

Lufthavn: Ny lufthavn Bodø						
Prosjekttittel: Forprosjekt NLBO						
Tittel: Sjøbelastning						
FE05	16.04.20	For bruk i forprosjekt		ARELO	AEG	SAK
SE04	19.06.19	For implementering		ARELO	AEG	SAK
SB03	11.02.19	For kommentar		ARELO	AEG	SAK
SA02	07.02.19	Tverrfaglig kontroll		ARELO	AEG	SAK
SA01	20.12.18	Intern revisjon		ARELO	AEG	SAK
Revisjon	Dato	Tekst		Laget	Kontrollert	Godkjent
Logo:				Etg.	System	Antall sider:
Norconsult 				000	710	Side 1 av 23
Prosjektnr.		Kontraktsnr.	Lufthavn/invnr.	Fag:	Dokumenttype:	Løpenummer: Revisjon:
10001444		187075	BO000	G3	RA	0001 FE05

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
2	Grunnlagsdata	3
2.1	Innledning	3
2.2	Vind	3
2.3	Stormflo og vannivå.....	4
2.3.1	Estimater på ekstrem vannstand	4
2.3.2	Kommentarer og sammenligning med andre estimater.....	5
2.4	Bølger.....	6
2.4.1	Metode	6
2.4.2	Havbølger.....	6
2.4.3	Vindbølger.....	10
2.4.4	Resultat	10
3	Dimensjonering av konstruksjoner i sjøen.....	15
3.1	Generelt.....	15
3.2	Funksjonskrav	15
3.3	Dimensjonering	17
4	Havneanlegg	20
4.1	Beredskapsbåt.....	20
4.1.1	Alternativ Vest	20
4.1.2	Alternativ Sør	20
4.2	Anleggskai	21
4.3	Konklusjoner for havnealternativ	21
5	Innflygningslys	22
6	Referanser	23

Bilag:

1. 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3201 Sjøarbeider. Normalprofil sone 1
2. 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3202 Sjøarbeider. Normalprofil sone 2
3. 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3203 Sjøarbeider. Normalprofil sone 3
4. 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3204 Sjøarbeider. Normalprofil sone 4
5. 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3205 Sjøarbeider. Normalprofil sone 5

1 INNLEDNING

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av prosjektet *Ny lufthavn Bodø* (NLBO) på oppdrag for Avinor AS. Dokumentet er oppdatert i innledende fase av forprosjektet, etter at geotekniske undersøkelser er utført. Dokumentet danner grunnlag for videre arbeider i forprosjektet.

Det håndfaste produkt av dette dokumentet er en dimensjonering av de fyllingene som skal bygges i sjøen i vestre og østre ende av rullebanen. Dimensjoneringen framgår av følgende tegninger, som er bilag til denne rapporten:

- 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3201
- 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3202
- 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3203
- 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3204
- 10001444-187075-BO000-G3-710-J-3205

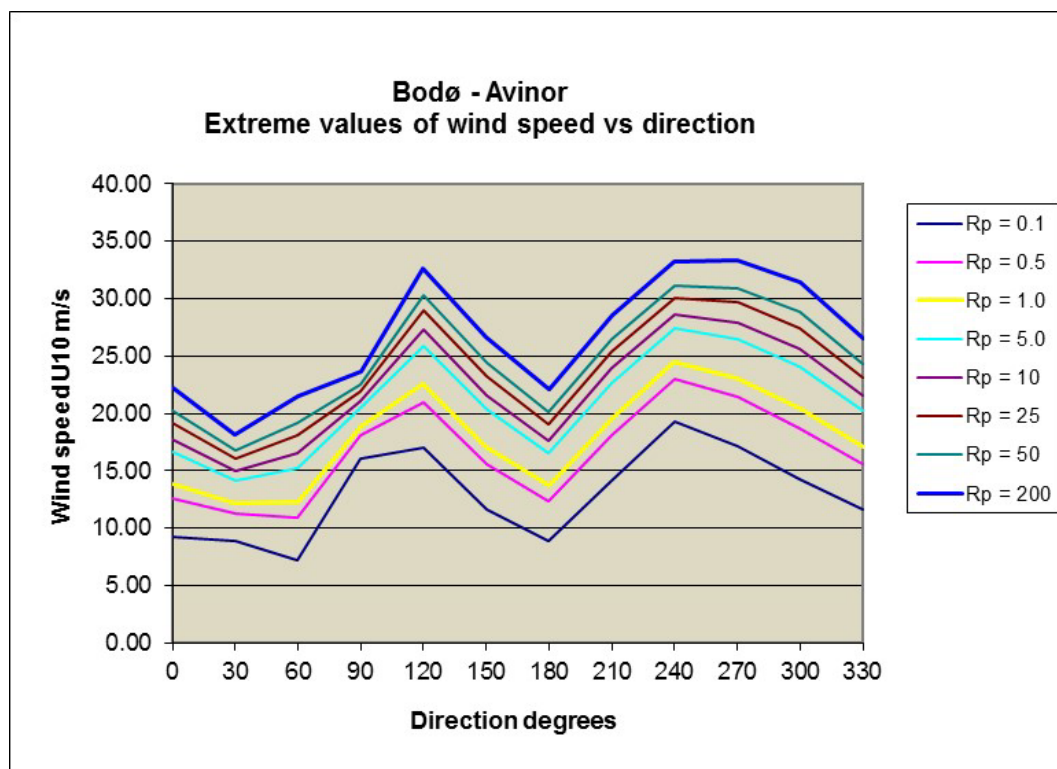
2 GRUNNLAGSDATA

2.1 Innledning

Deler av de data som presenteres i dette kapitlet er hentet fra et tidligere Norconsultnotat utarbeidet for Avinor i 2016 (ref.1).

2.2 Vind

Vindstatistikk er hentet fra målingene som foretas ved Bodø Lufthavn, 1990 – 2018. Observasjonene er gruppert i sektorer med 30° bredde, og en 3-parameter Weibull-fordeling er tilpasset til hver sektor. Deretter er ekstremverdier (ved 5, 10 års returperiode osv.) beregnet. Endelig er det gjort en justering for å finne den høyeste 10 minutt middelvei som vil forekomme innenfor en storm med 3 timers varighet. Resultatet av denne analysen er vist i Figur 1.



Figur 1: Fordeling av ekstremverdier for vindhastighet ved Bodø Lufthavn 1990 - 2018. De angitte verdier er forventet maksimal 10 min middelvind innenfor en storm med 3 timers varighet. Rp er returperiode i år.

2.3 Stormflo og vannivå

2.3.1 Estimerer på ekstrem vannstand

Ekstreme vannivå for dagens situasjon (2016) hentes fra en bearbeiding av opplysninger gitt i Tidevannstabellene (ref. 2). Den nye lufthavna ligger i Bodø Kommune, og det benyttes ujusterte data fra målestasjonen i Bodø.

Estimerer for framtiden, med inkludering av mulige klimaeffekter, er hentet fra den seneste publikasjonen om temaet, gitt i ref. 3. Estimatenes for tida fram til 2100 er gitt for perioden 2041 – 2060, som er forenklet til 2050, 2090 og for 2100. I tillegg er det for hvert årstall gitt en mest sannsynlig verdi (50 %), og en verdi med 95 % sikkerhet. Oversikt over de estimatene som er gitt, er vist i Tabell 1. Det er beregnet verdier for 50, 200 og 1000 års returperioder.

Tabell 1: Estimerer på stormflo i dag og i framtiden. Symbolet -- betyr ingen data, x angir et estimat, mens xx angir at det finnes estimerer for 50 % og 95 % sikkerhet.

Scenario	2016	2050	2090	2100
Dagens situasjon	x	--	--	--
Rcp2.6 Lave utslipp	--	xx	xx	xx
Rcp4.5 Middels utslipp	--	xx	xx	xx
Rcp8.5 Høye utslipp	--	xx	xx	xx

Resultat av beregningene er vist i Tabell 2. Høyeste observerte vannstand i Bodø er 234 cm over NN2000, tilsvarende en returperiode på 60 år.

I databasen som brukes her er 200 års stormflo i Bodø 254 cm NN2000. I aller beste fall reduseres klimautslippene kraftig (scenario Lav), og da er den mest sannsynlige (50 %) 200-års verdien i 2100 263 cm NN2000, det vil si en økning på bare 9 cm.

Dersom man antar at utslippene av klimagasser forblir høye (scenario Høy), er mest sannsynlige (50 %) 200-årsverdi i samme år 290 cm NN2000.

200-års verdien i 2100 ved høye utslipp og antatt 95 % sikkerhet er 325 cm NN2000. Dersom en følger kravene i TEK17 (med 200 års returperiode, scenario RCP8.5, 95 % ensemblespredning, horisont 2090), er dimensjonerende stormflohøyde 317 cm NN2000 (med fet skrift og understreket i Tabell 2).

Ved samme betingelser og 1000 års returperiode er høyden 344 cm NN2000.

Tabell 2: Estimerte stormflohøyder i Bodø i 2018, 2050, 2090 og 2100, i cm NN2000. «Scenario» angir hvilke utslipp av klimagasser som kan forekomme fram til angitt årstall. Tallverdier som er omtalt i teksten ovenfor er merket med blå farge. Anbefalt verdi er merket med fet skrift og understreking

Scenario	Returperiode år	2018	2050		2090		2100	
			50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
Dagens	50	231						
	200	254						
	1000	281						
Lav	50		239	252	239	265	240	269
	200		262	275	262	288	263	292
	1000		289	302	289	315	290	319
Middels	50		239	252	246	273	248	277
	200		262	275	269	296	271	300
	1000		289	302	296	323	298	327
Høy	50		243	257	262	294	267	302
	200		266	280	285	<u>317</u>	290	325
	1000		293	307	312	344	317	352

2.3.2 Kommentarer og sammenligning med andre estimater

Det finnes andre estimater på ekstreme vannstander i Bodø kommune. Slike estimater er gitt av bl.a. Direktoratet for Sivil Beredskap. Fylkesmannen (FM-N) i Nordland har oppsummert slike estimater i brev datert 2019-01-08 med kommentarer til prosjekteringsgrunnlaget.

Tabell 3: Tabell hentet fra brev fra Fylkesmannen i Nordland. FM-N anbefaler at det brukes en høyde på 312 cm NN2000 (1000 år). Antatt årstall for gyldighet er 2090 (TEK17-krav)

Returperiode	Høyde stormflo (NN2000)
20 år	276 cm
200 år	298 cm
1000 år	312 cm

Det foreslås å bruke en svakt høyere verdi for estimert stormflonivå, nemlig 317 cm NN2000.

Ekstremverdier av stormflo finnes ved å ta utgangspunkt i ekstremverdier av stormflo i dag (2019), og addere estimert økning av middelvannstand i havet fram til 2050, 2090 eller 2100. Denne klimarelaterte økningen er basert på estimater som er gjengitt i en rapport fra 2015 (ref. 3). For Bodø er estimert økning i middelvannstanden fram til 2090 og 2100 henholdsvis 63 cm og 71 cm (for RCP 8.5, 95 % ensemblespredning). Disse verdiene benyttes av både DSB og Norconsult.

Det er imidlertid grunn til å tro at anslaget for ekstremverdier i 2019 kan være noe lavt i DSBs tall. Hvis en benytter tall fra Tabell 3 og subtraherer estimert stigning fra 2019 til 2090, vil en få ekstremverdiene for 2019, dvs. en 200-års verdi på 298 cm - 63 cm = 235 cm NN2000. Dette er ikke rimelig når høyeste målte verdi i Bodø er 234 cm NN2000.

I Norconsults noe mer konservative modell er estimatet på 200 års stormflo i Bodø 254 cm NN2000 (se Tabell 2), og dette er forklaringen på at Norconsults anbefalte verdier er høyere enn det som er gitt i DSB's tabeller.

Norconsults anbefalte verdi på 317 cm NN2000 med 200 års returperiode er derfor *høyere* enn FM-N's krav om 312 cm NN2000 (med antatt returperiode 1000 år).

For en diskusjon av optimalt valg av returperiode (200 år eller 1000 år), se kap. 3.2.

2.4 Bølger

2.4.1 Metode

Bølger mot de bølgeutsatte delene av anlegget beregnes ved å beregne bølger med opphav i Vestfjorden (havbølger) og bølger som er dannet lokalt inne i Saltfjorden i separate operasjoner. Bølgene adderes sammen i hvert beregningspunkt.

2.4.2 Havbølger

Det er benyttet tre ulike bølgemodeller for å beregne bølger ved Bodø. De tre modellene er vist i Figur 2.

1. Storskala-modell med oppløsning 800 x 800 m² som dekker hele Lofoten, Vesterålen og Salten. Bølgene føres fram til et punkt omtrent så langt øst som Tennholmen. I dette punktet hentes det ut bølgespektra som benyttes i den videre analysen.
2. Mediumskala modell som dekker Bodøhalvøya og Saltenfjorden øst for Tennholmen, Fleinvær og Bliksvær, med oppløsning 50 x 50 m². Denne modellen følger bølgene fram til et punkt som ligger på en linje litt vest for Hernesskagen. I dette punktet hentes det ut bølgespektra som benyttes i den videre analysen.
3. Den siste modellen er en finskalamodell med oppløsning 30 x 30 m² som dekker ytre Saltfjorden med land på begge sider. Fra denne modellen hentes det ut bølgedata og spektra som brukes til dimensjonering av fyllingene rundt rullebanen.

I beregningssekvensen hentes det ut et bølgespektrum fra en modell i et punkt der denne modellen møter den neste og mindre modellen, og dette spekteret benyttes deretter som inngangsverdi i den mindre modellen. Figur 3, Figur 4 og Figur 5 viser bølger som kommer inn mot randen av modellene fra vest.

Bølgebelastningen mot fyllingene er undersøkt på to måter. Årsaken er at dybdekartene viser store områder rundt kransen av øyer og skjær der det kan tenkes å foregå bryting av bølgene. Når en bølge bryter, taper den energi ved dissipasjon og turbulens, og bølgehøyden reduseres til ca. halvparten eller mindre. Bølgen bryter når dybden er mindre enn ca. 1,35 x H, der H er bølgehøyde. Det følger at store bølger vil bryte over et parti der mindre

bølger kan passere. Dermed oppstår det en absolutt grense for hvor høye bølger som kan passere et gitt område som er grunt.

Enhetsbølger fra åpent hav

I denne prosedyren antar man at bølgene bryter kun mot land, der de vil stoppe uansett. Da anvender man en middels bølgehøyde i åpent hav, her $H_s = 5,0$ m, og undersøker hvilken bølgehøyde det vil gi ved anleggstedet for varierende bølgeretning og bølgeperiode.

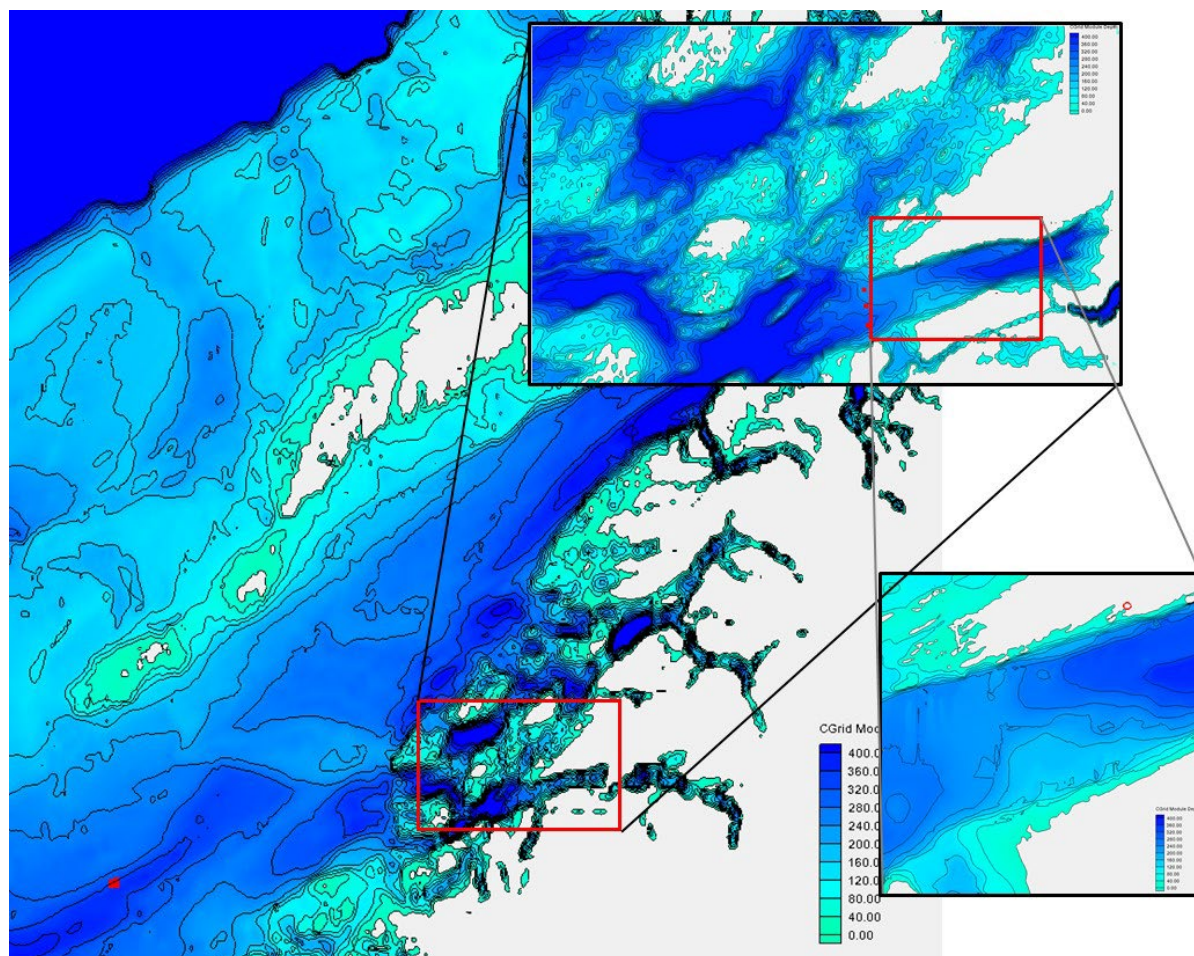
Ekstremverdier av bølgehøyde ved anleggstedet kan nå skaleres lineært, slik at f.eks. en bølgehøyde i åpent hav på $H_s = 10,0$ m gir en dobling av bølgehøyden ved anleggstedet. Metoden forutsetter imidlertid at energitapet i bryting er det samme som ved $H_s = 5,0$ m for alle andre bølgehøyder.

Ekstrembølger i åpent hav

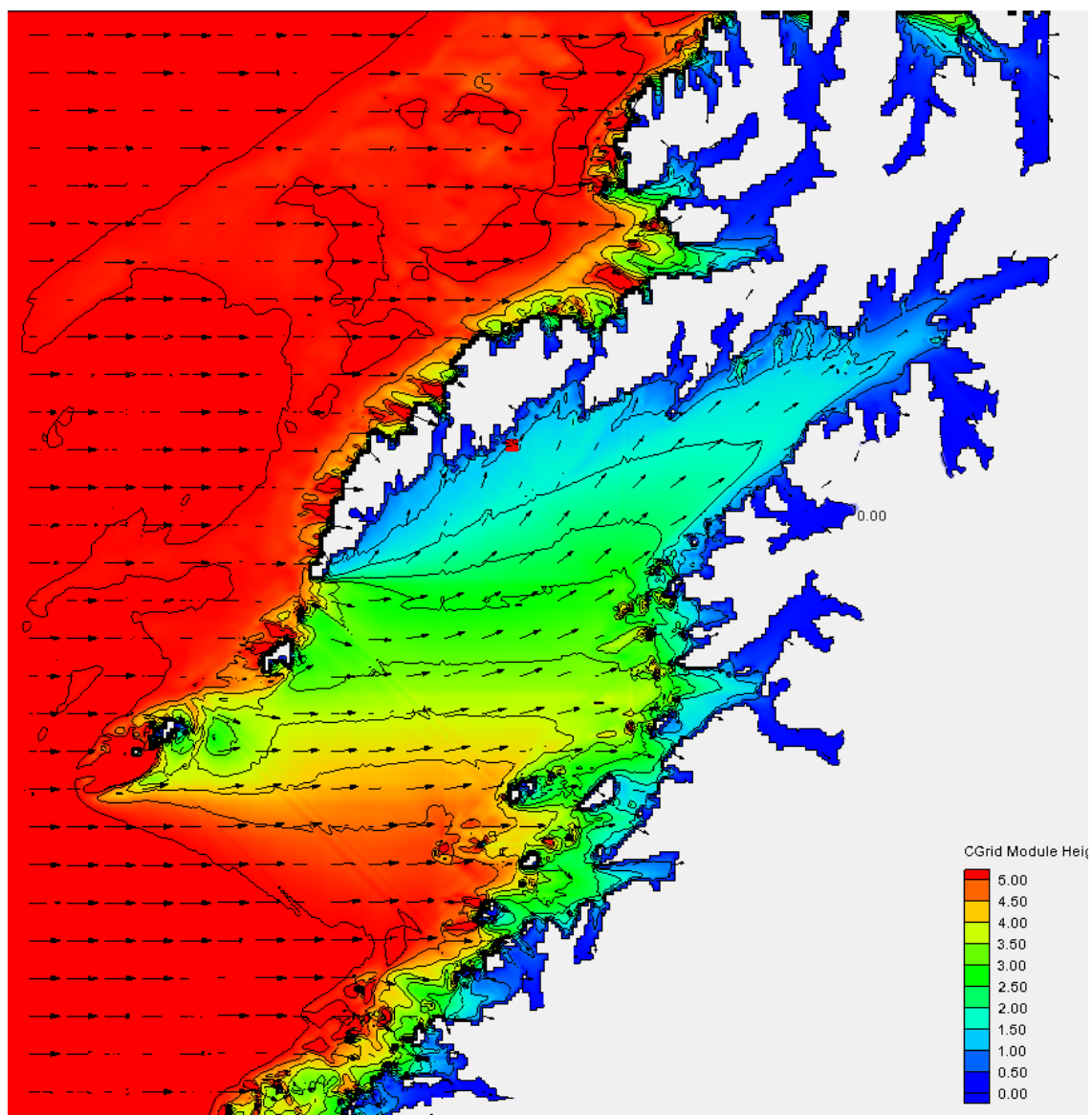
I dette tilfellet utføres en kontrollkjøring av modellene på samme måte som ovenfor, men det benyttes en ekstremverdi for bølgehøyder i åpent hav. For NLBO er det anvendt et spektrum med $H_s = 16,0$ m fra retning vest med $T_p = 16,0$ s i åpent hav, tilsvarende en returperiode $R_p = 200$ år. Deretter gjennomføres samme prosedyre som ovenfor, ved å overføre spektra fra en modell til neste, men denne gangen med reelle brytningsforhold.

Figur 6 viser oversiktskart de de øygruppene som bidrar mest til å dempe bølgene fra åpent hav gjennom direkte skjerming og brytning.

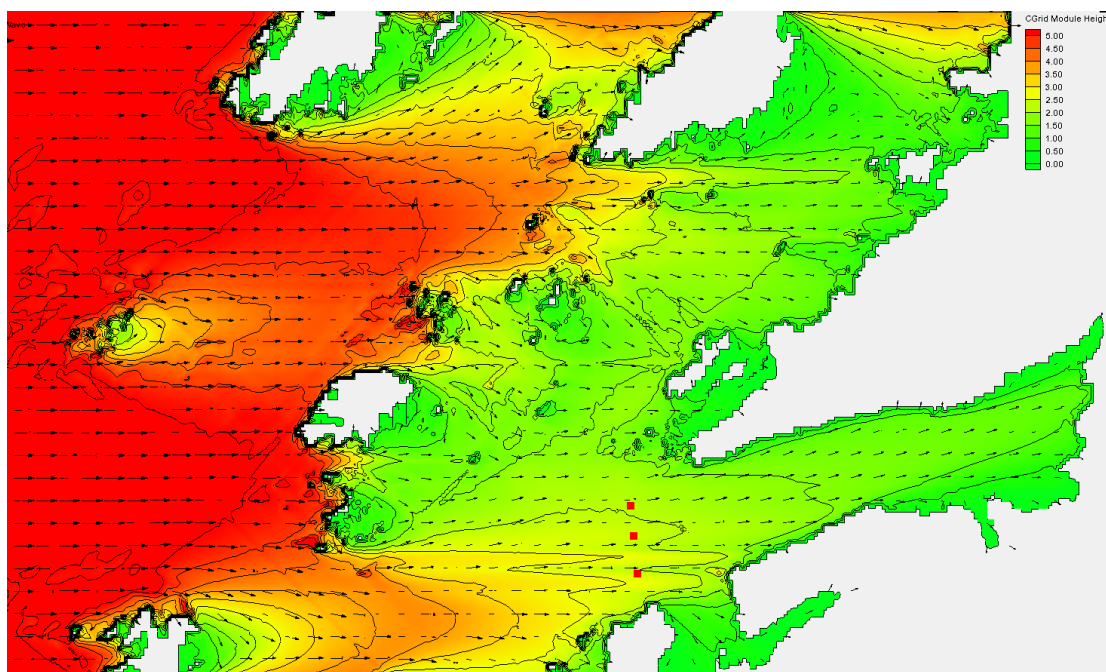
Denne sjekken viser at det er reell brytningskontroll for bølgene mot Bodøhalvøya, hvilket i praksis betyr at dersom bølgehøyden i åpent hav var enda høyere, ville det bare gi en svak økning i belastningen på fyllingene.



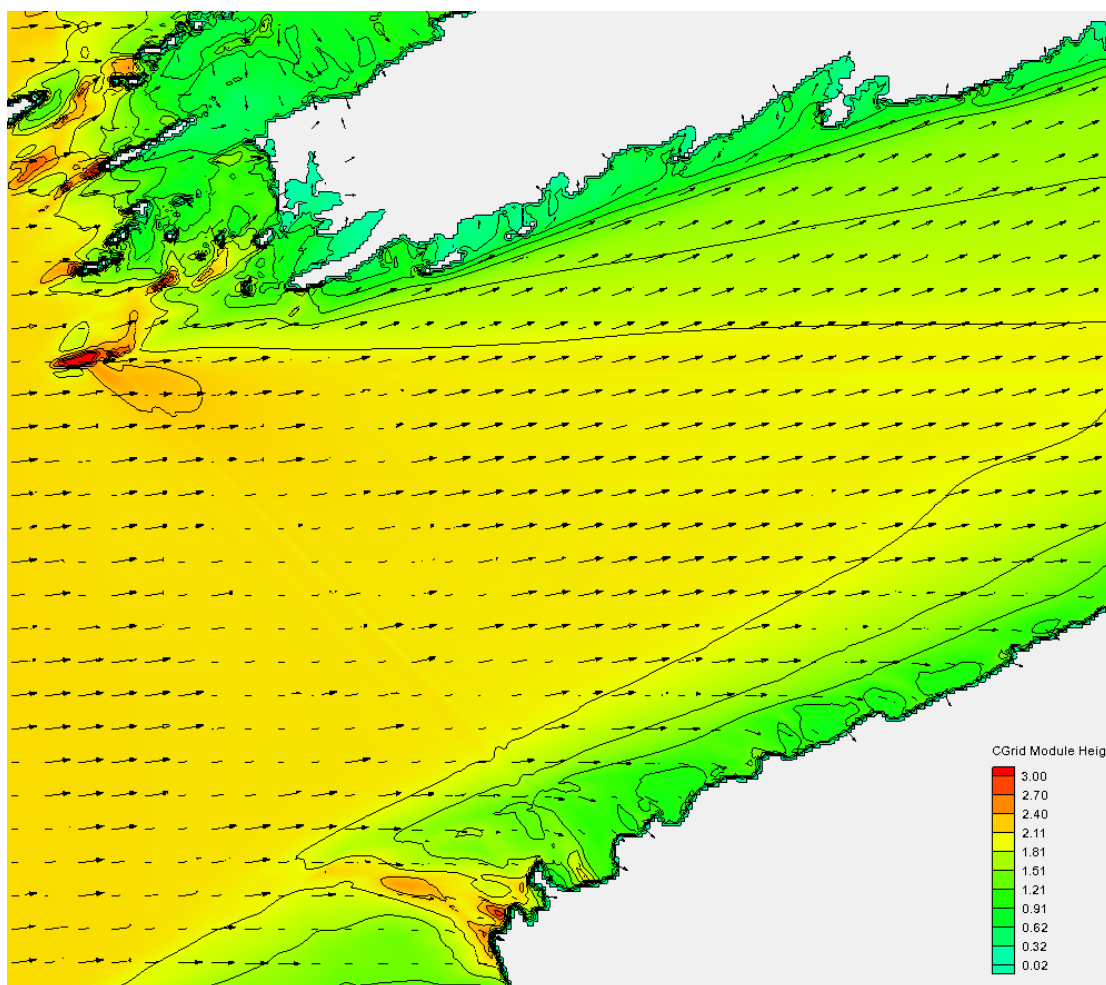
Figur 2: Sekvensiell beregning av bølgehøyder. Beregningspunktet for hindcast bølgedata er markert med rød firkant i nedre venstre hjørne.



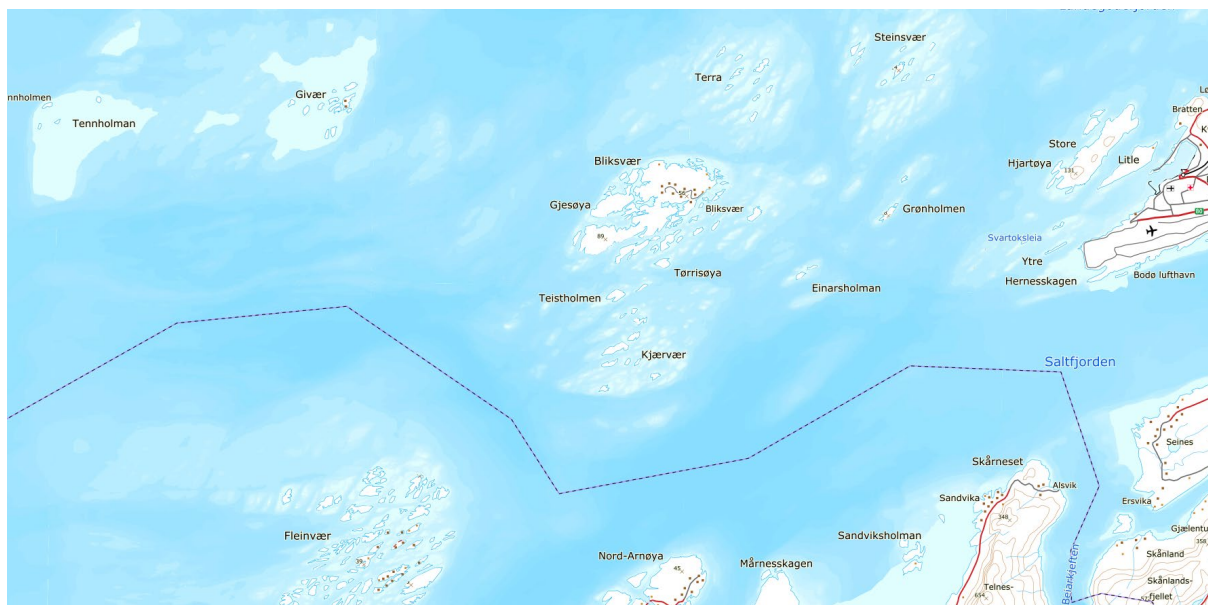
Figur 3: Storskala Lofoten-modell med bølger som kommer inn fra vest



Figur 4: Mediumskala modell av overgangen mellom Vestfjorden og Saltfjorden. Denne modellen er viktig fordi den viser hvordan grunner, holmer og skjær ved Fleinvær og Bliksvær skjærer mot havbølger.



Figur 5: Modell av Saltfjorden ved Bodøhalvøya. Denne modellen viser bare havbølger som har kommet inn fra åpent hav.



Figur 6: Kart med dybdeedata som viser store områder med skjærgård og grunne farvann ved Fleinvær, Kjærvær og Bliksvær

2.4.3 Vindbølger

Vindbølgene beregnes ved å ta utgangspunkt i beregnede ekstremverdifordelinger for vind-data fra Bodø 1990 – 2018. Vind-data er ikke justert, men det er tatt hensyn til at vinden må være av en viss varighet for at bølgene skal utvikles til en fullt utviklet strøkbegrenset tilstand.

Det er benyttet programmet HsComp som er utviklet av SINTEF og er godt dokumentert og kalibrert.

2.4.4 Resultat

Bølgehøyder og belastning er beregnet for et utvalg punkter i det området der det er planlagt at det vil komme en fylling i sjøen.

Figur 7 viser seneste revisjon av rullebanens plassering (1E-SP3-R3). Figur 8 viser dybdemodellen for den siste modelleringen av bølger mot stedet, med punktene 1 - 16 inntegnet. Bølgedata er beregnet for disse punktene. I tillegg er omrisset av sjøfyllingene indikert med svart strek. Figur 9 viser plantegningen fra Figur 7 lagt over dybdemodellen fra Figur 8.

Tabell 4 viser bølgehøyder som er *anbefalt for dimensjonering*, der det er tatt hensyn til følgende:

1. Bølgebryting i farvannet utenfor Bodøhalvøya
2. Skjerming som den nye fyllingen gir mot noen av punktene
3. Variasjoner i bølgehøyder mellom de angitte punktene

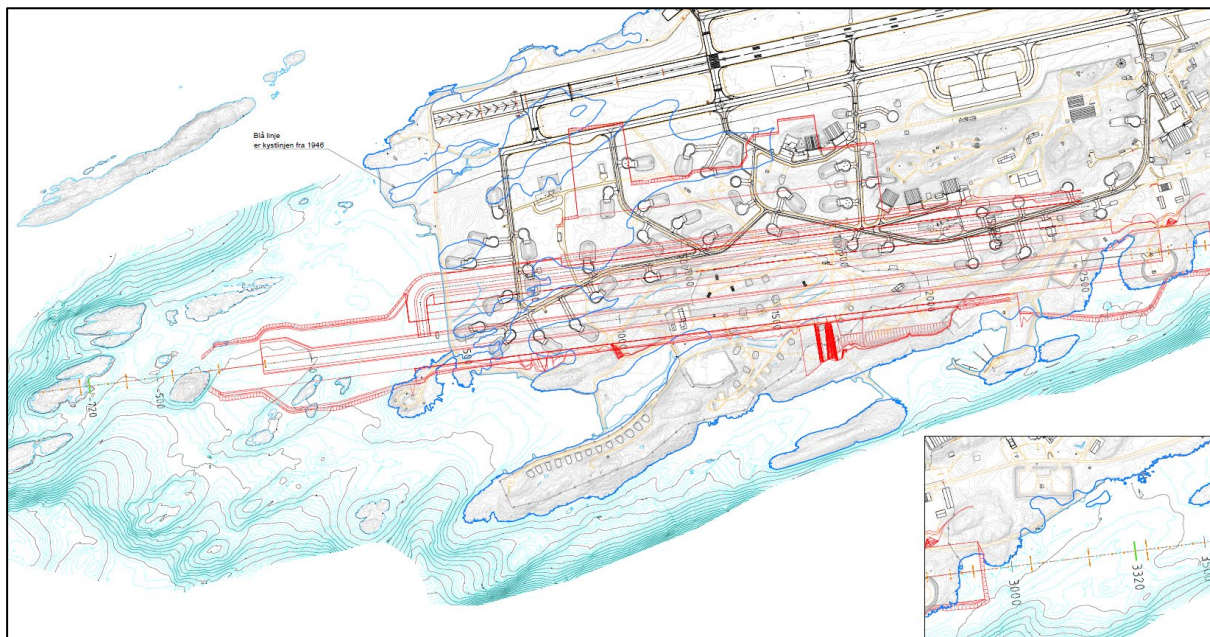
Et bilde av bølgebelastningen mot området for ny lufthavn ved en antatt 200-års tilstand i åpent hav (uten vindbølger) er vist i Figur 10. Fargeskalaen i dette bildet er $H_s = 0,0 - 7,5$ m. Generelt ser en at bølgehøyden avtar når bølgene nærmer seg land. En ser imidlertid at det er spesielt to punkter der bølgene nært land blir høye; ved punktene 8 og 9, og ved 10 og 11.

Spektra fra punktene 3 og 10 for en 200-års-tilstand er vist i henholdsvis Figur 11 og Figur 12. Spekteret fra Punkt 3 viser to tydelige topper fra 200° og 305° , der bølgeenergien fra SV

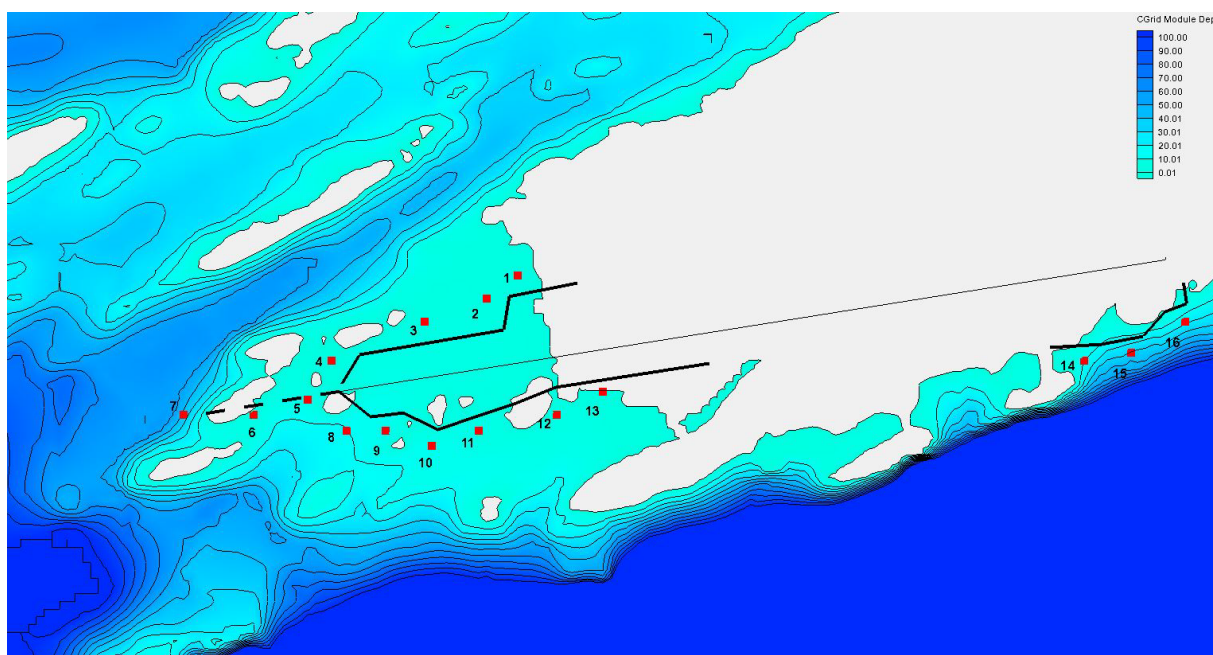
er størst. Disse bølgene blir imidlertid blokkert av den nye fyllingen, og kan derfor fjernes ved dimensjoneringen.

Spekteret fra Punkt 10 (Figur 12) har også to topper, men disse ligger nær hverandre (195° og 225°). Denne svake delingen av bølgespekteret skyldes at det er en grunne foran Punkt 10 som fører til at bølgene svinger rundt grunnen på begge sider og møtes på innsiden.

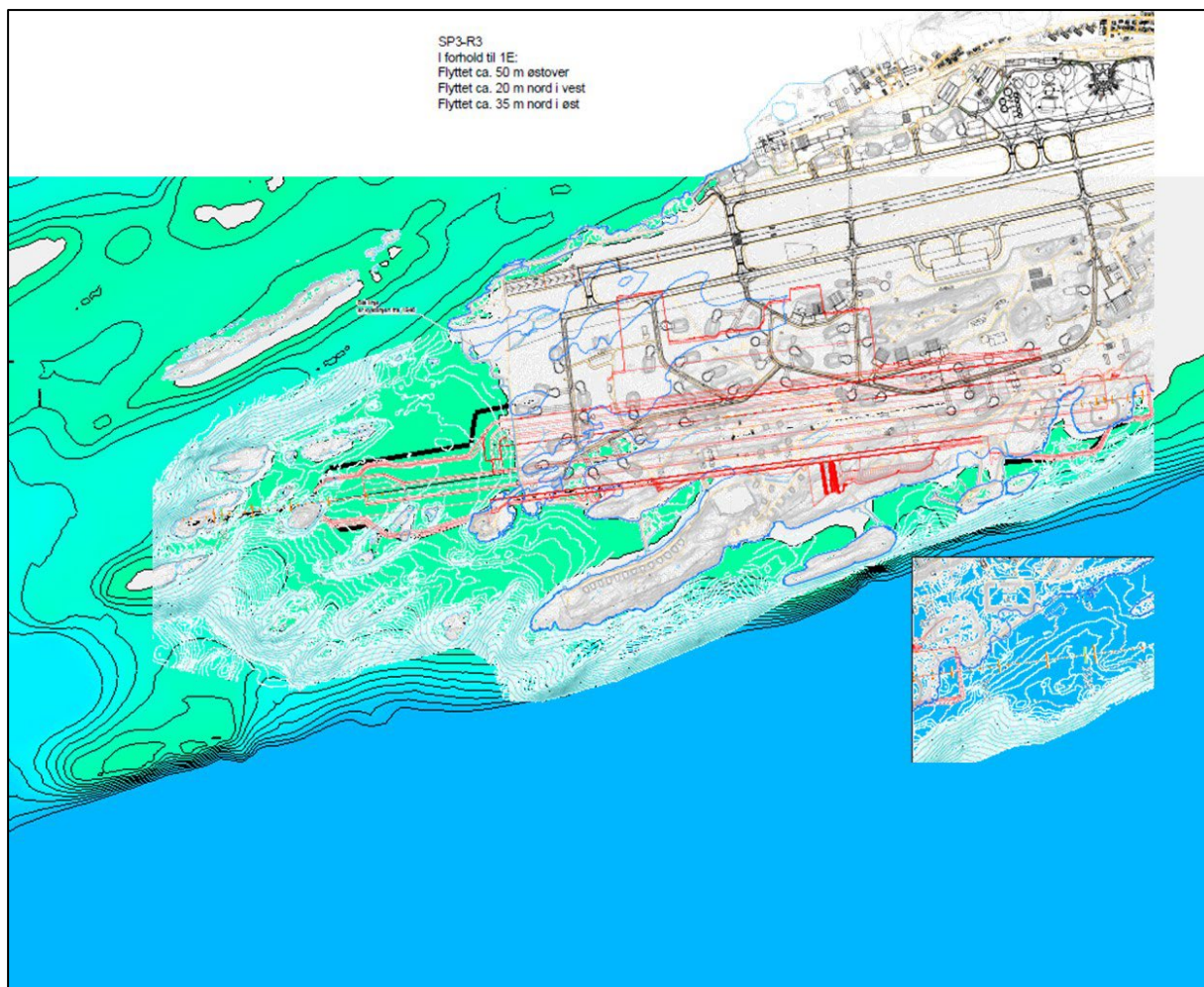
De ytre delene av Hernesskagen (vestre del i Figur 7) er utsatt for bølger av betydelig størrelse. Bygging av moloer og fyllinger med så høy bølgebelastning er utført i Norge tidligere (eksempelvis Sirevåg, Reine, Melkøya, Mortavik (Rogaland) og Årviksand), men anleggene er ressurskrevende og krever nøyaktig dimensjonering og utførelse av arbeidet.



Figur 7: Planlagt utbygging



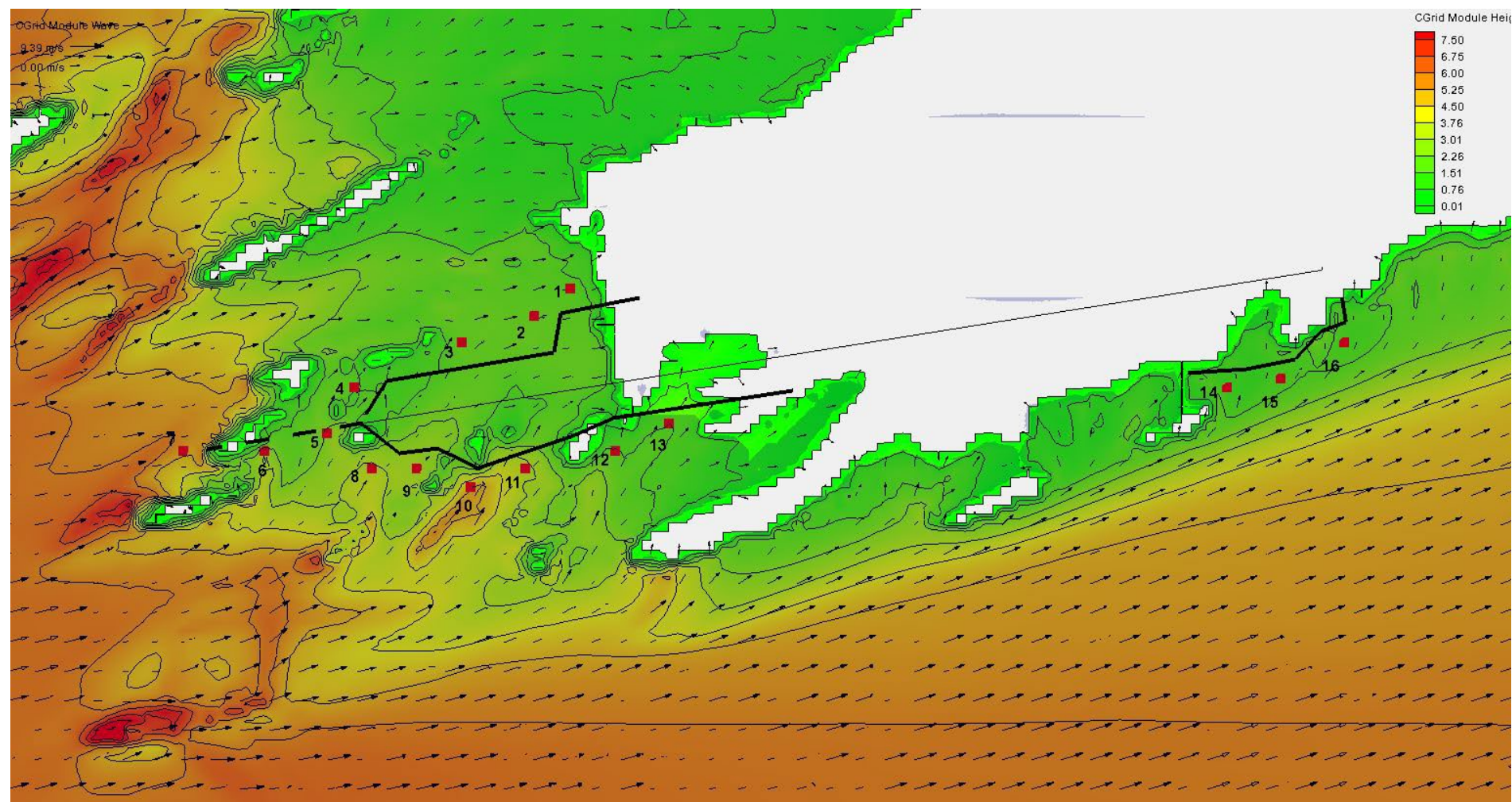
Figur 8: Dybde-datamodell (0 - 50 m) med omriss av utbygging og punkter 1 - 16 der bølger er beregnet



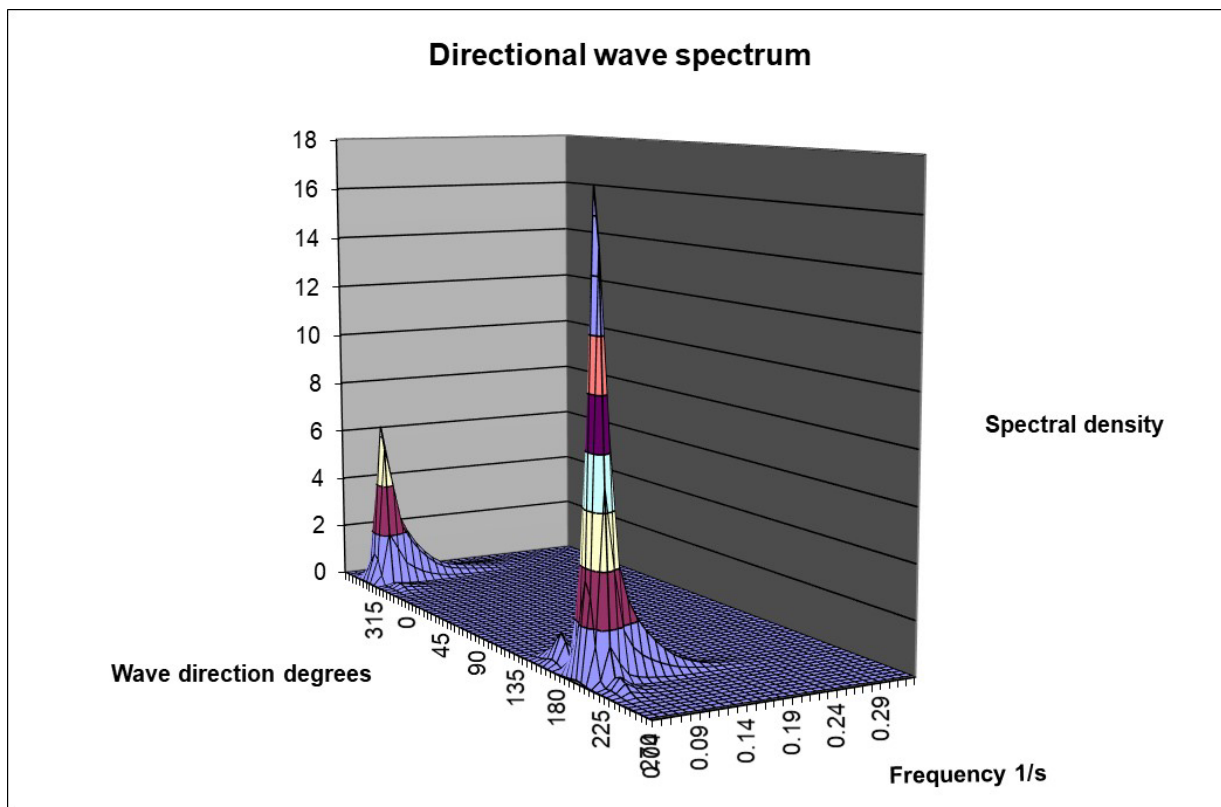
Figur 9: Planlagt utbygging overlatt på dybdatedamodell

Tabell 4: Beregnet signifikant bølgehøyde (vindsjø + havsjø) for Punkt 1 - 16, 200 år returperiode

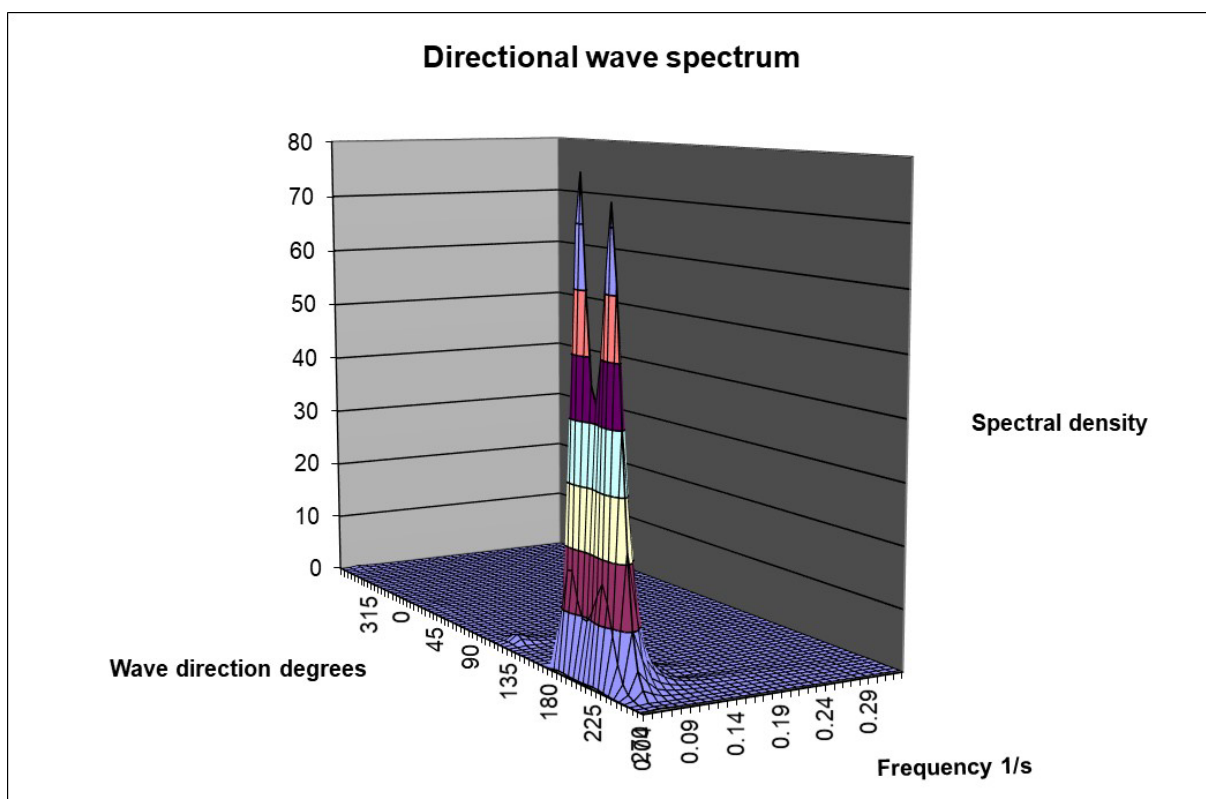
	Havbølger H_{m0} m	Max vindbølger H_{m0} m	Total bølgehøyde H_{m0} m	Område for T_p s
1	1,59	0,80	1,33	10 - 16
2	1,85	0,80	1,54	10 - 16
3	1,86	0,80	1,31	10 - 16
4	1,64	0,80	1,41	10 - 16
5	2,36	2,08	3,14	10 - 16
6	2,92	2,08	3,59	10 - 16
7	4,71	2,08	5,15	10 - 16
8	3,12	2,08	3,75	10 - 16
9	2,74	2,08	3,44	10 - 16
10	4,45	2,08	4,91	10 - 16
11	3,08	2,08	3,72	10 - 16
12	1,57	1,46	2,14	10 - 16
13	1,51	1,46	2,10	10 - 16
14	1,11	1,89	2,19	4 - 6
15	1,34	1,89	2,32	4 - 6
16	1,29	1,89	2,29	4 - 6



Figur 10: Fordeling av signifikant bølgehøyde H_s (0,0 – 7,5 m) ved angrep av havbølger i åpent hav med $H_s = 16,0$ m, $T_p = 16,0$ s og retning fra vest (200 års tilstand)



Figur 11: Retningspektrum fra Punkt 3, 200 års sjøtilstand



Figur 12: Retningspektrum fra Punkt 10, 200 års sjøtilstand

3 DIMENSJONERING AV KONSTRUKSJONER I SJØEN

3.1 Generelt

De viktigste konstruksjonene som skal dimensjoneres er fyllinger i sjøen på sørsiden i vestre ende (Punkt 8 - 11) og på sørsiden i østre ende (Punkt 14 - 16), se Figur 8. Bølgehøyden i disse punktene er 3,44 - 4,91 meter i vest, og 2,2 - 2,3 meter i øst.

I vestre del vil det være helt nødvendig å konstruere fyllingen som en ensidig skuldermolo. I den østre enden kan man vurdere tradisjonell plastret fylling som alternativ til skuldermolo-prinsippet.

3.2 Funksjonskrav

De gjeldene retningslinjer i «TEK17 § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo» (4) inneholder klasser for flomfare avhengig av konstruksjonens viktighet og risiko for liv, helse og miljø.

Tabell 5: Sikkerhetsklasser for flomfare, iht. TEK17

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

I veiledningen til Tabell 5 er følgende nevnt:

«2. Sikkerhetsklasse F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold. Byggverk som kan inngå i denne sikkerhetsklassen er:

- bolig, fritidsbolig og campinghytte
- garasjeanlegg og brakkerigg
- skole og barnehage
- kontorbygning
- industribygg
- driftsbygning i landbruket som ikke inngår i sikkerhetsklasse F1

De økonomiske konsekvensene ved skader på byggverket kan være store, men kritiske samfunnsfunksjoner settes ikke ut av spill.

I deler av flomutsatte områder kan det være større fare enn ellers. I flomutsatte områder der det under flom vil være stor dybde eller sterk strøm, bør det være samme sikkerhetsnivå som sikkerhetsklasse F3. Dette gjelder områder der dybden er større enn 2 meter og der produktet av dybde og vannhastighet (i m/s) er større enn 2 m²/s.

3. Sikkerhetsklasse F3 omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene. Byggverk som kan inngå i denne sikkerhetsklassen er:

- Byggverk for særlig sårbare grupper av befolkningen, for eksempel sykehjem og lignende
- Byggverk som skal fungere i lokale beredskapssituasjoner, for eksempel sykehus, brannstasjon, politistasjon, sivilforsvarsanlegg og infrastruktur av

stor samfunnsmessig betydning. For byggverk som har regional eller nasjonal betydning i beredskapssituasjoner gjelder første ledd.

- *Avfallsdeponier der oversvømmelse kan gi forurensningsfare. For deponier som omfattes av storulykkeforskriften gjelder første ledd.»*

Det er viktig å notere seg at flomfaren består i at vann fra bølger kan komme inn på området. Hele rullebanen og tilhørende områder vil alltid ligge høyere enn ekstrem stormflo, fordi høyden også inkluderer vern mot bølger.

Dersom man får en situasjon med en overskridelse av en kombinert stormflo og bølge-situasjon med 200 års returperiode, er konsekvensen at man under stormen kan få mer vann inn på rullebanen enn det som kan tillates for sikker landing og takeoff, og at en kan få mindre, men reparerbare skader på fyllingen. Det vil ikke inntre et totalt sammenbrudd fordi det er valgt en «seig» konstruksjon med høy redundans.

Det kan også forekomme objekter på rullebanen, men disse vil skyldes vind, ikke bølger. Det foreligger gode eksempler på denne typen konstruksjoner som står godt selv med en solid overskridelse. Et nærliggende eksempel er Mortavika fergekai i Rogaland, som ble designet for $H_s = 6,5$ m, men den har siden åpningen i 1990 hatt fire stormer over dette nivået, den høyeste på $H_s = 7,6$ m. Det har medført noe skader, men ingen som har krevet reparasjon og det er ingen endringer i moloens funksjon. Konsekvensen av en overskridelse av 200-års nivået vil derfor være en midlertidig innstilling av driften og en påfølgende inspeksjon/opprydding på rullebanen, men det vil ikke inntre et havari, en langvarig stans i driften eller behov for gjenoppbygging. Sikkerhet for liv og helse er ivaretatt ved at driften ved lufthavna innstilles pga. vind.

Selv om en lufthavn utvilsomt vil komme i kategorien «infrastruktur av stor samfunnsmessig betydning» og dermed i klasse F3, så vurderes det at all mulig sikkerhet og alle driftsfunksjoner er godt ivaretatt ved å velge klasse F2 (som gir 200 års returperiode).

Den stormflohøyden som er anbefalt her er uansett større enn den som framkommer av DSB's tabeller for 1000 års returperiode.

For bølger vil det også ha liten konsekvens om man skulle gå fra klasse F2 til klasse F3. Analysen ovenfor (kapittel 2.4.2) viser at bølgene som treffer den mest utsatte delen av rullebanen og lysrekke i vestre ende, er brytningskontrollert, det vil si at det er dybdeforholdene mellom åpent hav og vestenden at lufthavna som begrenser bølgehøyden, ikke bølgehøyden i åpent hav.

Basert på diskusjonen over anbefaler vi derfor å dimensjonere konstruksjonen etter følgende prinsipper:

1. Stabilitet av fyllingen under en kombinert påkjenning av 200 års stormsituasjon og 200 års stormflo. Nødvendig steinstørrelse baseres på metoder beskrevet i Kystverkets Molohåndbok (5), som inneholder beskrivelser hentet fra internasjonal litteratur. Tradisjonelle moloer beregnes med van der Meers metoder, og skuldermoloer beregnes med metoder beskrevet bl.a. i Manual on the Use of Rock in Hydraulic Engineering (6). I tillegg utføres en kontroll med 1000 års returperiode, tilsvarende klasse F3. Da er kravet at fyllingen kan være deformert og kan kreve reparasjoner, men skal fortsatt være intakt.
2. Begrenset overskyllingsrate (målt i liter per sekund pr lengdemeter, l/(sm)) for å hindre vann i å komme inn på banelegemet. Til denne beregningen brukes metoder fra EurOtop Manual (7) med tilleggsfunksjoner fra en publikasjon om skuldermoloer (8).

3.3 Dimensjonering

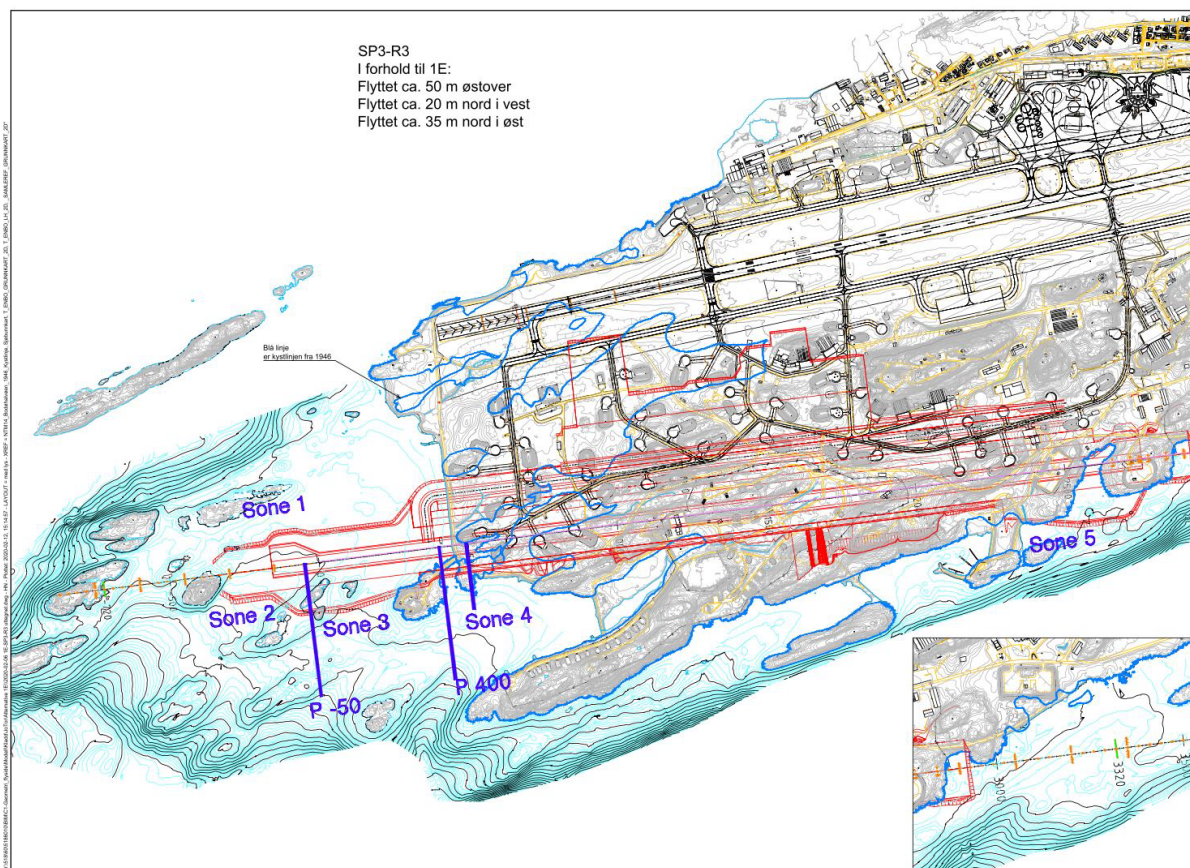
I denne rapporten leveres en dimensjonering av fyllinger i følgende soner, se Figur 13 og Tabell 4.

- I. Sone 1: Punkt 1 - 4
- II. Sone 2: Punkt 8 og 9
- III. Sone 3: Punkt 10 og 11
- IV. Sone 4: Punkt 12
- V. Sone 5: Punkt 14 - 16

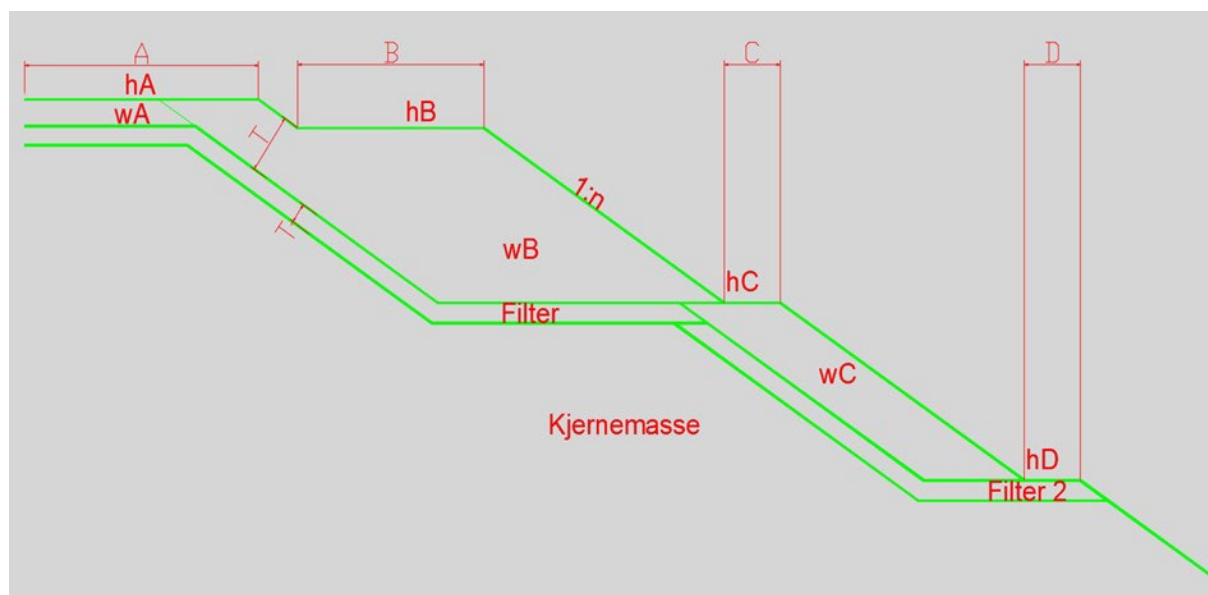
En videre optimalisering kan foretas når detaljerte opplysninger om mulig produksjon fra fjellsprenging blir kjent. Hensikten med en slik øvelse er å utnytte mest mulig av produksjonen fra steinbruddet, slik at transportarbeid minimaliseres og masser som må deponeres reduseres til et minimum. Et generisk prinsippsnitt av fyllingene er vist i Figur 14. Figuren er dekkende for både tradisjonell molo og skuldermolo gjennom å variere størrelsen på skulderbredden B. Alle høyder angis i NN2000.

I dimensjoneringen er det benyttet den høyde på fremre kant av fyllingen (nivå hA, Figur 14) som fremkommer av de foreløpige snitt av banelegemet. Høyden over vann under en dimensjonerende storm vil bli redusert tilsvarende det valgte dimensjonerende vannnivå (Avsnitt 2.3). Ved at høyden her blir satt av baneutformingen, er det bare bredden A (Figur 14, målt fra knekkpunktet og mot venstre) som begrenser vannmengden inn på banen. Avstanden som er brukt fra fremre kant på fyllingene og innover mot rullebanen skal være en sikkerhetssone som kan benyttes til å dempe bølgeoverskyllingen for å hindre vann å komme inn på rullebanen. Det betyr også at den første delen tilsvarende den oppgitte avstanden må bestå av grov pukk/sprengstein, f.eks. 300/600, slik at vannet her absorberes i grunnen og renner tilbake i havet.

Det vil være mulig å anlegge en driftsveg i dette området uten å redusere funksjonen som vannabsorberende flate. Forutsetningen er at vegen ikke dekker hele området, og at det finnes et åpent felt mellom vegen og taksebane/rullebane som er minst like bredt som vegen.



Figur 13: Foreslått soneinndeling av fyllinger i sjøen



Figur 14: Generisk snitt av fylling, tradisjonell (B= 0,0) og skulder type (B> 0,0)

Tabell 6: Fyllingsdimensjonering

	Dreneringssone A				Plastringssone B				Underplastring C				Under-plastring D		Filter 1		Filter 2		Kjerne-masse	Skrå-ning
Type	Bredde m	Høyde m NN2000	Vekt W50 tonn	Tykk-else m	Bredde m	Høyde m NN2000	Vekt W50 tonn	Tykk-else m	Bredde m	Høyde m NN2000	Vekt W50 tonn	Tykk-else m	Bredde m	Høyde m NN 2000	Dim. mm	Tm	Dim. mm	Tm		
A	10,00	4,20			0,00	4,20	1,00	1,30							63 - 300	0,50			Spreng-stein	1,30
B																				
C																				
D	5,00	6,00	6,00		10,00	6,00	6,00		3,00	-6,00	4,40		2	-9,00	120-600	0,90	120-600	0,90	Spreng-stein	1,30
E	8,70	6,00	10,00		15,00	6,00	10,00								300-600	1,00			Spreng-stein	1,30
F																				
G	7,00	5,50	4,00	2,10					3,00	-5,00	2,00	2,00			120-300	0,90			Spreng-stein	1,30

4 HAVNEANLEGG

4.1 Beredskapsbåt

Det skal planlegges en kai for Lufthavnas beredskapsbåt. En plassering i vestre ende av nåværende rullebane har vært foreslått, og et annet nærliggende alternativ er ved den nåværende småbåthavna mellom Langholmen og Buholmen på halvøyas sørside, se Figur 15. I de etterfølgende kapitler er utfordringer knyttet til hvert alternativ diskutert, men det er ikke foretatt en vurdering av utrykningstid i henhold til regelverket.

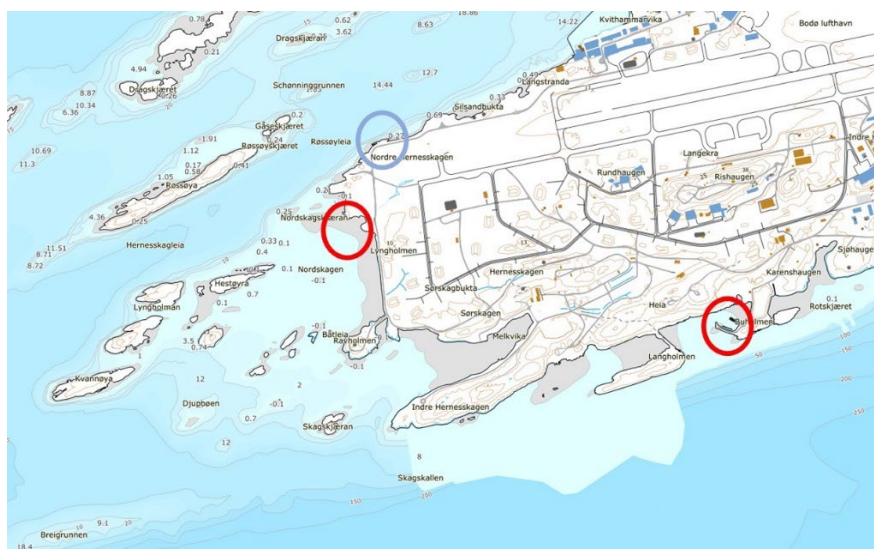
4.1.1 Alternativ Vest

Dette alternativet vil kunne få en lun plassering der man med enkle midler vil kunne bygge en god havn for et mindre fartøy. Det finnes imidlertid en del usikre momenter knyttet til denne plassen.

1. Dybdeforholdene er usikre og ikke godt kartlagt, og i dag vet man ikke om det er tilstrekkelig vanndybde for båten under alle forhold.
2. Man kan se fra flyfoto at bunnen består av sand. Vi vet ikke i hvilken grad denne sanden er mobil og responderer på stormer. Dersom en ny havn må etableres med utdyping eller mudring, kan de utdypede områdene raskt fylles opp igjen av bølger, i verste fall under en enkelt storm.
3. Bølgeforholdene i bukta er godt representert ved Punktene 1 og 2 (Figur 10), som viser rolige forhold. Under storm og dårlig vær vil imidlertid båten måtte gå en stor runde rundt de ytre skjærene ved Hernesskagen (vestre ende av halvøya) for å komme til det mest sannsynlige stedet der behovet finnes, dvs. på sørsiden. Dette gir økt gangtid på grunn av økt avstand, men også fordi farten må reduseres på grunn av høyere bølger (som Punkt 7 - 10, Figur 10).

4.1.2 Alternativ Sør

Det finnes ikke tilsvarende argumenter mot en lokalisering på sørsida av rullebanen. Denne havna er i bruk i dag, og egenskapene til havna vil være kjent. Havna er dessuten romslig og har gode dybdeforhold. Det gjør at havna i ulykkestilfeller vil kunne betjene også andre redningsfartøy som er aktuelle.



Figur 15: Aktuelle plasseringer av beredskapsbåt er merket med rødt; eksisterende dypvannskai («NATO-kaia») er merket med blått

4.2 Anleggskai

Det vil oppstå et stort behov for innskiping av anleggsmateriell, utstyr, byggevarer og store mengder bulkvarer som det vil være gunstig å ikke belaste det lokale vegnettet med. Det er derfor behov for en anleggskai.

Det eksisterer allerede en kai på nordsiden av Hernesskagen. Kaia brukes av Forsvaret, og benevnes «NATO-kaia». NATO-kaia har den fordel at det er en eksisterende kai som er godt egnet og dimensjonert for formålet. Foreløpige anslag viser at det ikke vil være konflikt mellom skip ved kai og trafikken ved nåværende rullebane. NATO-kaia ligger gunstig til for arbeider i den vestre del av NLBO, der hoveddelen av stein til fyllinger skal plasseres.

Et alternativ er å bygge ut en ny kai i det samme området som blir vurdert for beredskapsbåt (Figur 15). Dette området har en betydelig bedre værstatistikk, og vil sannsynligvis få betydelig høyere regularitet enn NATO-kaia både fordi bølgehøydene er lavere og fordi de korte bølgene fra Saltenfjorden er mindre belastende på skipene enn de lange dønningene som kommer inn mot NATO-kaia.

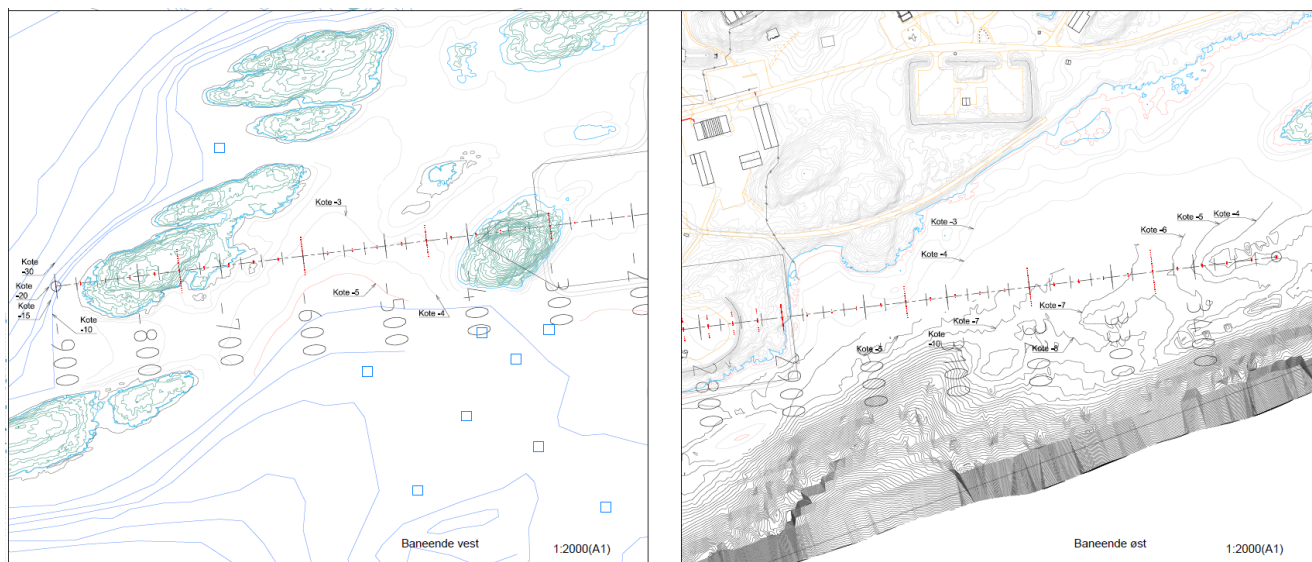
Det er imidlertid forbundet med store kostnader å etablere en ny havn med kai i dette området. Det vil kreve utdyping og undervannsprenging, bygging av ny kai og tilførselsveger, og sannsynligvis bygging av en ny molo.

4.3 Konklusjoner for havnealternativ

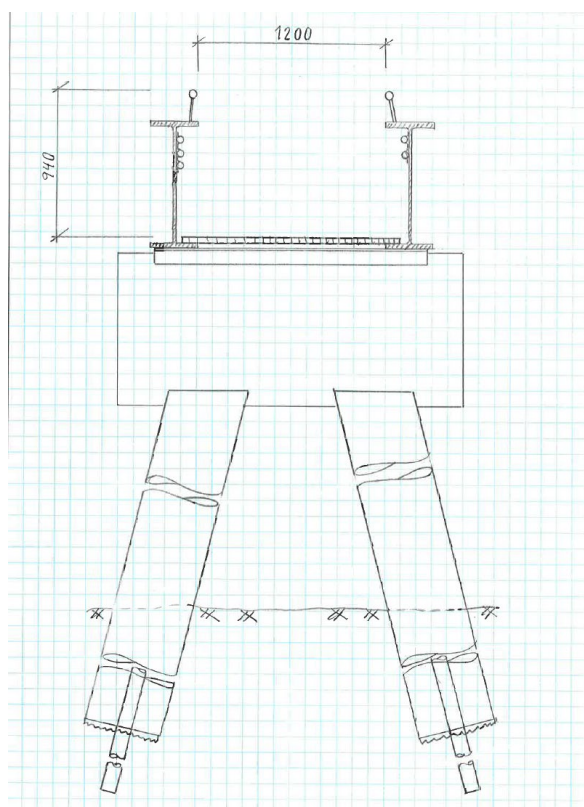
- En havn for beredskapsbåt bør ligge ved det sørlige alternativet i eksisterende småbåthavn. Dette gir best forutsigbarhet for arbeidsforholdene, og bedre forhold i aktuelle krisesituasjoner.
- Det anbefales å utvikle NATO-kaia til anleggskai dersom det kan gjennomføres av hensyn til trafikken i dagens lufthavn. Kostnadene (og tidsforbruket) med å etablere anleggskai/havn i sør ansees å være for høye.

5 INNFLYGNINGSLYS

Innflygingslysene på NLBO skal stå på brokonstruksjoner som står på peler, kfr. Figur 16. som viser lysrekkene. Hvert opplagringspunkt består av en pelebukk med to skråstilte peler med pelehode. Det er 18 slike pelepar som står i kontakt med sjøen. Lokal vanndybde er 0 - 8 m. Skisse av en pelebukk er vist i Figur 17. Det vises til eget notat 10001444-187075-B2-NO-0112 Gangbro for innflyvningslys (ref. 13). Det er utført beregninger av bølgekrefte på peler og pelehoder. Beregningene viser at planlagt konstruksjon er gjennomførbart.



Figur 16: Utklipp fra plantegning over de planlagte innflygingslysene for hhv. vestre og østre baneende (rød markering viser lysene)



Figur 17: Pelefundament for gangbane til innflygingslys

6 REFERANSER

1. Ny Bodø Lufthavn – Høyder, Norconsult notat 2016-10-14, utarbeidet for Avinor
2. Tidevannstabeller for den norske kyst med Svalbard, Statens Kartverk Sjø
3. M.J.R. Simpson, J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015): Sea Level Change for Norway NCCS report no. 1/2015
4. Direktoratet for Byggkvalitet: Byggteknisk forskrift (TEK17)
5. Lothe A E, Bjørdal, Eiksund G: Kystverket Moloer, SINTEF rapport STF22 F00203, Mars 2000
6. CIRIA/CUR: Manual on the Use of Rock in Hydraulic Engineering, 2013
7. EurOtop Wave overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual 2016
8. Jentsje van der Meer, Sigurdur Sigurdarson: Design and Construction of Berm Breakwaters: Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 40 World Scientific, 2017
9. Dean & Dalrymple: Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Prentice-Hall, 1984
10. DNV-GL: DNV-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads, Recommended Practice
11. Wienke J, Sparboom U, Oumerachi H: Theoretical formulae for wave slamming loads on slender circular cylinders and application for support structure of wind turbines, ICCE, 2004
12. McConnel, Allsop & Cruickshank: Piers, jetties and related structures exposed to waves, HR Wallingford/Thomas Telford 2004
13. Gangbro for innflyningslys (10001444-187075-B2-NO-0112), Norconsult 2020