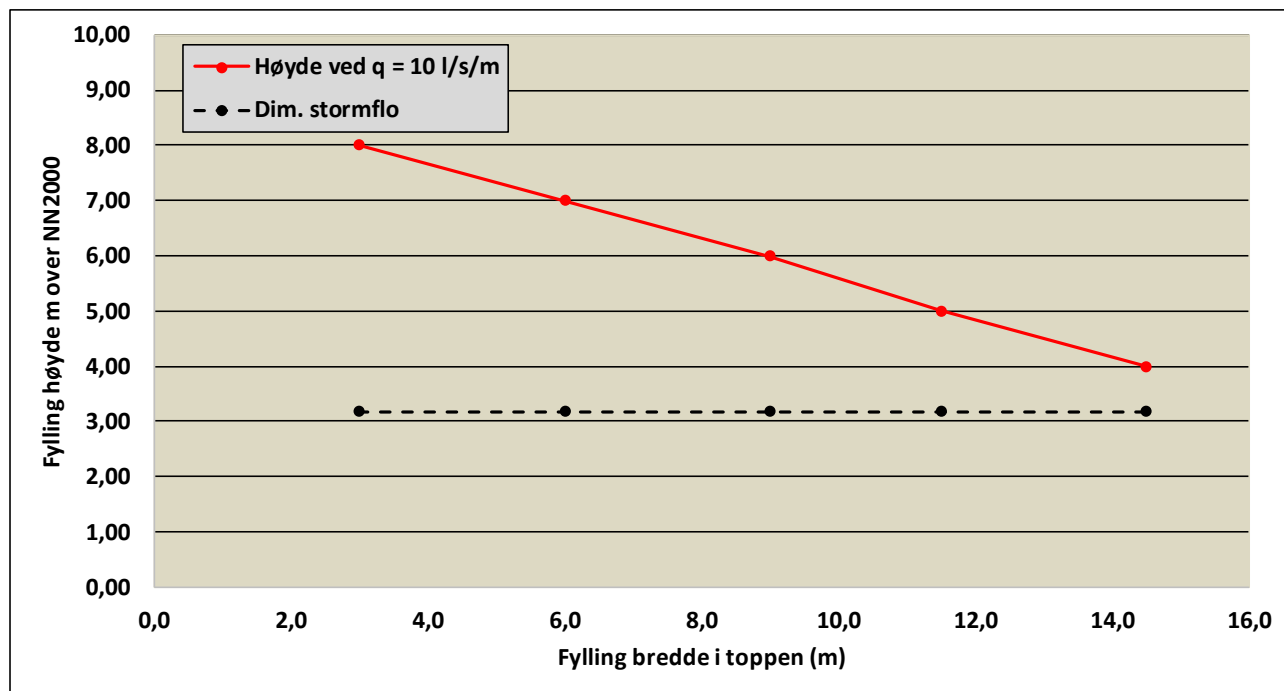
5.1.1 Steinfylling

Hvis vi forutsetter at beskyttelse mot bølger og flom utføres som en vanlig steinfylling med grov, plastret sprengstein, kan beskyttelse oppnås ved en kombinasjon av fyllingens bredde (i toppen) og fyllingens høyde.

Figur 14 viser kombinasjoner av bredde og høyde som er nødvendige for å begrense overskyllingen på steinfyllingen til 10 liter per sekund per meter (l/(sm)). Denne overskyllingsraten er normalt grensen for hva godt utstyrte og arbeidsføre personer kan tåle, men er høyere enn det som aksepteres for alminnelig publikum. Det er også nær grensen for det som tåles av vann mot bygninger, forutsatt at bygningene er laget for å tåle normalt fuktig vær.

Figur 14 viser at dersom man velger en steinfylling med bredde i toppen på f.eks 4,0 m, så må høyden av fyllingen være 3.9 m over dimensjonerende høyvann, og totalt $4,5 + 3,17 \text{ m} = 7,7 \text{ m}$ over NN2000.

Dersom man velger denne løsningen kan teoretisk golvhøyde på anlegget bak fyllingen være 3.17 m NN2000, men det vil kreves et lite tillegg for å sikre at det er fall fra golv og dekker og ned i sjøen.



Figur 14 Kombinasjoner av fyllingshøyde og fyllingsbredde som er nødvendig for å holde overskyllingsraten til $\max q = 10a \text{ l/(sm)}$

5.1.2 Sikker avstand fra land

Ved dimensjonerende høyvann (+3,17 m NN2000) vil bølger skylle innover land. Hvor langt inn vannstrømmen skyller er avhengig av blant annet bølgehøyden og bølgeperioden, men også helningen, høyden og ruheten på terrenget.

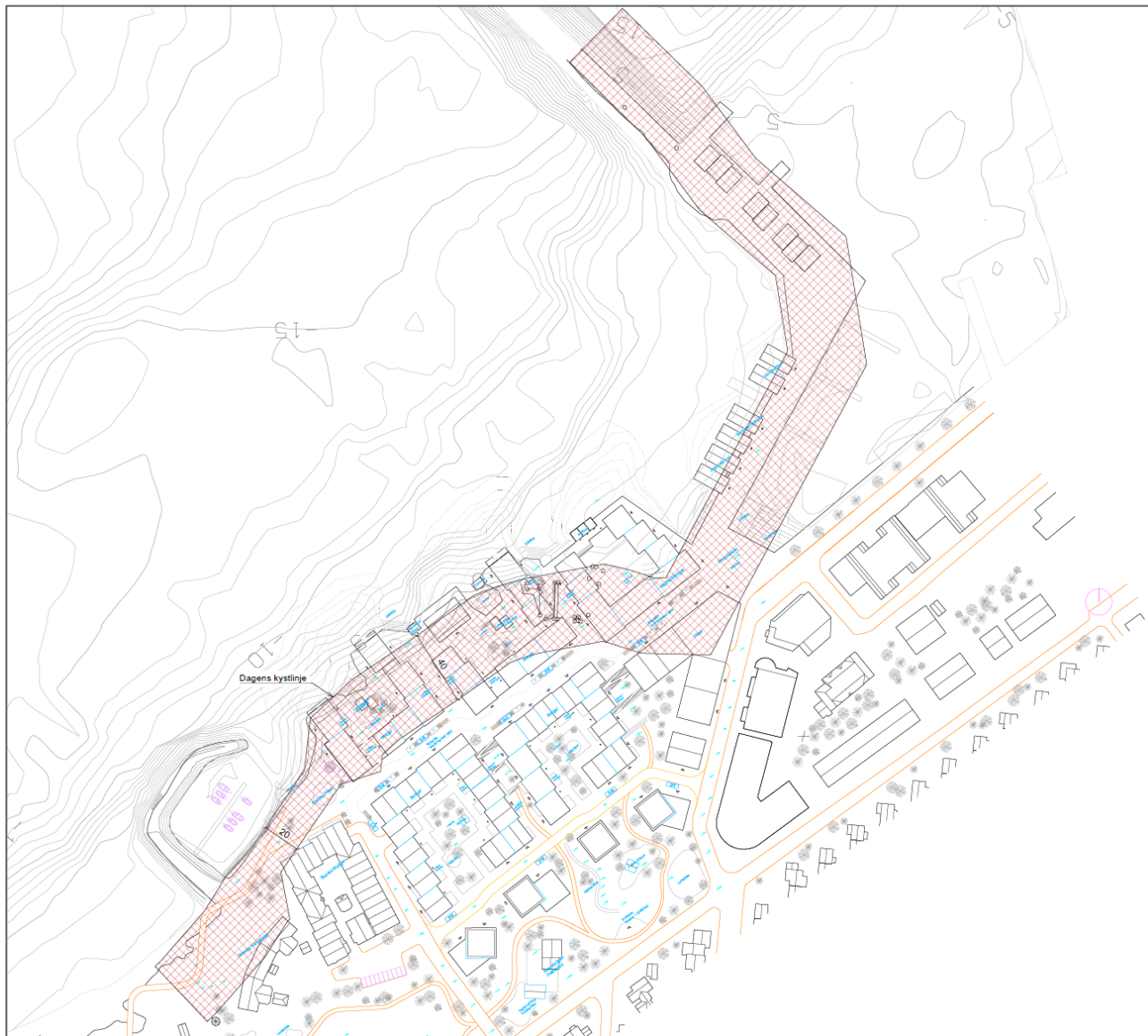
På en ru overflate, som f.eks. en molo eller en steinfylling vil vannet raskt bremses opp ved at det skapes turbulens i vannstrømmen. Derimot vil vannstrøm over en glatt overflate, som f.eks. betongdekker, svaberg osv. kunne skylle langt inn.

Selv om bølgehøyden har mye å si på intensiteten av overskyllingen, kan en regne med at effekten fra bølgeoppskyllet er null i en avstand på en halv bølgelengde fra sjøen. Utenfor Breivika er lokal bølgelengde utregnet til ca. 140 m (ved 15 m vanddybde). Det vil si at bølger vil kunne skylle ca. 70 m inn på land over en glatt overflate.

Toppen av moloen ved småbåthavna er anslått til 2 m over NN2000. Under dimensjonerende storm er moloen oversvømt og gir kun begrenset beskyttelse. Det er beregnet en transmisjonskoeffisient som viser at dimensjonerende signifikant bølgehøyde på lesiden av moloen er i overkant av 2,5 m dersom den ikke heves innen 2090. Derimot vil bølgene bremses opp ytterligere og det anses som tilstrekkelig med en 20 m sikkerhetssone bak strandlinjen ved småbåthavnen.

I Breivika består eksisterende strandlinje av en lav steinfylling og en liten molo som vil redusere bølgeoppskyllet noe. Bak strandlinjen er overflaten relativt glatt og terrenget heller gradvis oppover mot +4,0 m NN2000. Vi mener derfor at det er tilstrekkelig å legge byggene i en avstand på 40 m (ca. en kvart bølgelengde) fra kystlinjen for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. Det gjelder også bak moloen. Avstanden er fremdeles kortere enn nevnte 70 m, og i tilfellet der bølger skyller lenger enn 40 m kan risikoreduserende tiltak etableres for å bryte opp vannstrømmen. Effektive tiltak kan være å sette opp sperrer mellom byggene

og sjøen. De må stå et stykke inn på land for å virke effektivt fordi bølgene vil enkel slå over lave sperrer ved sjøfronten. Slike sperrer kan «kamoufleres» i form av robuste sittebenker, blomsterkasser etc.



Figur 15 Den røde, rutete skravuren viser området innenfor 40 m fra sjøen som vil være utsatt for bølgeoppkyll. Ytterlinjen følger eksisterende kystlinje.

5.2 Kortere molo

Moloen som er vist i Figur 11 er en mulig utforming av anlegget. Posisjonen er motivert fra et ønske om å skape en havn som gir plass til en størst mulig marina. Dybdekartet viser at bunnen er forholdsvis flat i dette området, og varierer mellom 13.0 m og 15.0 m. Det er mulig å gjøre moloen kortere ved å flytte den nærmere Breivika-utviklingen og la moloen gå ut fra et punkt nærmere de aktuelle byggene. Man kan f eks integrere den nye moloen i den lille moloen som allerede finnes SV for prosjektområdet. Dersom man velger å flytte moloen nærmere land og prosjektområdet, er det sannsynlig at man må forlenge den noe i retning

NØ for å gi samme bølgedemping mot boligområdene. Totalt sett vil det likevel gi et redusert volum av den nye moloen.

5.3 Flytende bølgedempere

Det finnes flytende bølgedempere på markedet. Slike innretninger må ikke forveksles med flytebrygger, som har en meget begrenset bølgedempende effekt. Flytende bølgedempere som markedsføres under betegnelsen «Flytemoloer» er brukt flere steder i Norge, og er store og tunge konstruksjoner av betong. Typisk vekt for et element på ca 50 m lengde er 500 - 700 tonn.

Slike moloer er benyttet i Bodø havn (Rønvika) og i Harstad (Figur 16). Flytemoloen i Bodø fungerer etter våre opplysninger etter hensikten og har god effekt.

Flytemoloer har likevel tydelige begrensninger når de utsettes for det som kan kalles havbølger med høye perioder og store bølgelengder. Et karakteristisk trekk ved slike installasjoner er at den bølgedempende effekten blir mindre jo mer ekstrem stormen er. Med de bølgeperiodene som man forventer mot Breivika vil derfor effekten være så liten under en dimensjonerende storm at den kan neglisjeres.

Det skal også nevnes at en flytemolo må ansees som en midlertidig konstruksjon som kan flyttes, havarere eller bli solgt. For at byggene skal kunne bygges etter Flomklasse F2, må også hele kjeden av de flomhindrende tiltakene tilfredsstillende kravene i klasse F2, og en flytende konstruksjon kan neppe sies å tilfredsstillende disse kravene.



Figur 16 Flytemolo i Harstad under moderat bølgebelastning. Elementene er så store at det er lager-rom inne i hver enhet med trappehus som vist på bildet. Flytemoloen er effektiv for å fjerne skumtopper og skavl fra bølgene, for bølger med periode over ca $T = 5.0$ s er bølgene nesten upåvirket.

5.4 Bølgedempingstiltak nært land

Tiltak i denne kategorien vil tilsvare de tiltakene som er skissert ovenfor under avsnittet «Ingen tiltak i sjøen». I avsnittet ovenfor er det forutsatt at man bygger en steinfylling på land og fører opp byggene bak fyllingen.

Det er også mulig å bygge slike tiltak ved å fylle ut i sjøen. Dersom man velger å bygge ut i sjøen, vil det i mindre grad gå på bekostning av verdifullt landareal. Det er mulig å bevare utsikten og utsynet utover sjøen

ved å bygge en lav og brei voll av store steinblokker ut fra strandkanten. Et eksempel på en slik løsning er vist i Figur 17. Her er det bygget en fylling med høyde ca 1.5 m over middelvann, og bredde på 25 - 35 m utover i sjøen. Dimensjonerende bølgehøyde på stedet er ca $H_s = 6.5$ m. Denne løsningen ble valgt fordi det var et behov for å bevare utsikten og utsynet fra vegen, som er klassifisert som Nasjonal Turistveg.

Dersom dette konseptet skal benyttes i Breivika, vil konstruksjonen følge omtrent de samme kravene som vist i Figur 14. Det betyr at om man ønsker en fylling som er 1.5 m høy (over dimensjonerende høyvann), så må den være ca 13 m brei.

Denne løsningen kan benyttes i Breivika, og vil gi god beskyttelse. Ulempene med tiltaket er knyttet til estetikk og det visuelle inntrykket, og at man avskjæres fra nærkontakt med sjøen. Man må også regne med at en slik fylling vil bli oppsamlingsted for flytende gods i sjøen.

For å gjennomføre en slik løsning kreves det undersøkelser av grunnen på lik linje med en eventuell molo eller utfylling.

Dersom man velger denne løsningen kan teoretisk golvhøyde på anlegget bak fyllingen være 3.17 m NN2000, men det vil kreves et lite tillegg for å sikre at det er fall fra golv og dekker og ned i sjøen.



Figur 17 Eksempel på utradisjonell løsning med en lav brei skulderfylling ved Hamnøy/Reine, E10 i Lofoten

5.5 Kaifront

Boligene kan beskyttes mot bølgeoppskyll ved at de legges høyt nok over vannlinjen kombinert med å trekke dem bakover i terrenget. I teorien kan de dermed beskyttes mot bølger og stormflo ved å etablere en høy og bred kai foran byggene.

Utfordringen med en slik løsning er at bølgene vil føres under kaien og slå opp under kaidekket. Med tanke på den dimensjonerende sjøtilstanden ved Breivika, vil dette vil medføre enorme løftekrefter på undersiden av kaien. Kaien risikerer å bli løftet opp som vil kunne gi store skader på kaien og boligene. I tillegg vil bølgene føre til bevegelser på kaien og store rystelser i boligene som vil oppleves som ubehagelig av beboerne. Vi stiller oss dermed kritisk, og vil ikke anbefale en slik løsning.

6 Utredet sikringsforslag – lav og bred voll

Det er utført et kostnadsestimat hvor byggene beskyttes av en lav og bred voll ut i sjøen, se avsnitt 5.4.

Det er utført geotekniske vurderinger av området som viser meget ustabile grunnforhold. Rapporten RIG-01 anbefaler at fyllingsfronten legges med en slak helning og at det er behov for en motfylling. Det er derfor ønskelig å legge fyllingen på lavt nivå, og det er antatt at overkanten av fyllingen legges på 3,5 m NN2000. Det vil si 33 cm over dimensjonerende stormflonivå. Vi anbefaler at 3,5 m NN2000 anses som et minimumsnivå på grunn av usikkerheten rundt havnivåstigning og for at fyllingstoppen skal legges med et lite fall ned mot sjøen.

Per dags dato ligger det en småbåthavn som man ønsker å beholde (se Figur 1), med en tilhørende molo like sørvest for den planlagte utfyllingen. Det er derfor utredet et forslag til hvordan man kan beskytte de planlagte boligene mot bølgeoppskyll og flomskader uten å komme i direkte konflikt med småbåthavnen.

Det vil ikke være mulig å sikre den sørvestlige sideskråningen med en lav og bred voll fordi den vil komme i konflikt med innseilingen til den eksisterende småbåthavnen. Man er derfor nødt til å se på alternative metoder for å dempe bølgene, og det har vært foreslått å bygge en spuntvegg langs med innseilingen. Konsekvensen med en vertikal vegg er at en stor andel av bølgene vil reflekteres inn i småbåthavnen, og båteierne risikerer betydelig dårligere forhold. En aktuell løsning vil være å etablere en bred kai over en erosjonssikret sideskråning hvor bølgene delvis føres under kaien og absorberes av blokklaget. Denne løsningen går i mot det vi allerede har anbefalt ovenfor, men bølgekreftene vil trolig være noe redusert langs siden på fyllingen. Tanken er at man reduserer andelen bølgeenergi som reflekteres inn i småbåthavnen og at den brede kaien beskytter byggene mot bølgeoppskyll. Kaien vil fremdeles være utsatt for store løftekrefter.

Byggene sikres mot flom og bølgepåkjenninger ved at fyllingstoppen legges på +3,5 m NN2000, og med en kombinasjon av en bred erosjonssikring og kai inne ved småbåthavnen. Hensikten med kaien er å oppnå tilstrekkelig sikkerhet uten å komme i konflikt med innseilingen. Fyllingen må erosjonssikres under kaien.

6.1 Nødvendige steinstørrelser

Det ble tidligere antydnet at nødvendig median blokkvekt, $W_{50} = 4,5$ tonn for en skuldermolo med en helning på 1:1,3. Fordelen med skuldermoloer er at man kan benytte en lavere blokkvekt sammenliknet med tradisjonelle moloer/erosjonssikringer. På bakgrunn av bunnforholdene må sikringen legges i en slakere helning enn først antatt, og blokkbehovet øker betraktelig med helningen. Vi forlater derfor skuldermolo-prinsippet og bruker en tradisjonell molokonstruksjon med et plastret dekklag og filter over en kjerne masse.

Median blokkvekt, W_{50} er avhengig av skråningshelningen og den dimensjonerende sjøtilstanden, og er funnet ved hjelp av formelverk av van der Meer for tradisjonelle moloer. Beregningene viser at det er tilstrekkelig med $W_{50} = 3,5$ tonn gitt at helningen ikke overstiger 1:3,2. Det er vurdert som tilstrekkelig å sikre med 1 tonns blokker fra -4,0 m NN2000 og ned til sjøbunnen.

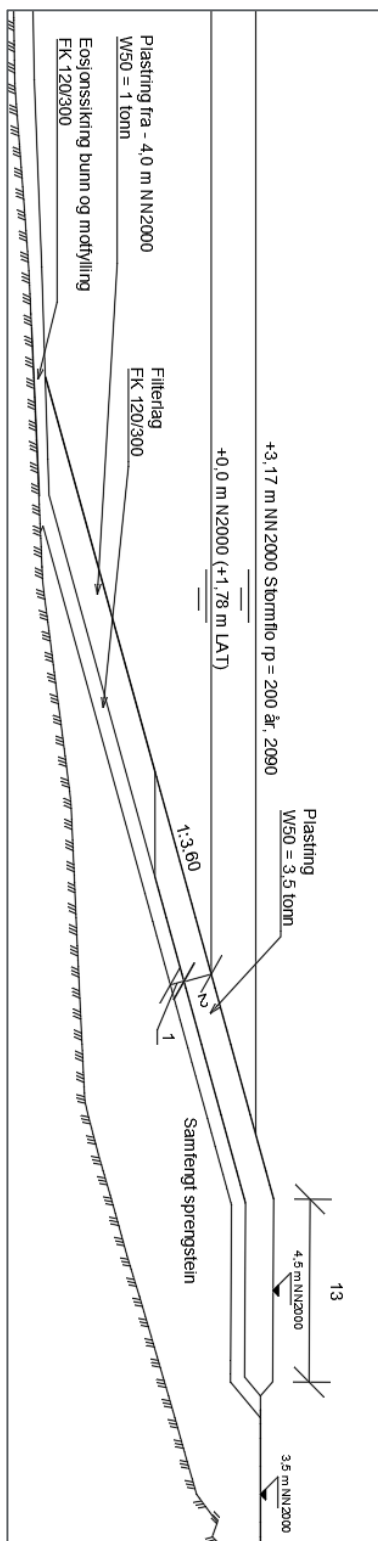
Det følger av beregnede W_{50} at filterlaget bygges opp av standardfraksjonen FK 120/300. Tykkelsen på filterlaget bestemmes av filtersteinfraksjonen og om laget legges ut under vann. Filterlaget må legges ut med en lagtykkelse på $1\text{ m} \pm 0,25\text{ m}$.

I mengdeberegningene er det antatt at overkant av erosjonssikringen legges på kote +4,5 m NN2000 (1 m over fyllingshøyden) som gir en bredde på 13 m. En prinsippskisse av sikringen er vist i Figur 18, og dimensjonene må verifiseres under deltallprosjektering.

Inne i småbåthavnen må toppen av fyllingen legges med en brattere helning for å sikre tilstrekkelig innseilingsbredde.

Tabell 2 Steinstørrelser og lagtykkelser for erosjonssikringen.

	Dekklag		Filterlag	
	W50 (tonn)	Lagtykkelse (m)	Steinfraksjon (mm)	Lagtykkelse (m)
Over -4 m NN2000	3,5	2	FK 120/300	1m ± 0,25m
Under -4 m NN2000	1	2	FK 120/300	1m ± 0,25m



Figur 18 Prinsippkisse av erosjonssikringen.

6.2 Sikring av den sør-vestlige sideskråningen

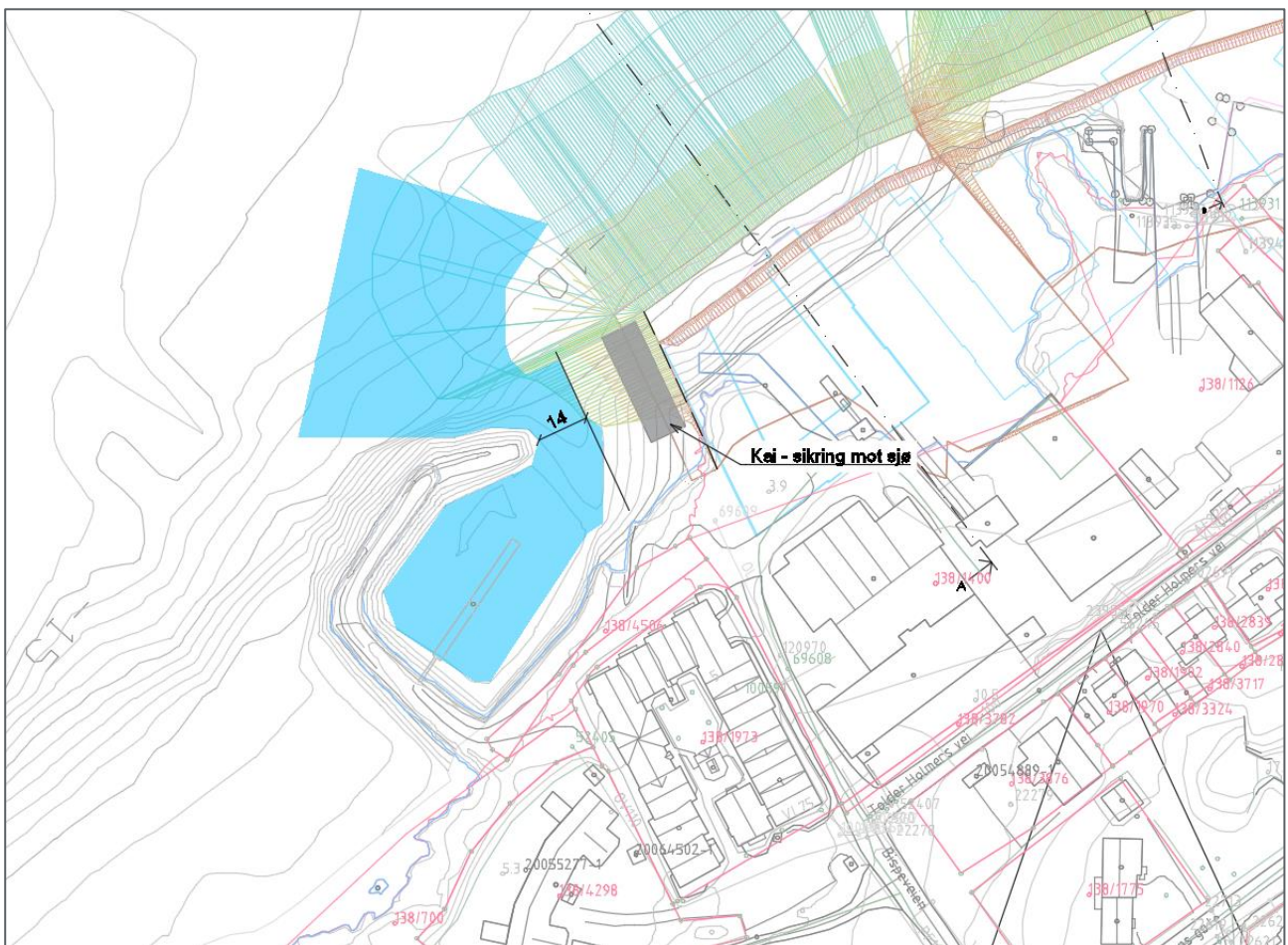
For å ikke komme i konflikt med innseilingen til småbåthavnen sikres sør-vestsiden av en bred kai. Kaien vil beskytte det vestlige bygget ved at bølgene føres delvis under og delvis slår over kaien. Utfordringen med en kai er at det vil dannes store løftekrefter på undersiden som må kompenseres med tilstrekkelig tyngde. Denne løsningen er betinget av at det er mulig å bygge en kai.

Det er foreløpig antatt at en 10 meter bred kai vil gi tilstrekkelig beskyttelse mot flomskader, og bredden må beregnes under detaljprosjektering. På kaien bør det anlegges installasjoner som sikres godt til kaien for å bryte opp vannstrømmen som slår over ved store stormer. Installasjoner kan inkludere benker, blomsterkasser, betongmur etc. Et eksempel på bruk av planter er vist i Figur 20.

Fyllingen under kaien må erosjonssikres med tilsvarende blokker som de andre sideskråningene.

Figur 19 viser tiltenkt plassering av kaien.

Det anslås at store mengder vann vil kunne skylle over, og kaien bør stenges for allmenheten under storm.



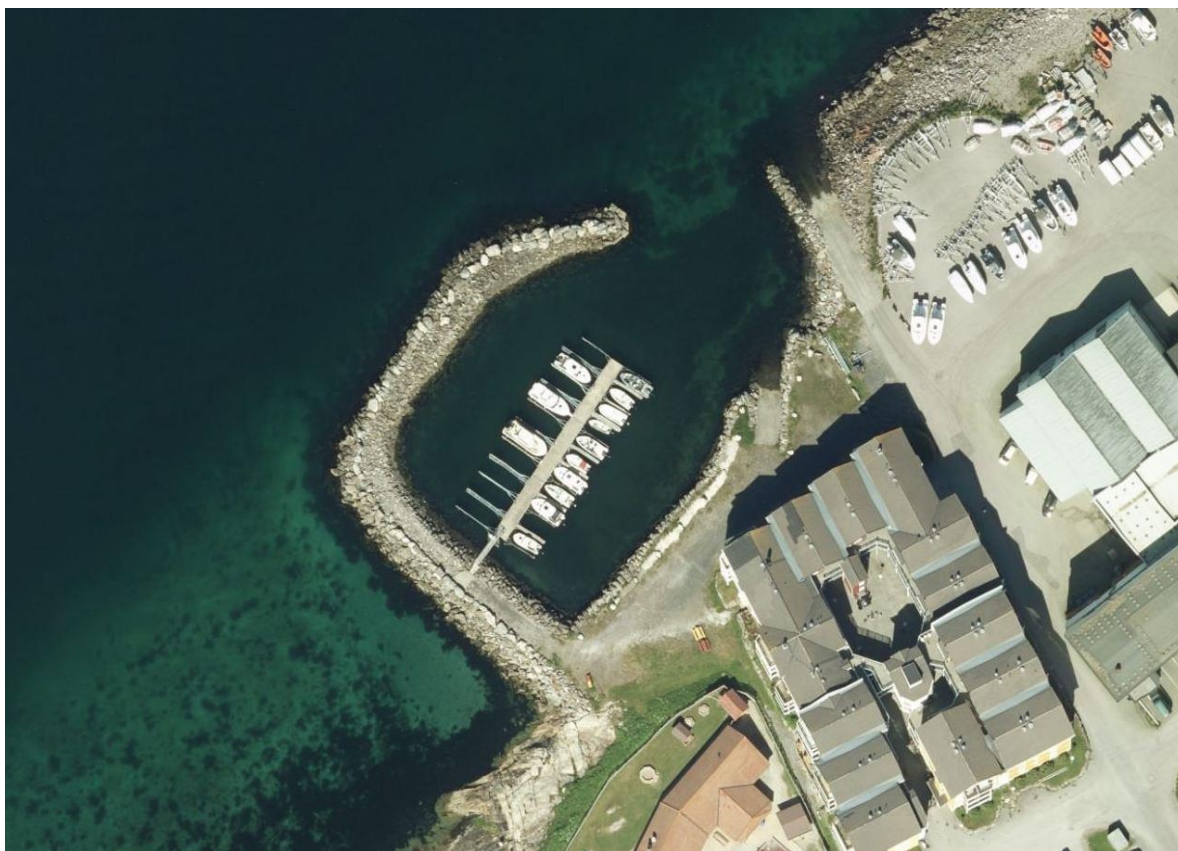
Figur 19 Skisse av ny innseiling. Blå skravur marker hvor det er dypere enn 3 m NN2000.



Figur 20 Eksempel på beplantning. Fotoet er tatt ved Lysaker i Bærum kommune.

6.3 Innseilingsbredde ved den eksisterende småbåthavnen

Innseilingsbredden ved den eksisterende småbåthavnen vil bli redusert som følge av utfyllingen. Basert på flyfoto ligger det ca. 22 båter i havnen. De lengste båtene anslås å være ca. 9-10 m lange. Ved å ta utgangspunkt i tilgjengelig dybdedata er dybden inne i havnen ca. 3-4 m. Et flyfoto av småbåthavnen er vist i Figur 21.



Figur 21 Flyfoto av småbåthavnen. Fra fotoet er det plass til ca. 22 småbåter.

En innsnevring av innseilingen vil bety at manøvreringen blir vanskeligere. PIANC har utgitt anbefalinger for innseilingsbredde og dybde for småbåter (9,5 m lengde og 3 m bred). Anbefalingene er listet opp i Tabell 3 for punkt-passasjer og kanaler. Punkt-passasjer gjelder typisk for innseilinger med korte avstander som åpninger under broer og havneinnseilinger.

Tabell 3 Anbefalt innseilingsbredde.

Antall båter i bredden ved innseilingen	Punkt-passasje	kanal	Dybde
1	6 m	10 m	1,9 m
2	12 m	20 m	1,9 m

PIANC anbefaler at dybden ved innseilingen er 1,9 m. Ved Bodø ligger LAT ca. 1,78 m under NN2000. Det vil si at anbefalt dybde er -3,68 m NN2000.

Typisk vil man kunne betrakte en havneinngang som en punktpassasje, men innseilingen vurderes som utfordrende med tanke på at båtene må svinge inn. Innseilingen bør derfor defineres som en kanal, som krever en minimums bredde på 10 m. Bredden er definert fra molofoten (ca. -3,0 m NN2000) til skråningsutslaget av fyllingen ved -3,68 m NN2000 og gjelder kun for en båt i bredden.

Antagelsen at kun en båt fører gjennom innseilingen av gangen vurderes som akseptabel ettersom det ligger relativt få båter i småbåthavnen, og sjansen for at to båter møtes samtidig vurderes som liten. En skisse av den nye innseilingen er vist i Figur 19, hvor den blå skravuren marker området hvor det er 3 m dypt eller dypere.

6.4 Kostnadsvurdering

Kostnadsberegningen er oppdelt i to deler:

- En indre del, som angir utfyllingen av landområdet opp til 3,5 m NN20000 og ut til begynnelsen av erosjonssikringen. Denne delen angir kostnaden av det som utgjør det byggbare arealet, definert fra dagens kystlinje og ut begynnelsen av erosjonssikringen.
- En ytre del som kommer i tillegg for å beskytte mot bølger, definert fra ytterkanten av det byggbare arealet og ut til enden av den 13 m brede erosjonssikringen.

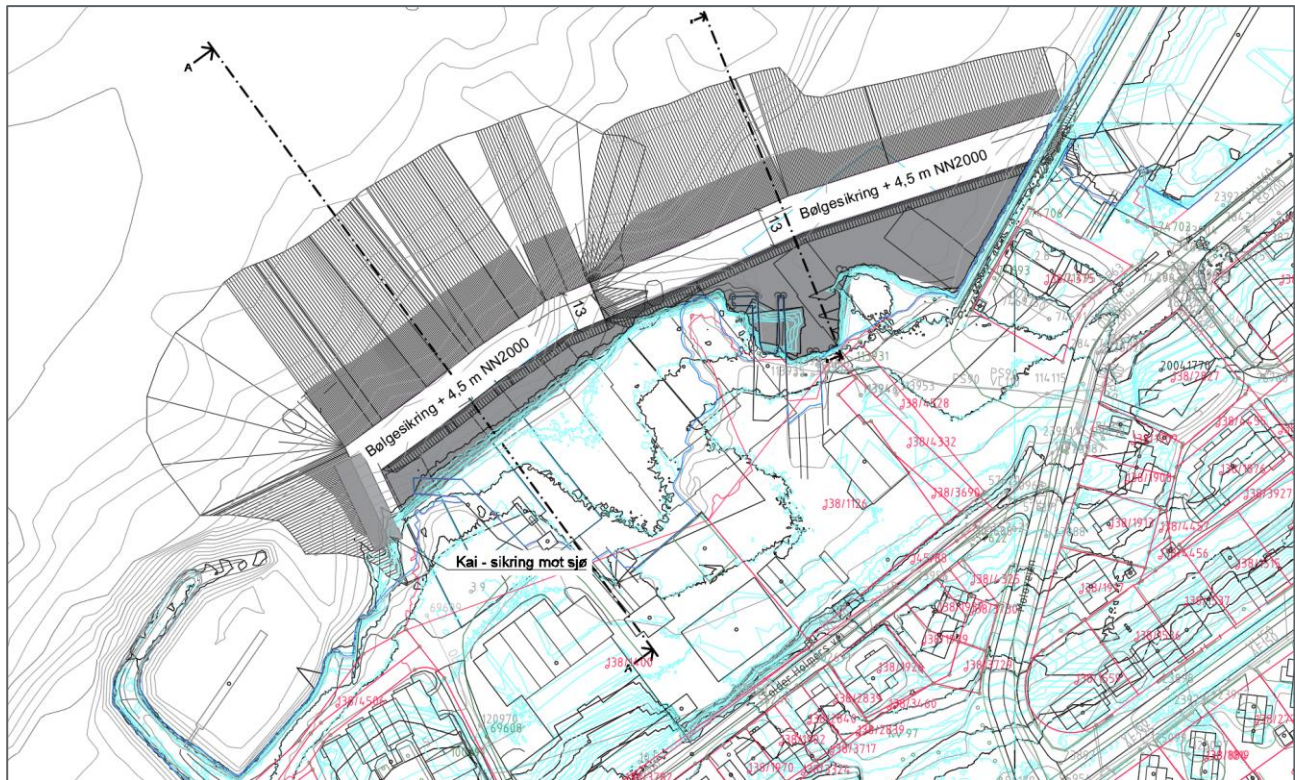
Nødvendige mengder er funnet i Novapoint. I terrengmodellen er det benyttet laserdata fra høydedata.no for å kartlegge landkotene og tilgjengelige dybdedata for sjøen. Deretter ble det modellert to fyllinger, en for den totale utfyllingen pluss bølgesikringen, og en for kun det byggbare arealet. Deretter er volumet av den indre delen trukket fra det totale volumet for å finne tillegget av erosjonssikringen.

Delvolumene av de forskjellige steinfraksjonene er gitt i Tabell 5. De er funnet ved å utføre en grov fordeling av massene basert på utarbeidet tverrsnitt og sidearealene av skråningsutslagene.

På grunn av den slake helningen må store deler fylles ut med lekter. I noen tilfeller vil krav om bruk av lekter føre til økte kostnader, men i vårt tilfelle er alternativet transport på bil gjennom boligområder på veger med begrenset kapasitet, og transport med lekter *kan* derfor bli billigere. Fra de beregnede mengdene er det er gjort en grov antagelse av fordelingen mellom andel masser som må fylles ut fra lekter kontra fra land, se Tabell 4. Det antas at store deler av fyllingen må legges ut fra lekter for å opprettholde skråningshelningen gjennom hele byggeprosessen på grunn av geotekniske forhold. Videre er det antatt at erosjonssikringen opp til -4,0 m NN2000 ($W_{50} = 1$ tonn) legges ut fra lekter, og at resterende sikring ($W_{50} = 3,5$ tonn) plastres fra land.

Motfyllingen er spesifisert av geoteknisk konsulent. Det ble først anslått at motfyllingen krever 17 000 m³, men det er antatt at dette volumet må dobles som følge av bølgesikringen.

Estimerte mengder, enhetspriser og kostnader er vist i Tabell 5. Det knyttes noe usikkerhet til posten «uspesifisert» som inkluderer uforutsette kostnader som ventedager under byggeprosessen o.l. Det er også knyttet usikkerhet til enhetsprisen per m³ og dybdedataene på stedet.



Figur 22 Modellert fylling med bølgesikring. Den grå skravuren angir nytt byggbart areal på ca. 4200 m².

Tabell 4 Antatt fordeling av masser som legges ut fra lekter og land.

Parameter	Andel utfyllt fra land	Andel utfyllt fra lekter
Kjernemasse og filter	10 %	90 %
Dekkblokk, $W_{50} = 1$ tonn	0 %	100 %
Dekkblokk, $W_{50} = 3,5$ tonn	100 %	0 %
Motfylling	0 %	100 %

Tabell 5 Estimerte mengder og kostnader.

Kostnader	Mengder	Enhetspris (kr)	Sum (kr)
Kostnader fylling uten bølgesikring			
Rigg og drift		15 % av enhetssum	6 200 000
Uspesifisert		15 % av enhetssum	6 200 000
Kjernemasse	59 300 m ³	400 kr/m ³ (fra lekter) 200 kr/m ³ (fra land)	22 600 000
Motfylling	35 000 m ³	400 kr/m ³ (fra lekter)	14 000 000
Vertikal drener			5 000 000
Sum enhetspriser			41 600 000
Total sum			54 000 000
Kostnader bølgesikring			
Rigg og drift		15 % av enhetssum	10 700 000
Uspesifisert		15 % av enhetssum	10 700 000
Kjernemasse	18 000 m ³	400 kr/m ³ (fra lekter) 200 kr/m ³ (fra land)	6 900 000
Filterstein	12 400 m ³	400 kr/m ³ (fra lekter) 200 kr/m ³ (fra land)	4 700 000
Plastring fra lekter (W50 = 1 tonn)	18 600 m ³	500 kr/m ³	9 300 000
Plastring fra land (W50 = 3,5 tonn)	43 600 m ³	700 kr/m ³	30 500 000
Motfylling	35 000 m ³	400 kr/m ³	14 000 000
Vertikal drener	-		
Kai inne ved småbåthavnen	310 m ²	19 000 kr/m ²	5 900 000
Sum enhetspriser			71 200 000
Total sum			92 600 000
Totale kostnader			
Sum fylling og bølgesikring			146 600 000

Fra tabellen ovenfor ser vi at totalprisen vil ligge rundt 146 millioner. Det er knyttet en viss usikkerhet til estimatet og prisen vil kunne avvike med $\pm 20\%$.

Hvis vi ser bort i fra de ytterste 13 m av fyllingen som vil bestå av blokker, ser vi fra Figur 22 at det byggbare arealet blir 4200 m². Det gir en kvadratmeterpris for byggbart areal på 34 900 kr/m².

7 Kostnadsvurdering av kort molo alternativ A

Det er utført et kostnadsestimat for molo alternativ A (Figur 23) basert beregnede mengder fra rapport «RIG-01 Innledende geotekniske vurderinger for ny molo og sjøfylling», hvor mengdene er gjengitt i Tabell 6. Den modellerte moloen er 5 m høy og 9 m bred med en sideskråning på 1:1,3. Tidligere har det vært antydning at moloen skal bygges som en skuldermolo. Noen raske kontrollberegninger viser at de modellerte molodimensjonene må oppjusteres for å stå imot antatt dimensjonerende sjøtilstand.

Tabell 6 Mengder hentet fra «RIG-01 Innledende geotekniske vurderinger for ny molo og sjøfylling».

Ny molo	Estimerte mengder (m ³)
Ny molo (9 m bred)	310 000
Igjenfylling av mudring under molo	200 000

Basert på moloberegningene er de ytre dimensjonene skissert opp i Figur 24. Fra skissen er arealene av dekklaget, modellert mengde og tillagt mengde funnet ved å anta at snittet er gjeldene for hele mololengden med en gjennomsnittsdyp på 9 m. Prosentandel samfengt sprengstein/ filterlag og dekkblokker er listet opp i Tabell 7 sammen med nødvendig økning av molotverrsnittet. Molodimensjonene er kun foreløpige, hvor det er antatt at nødvendig skulderbredde er 6 m og at molotoppen kan settes til 4 m over dimensjonerende stormflonivå.

Tabell 7 Antatt økning av modellert molotverrsnitt og andel dekkblokk vs. sprengstein.

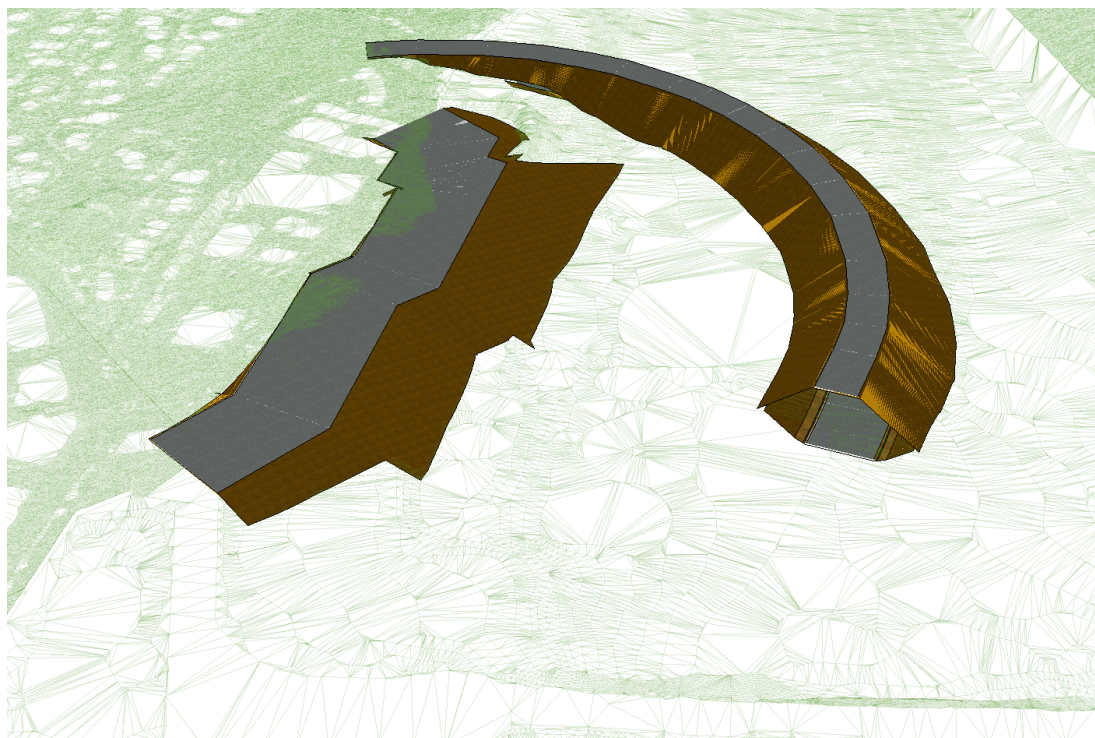
Parameter	Prosentvis andel eller økning
Økning av tverrsnittsareal	28 %
Andel dekkblokk	30 %
Andel samfengt sprengstein/ filterlag	70 %

Tabell 8 Estimert kostnad for skuldermolo alternativ A.

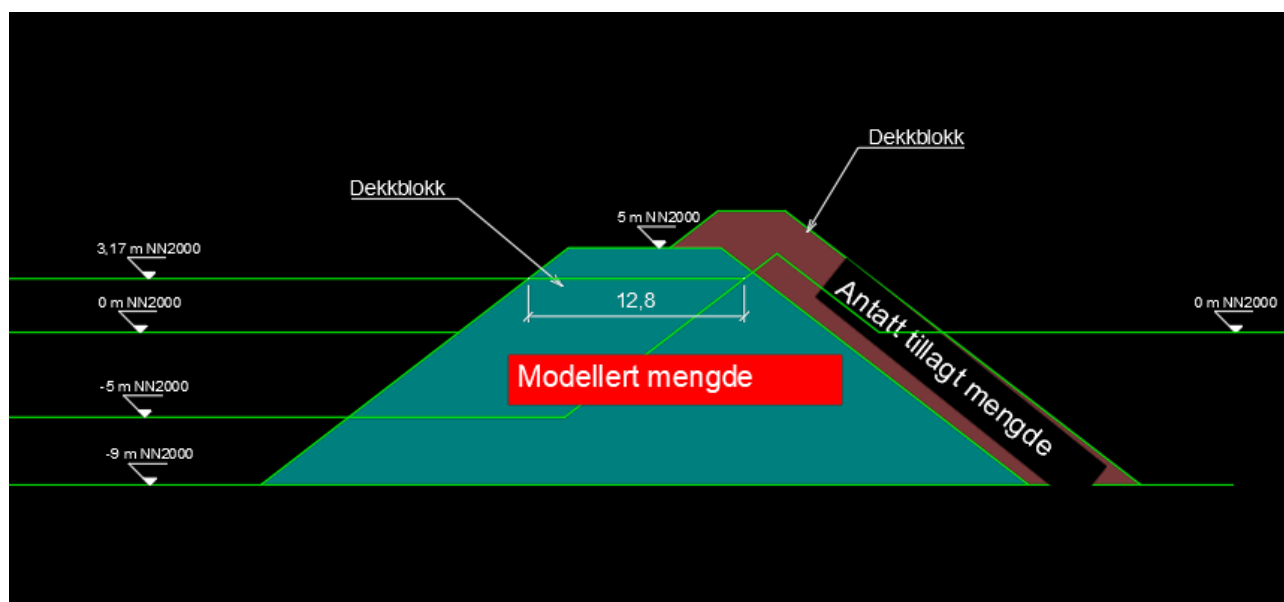
Kostnader	Mengder	Enhetspris (kr)	Sum (kr)
Kostnader molo alternativ A			
Rigg og drift		15 % av enhetssum	36 800 000
Uspesifisert		15 % av enhetssum	36 800 000
Kjernemasse	260 000 m ³	200 kr/m ³	95 000 000
Igjenfylling av mudring under molo	200 000 m ³		
Dekkblokker	130 000 m ³	700 kr/m ³	90 000 000
Mudring	200 000 m ³	300 kr/m ³	60 000 000
Sum enhetspriser			245 000 000
Total sum			320 000 000 (avrundet)

På grunn av utfordrende grunnforhold er det antatt at all bløt leire under hele moloens lengde og bredde skal mudret og gjenfylles med kjernemasse. Det er *ikke* gjort endringer av mudret volum etter at tillagt masse er lagt inn i estimatet. Enhetsprisen på 300 kr/m³ er antatt med forbehold om at massene ikke er forurensede og at de kan deponeres i nærheten.

Estimatet viser at det korte moloalternativet vil koste rundt 320 millioner. På grunn av usikkerhetene rundt enhetsprisene, molodimensjoner etc. må det forventes at estimatet vil kunne avvike med $\pm 30\%$.



Figur 23 Modellert kort molo.



Figur 24 Mulig moloutforming. Blå skravur viser modellert geometri mens den røde skravuren angir et antatt tillegg til mologeometrien.