

RAPPORT

Bølgevurdering Ramsund

OPPDRAAGSGIVER

Forsvarsbygg

EMNE

Bølger, stormflo og overskylling

DATO / REVISJON: 15. august 2025 / 01

DOKUMENTKODE: 10250048-01-RIMT-RAP-001



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.

RAPPORT

OPPDAG	Rammeavtale R01020 - Hovedkai videreutvikling		DOKUMENTKODE	10250048-01-RIMT-RAP-001
EMNE	Bølgevurdering Ramsund		TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDAGSGIVER	Forsvarsbygg		OPPDAGSLEDER	Trude Skogesal
KONTAKTPERSON	Bernt Stensaker		UTARBEIDET AV	Algot Peterson
KOORDINATER	Øst: 16.5093	Nord: 68.4928	ANSVARLIG ENHET	10235042 Marint miljø og havbruk

SAMMENDRAG

I forbindelse med utarbeidelse av reguleringsplan for Ramsund har Multiconsult på oppdrag fra Forsvarsbygg gjort en vurdering av stormflo, bølger og overskylling. Stormflo og bølgetilstand med 20 års returperiode og 200 års returperiode med fremtidig havnivåstigning på grunn av klimaendringer er lagt til grunn, tilsvarende sikkerhetsklasse F1 og F2 i byggt teknisk forskrift TEK17. Overskyllingsberegningen er utført for et verkstedbygg og tekniske bygg som henholdsvis faller under sikkerhetsklasse F1 og F2.

Dønning når ikke inn til Ramsund. For vindbølger er største signifikante bølgehøyde 0.87 m, og gjennomsnittlig overskyllingsrate ved kaifronten er 22 l/m/s ved 20 års tilstand.

Sikkerhetsklasse F1: Ved 20 års stormflo vil eksisterende kai på kote 3.0 m ha 0.5 m fribord. Overskyllende bølger er over anbefalt grense på 1 l/m/s for høyder opp til 3.5 m. Eksisterende lager/verkstedsbygg står i høyde med kaien men ligger tilbaketrukket fra kaifronten og er ikke utsatt for overskylling av betydning. Fremtidige bygg i sikkerhetsklasse F1 bør plasseres over kote 3.5 for å holde overskylling på et akseptabelt nivå.

Sikkerhetsklasse F2: Ved 200 års stormflo med klimapåslag er vannstanden 3.3 m og eksisterende kai ligger under vann. Tekniske bygg som faller under sikkerhetsklasse F2 bør plasseres over høyde 4.5 m for å holde overskylling på et akseptabelt nivå.

01	15.08.2025	Oppdatert med to nye punkt, oppdatert etter endret definisjon av sikkerhetsklasse F1 i TEK17	Algot Peterson	Abushet Simanesew	Idun Bodsberg
00	06.02.2024	Bølgevurdering, stormflo og overskylling	Algot Peterson	Abushet Simanesew	Trude Skogesal
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Begreper og definisjoner	5
2	Bakgrunn	6
3	Krav til sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger.....	8
4	Metode.....	9
4.1	Vannstand	9
4.2	Bølgesimulering	10
4.3	Overskylling	13
4.3.1	Akseptabel overskylling	13
4.3.2	Overskylling ved Ramsund	15
5	Resultater	16
5.1	Stormflo	16
5.2	Bølgetilstand	17
5.3	Overskylling	19
6	Anbefalinger for prosjektering	22
7	Referanser	23
	Appendiks A Bakgrunnsinformasjon om modellen	24

1 Begreper og definisjoner

Tabell 1: Oversikt over begreper og definisjoner bruk i rapporten.

Gjentaksintervall	<i>Statistisk begrep som beskriver hyppigheten til en hendelse. 200 års-gjentaksintervall vil f.eks. opptre i gjennomsnitt hvert 200 år, og ha en 0.5 % sannsynlighet for å opptre i løpet av et år. Også kalt returperiode.</i>
Havnivå	<i>Havets gjennomsnittsnivå målt over en lang periode, slik at variasjoner forårsaket av tidevannskrefter og vær ikke påvirker resultatet.</i>
Klimapåslag	<i>Forventet endring i middelvann på grunn av endringer i klimaet.</i>
Middelvann	<i>Gjennomsnitt av alle vannstandsmålinger i en 19-årsperiode.</i>
NN2000	<i>Normalnull 2000. Det nasjonale høydesystemet i Norge siden 2000. Alle kotehøyder i rapporten gjengis relativt til NN2000.</i>
Overskylling	<i>Vann som skyller over f.eks. en fyllingsfront på grunn av bølger.</i>
Signifikant bølgehøyde, Hs	<i>Gjennomsnittlig bølgehøyde for de 1/3 største bølgene over en gitt periode. Bølgehøyde måles fra bølgebunn til bølgetopp.</i>
Stille vann	<i>Høyden av vannflaten på et bestemt sted på et gitt tidspunkt. For havet påvirkes stormfloen av tidevann og værets virkning (vind, lufttrykk, mm).</i>
Stormflo	<i>Vannstand høyere enn normal flo i sjø som følge av kraftig lavtrykk og sterk vind.</i>
Topperiode, Tp	<i>Bølgeperiode der energien i bølgespekteret er størst.</i>

2 Bakgrunn

I forbindelse med detaljregulering av Ramsund (Figur 1 og Figur 2) planlegger Forsvarsbygg utvidelse av kaia. I den forbindelse gjøres en vurdering av bølger og overskylling. For prosjekteringen kreves vurderinger av bølgemiljøet for å sikre hensiktsmessig dimensjonering av fyllinger iht. krav i TEK 17.

Denne rapporten dokumenterer undersøkelser av stormflo, vindbølger, havdønning og kombinert bølgetilstand. Tilstand for 20 og 200 års gjentakintervall med klimapåslag er undersøkt.

Vannstand med 20 og 200 års gjentakintervall og klimapåslag benyttet, slik at disse tilsvarer henholdsvis TEK17 sikkerhetsklasse F1 og F2. For kaianlegg og bygninger som ikke er ment for varig opphold, legges sikkerhetsklasse F1 til grunn.



Figur 1: Oversiktskart over området rundt Ramsund i Tjeldsund kommune, markert med en rød firkant (Figur 2). Datapunktet for bølgetilstand fra modellen NORA10EI som benyttes som grensebetingelse for havdønning er markert med en rød prikk (nr. 21).



Figur 2: Kart over Ramsund, med beregningspunktet markert med en grønn prikk.

3 Krav til sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger

Byggteknisk forskrift, TEK17, krever at byggverk generelt skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger. I forskriften defineres tre sikkerhetsklasser for byggverk som kan rammes av flom eller stormflo (Tabell 2).

Sikkerhetsklassen fastsettes ut fra konsekvensen av skade ved stormflo fra et samfunnsmessig perspektiv. Lagerbygninger med lite personopphold vil typisk tilhøre laveste sikkerhetsklasse da konsekvensen av skade ved stormflo anses som liten. Et sykehus vil tilhøre høyeste sikkerhetsklasse da konsekvensen av skade ved stormflo anses som stor. Sikkerhetsklassen bestemmer hvilket gjentakintervall som skal benyttes ved vurdering av skade eller ulempe. Sikkerhet oppnås ved å sikre tiltaket mot stormflo og overskylling eller ved å konstruere byggverket slik at det tåler belastningene (DIBK, 2016).

For prosjektering av Ramsund kai er det relevant å se på både sikkerhetsklasse F1 og F2 som definert i TEK17, som tilsvarer beregninger av vind- og bølgetilstand med 20 og 200 års gjentakintervall og vannstand med 20 og 200 års gjentakintervall. For sikkerhetsklasse F2 skal vannstand tillegges et klimapåslag på grunn av forventet havnivåstigning. Sikkerhetsklasse F1 gjelder for lager/verkstedsbygg på kaien, mens sikkerhetsklasse F2 er relevant for teknisk bygg eller bygg ment for varig opphold.

Tabell 2: Sikkerhetsklasser i TEK17 og eksempler på byggverk som faller inn under sikkerhetsklassene (DIBK, 2016).

Sikkerhets- klasse	Konsekvens av stormflo	Eksempel på byggverk	Gjentaksintervall naturpåkjenning
<i>F1</i>	<i>Liten</i>	<i>Bygninger med lite personopphold, f.eks. garasje og lagerbygning.</i>	<i>20 år</i>
<i>F2</i>	<i>Middels</i>	<i>Omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, f.eks. bolig, fritidsbolig, campinghytte, kontorbygning eller industribygg.</i>	<i>200 år</i>
<i>F3</i>	<i>Stor</i>	<i>Omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der stormflo kan gi stor forurensning, f.eks. sykehjem, bygg med beredskapsmessig betydning, anlegg for avfallsdeponier.</i>	<i>1000 år</i>

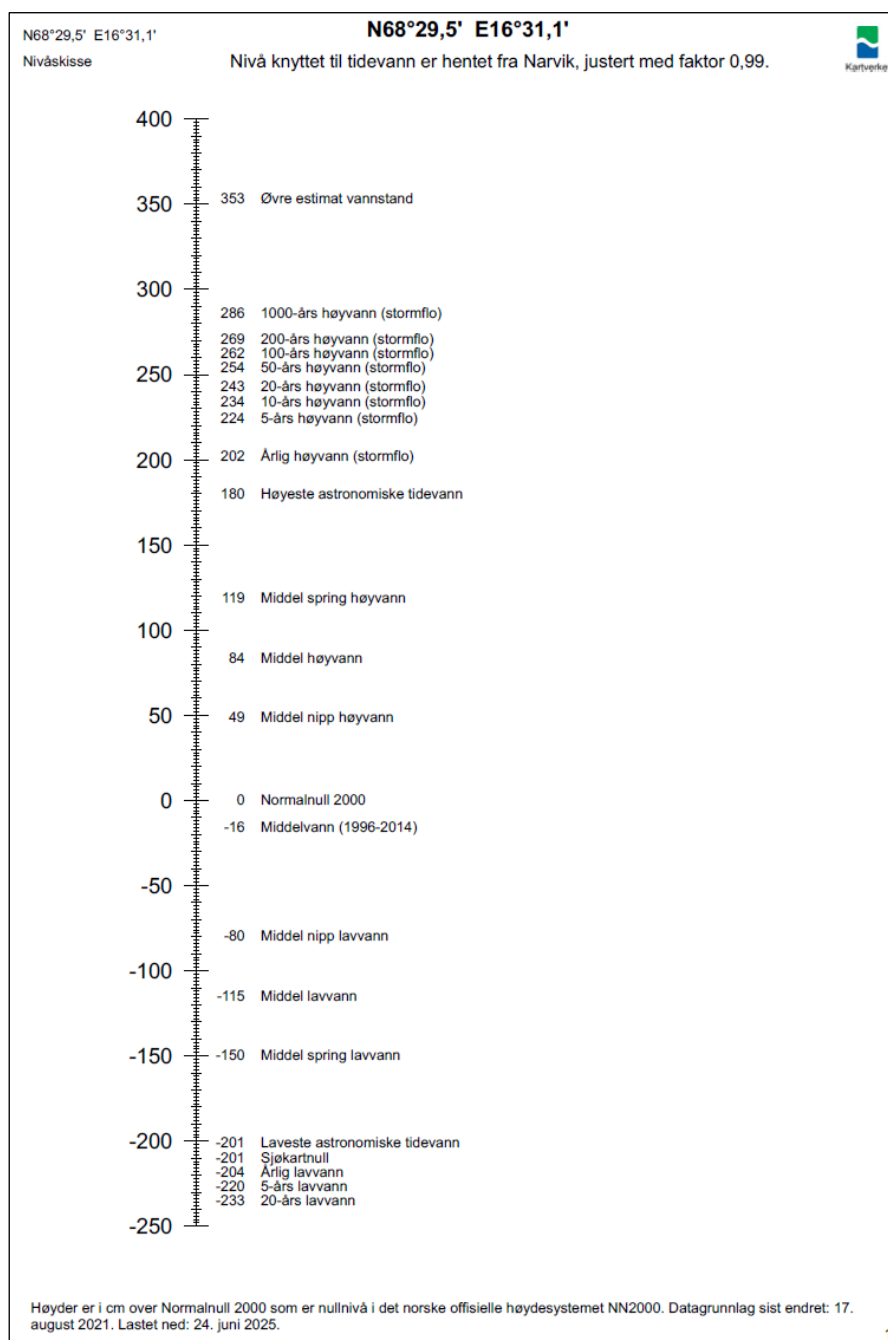
4 Metode

4.1 Vannstand

Verdier for anbefalt vannstands nivå (rel. NN2000) for planlegging av tiltak nær sjø, er hentet fra Kartverkets nettside om vannstands nivå (Kartverket, 2025), vist i Figur 3. Oppgitte tall for Ramsund er utledet fra vannstandsmåler i Narvik og justert til å gjelde lokale forhold ved Ramsund.

Ekstrem vannstand og samtidig bølgetilstand legges til grunn for vurdering av sikkerhet mot stormflo og bølgepåkjenning.

Som klimapåslag for fremtidig havnivå benyttes framskrivingens øvre del (95-prosentilen) for RCP8.5 (høyt utslippsnivå), og for perioden 2081-2100 relativt til 1986-2005.



Figur 3: Vannstands nivåer for Ramsund, referert til NN2000 (Kartverket, 2025).

4.2 Bølgesimulering

Ekstrem bølgetilstand med 20 og 200 års gjentakintervall er simulert med bølgemodellen SWAN (User Manual SWAN Cycle III version 41.10, 2016). Modellen er utviklet av Delft Technical University for å simulere utvikling og forplantning av bølger i kystområder. For mer detaljert modellinformasjon se Appendiks A.

Bølgesimuleringer er utført i fire steg (Figur 4) med økende modellopløsning for hvert steg:

- Steg 1: 321 m
- Steg 2: 111 m
- Steg 3: 29 m
- Steg 4: 8 m

Bunndata brukt i bølgemodellen er hentet fra Kartverket (2019). Bunntopografi for steg 4 er vist i Figur 5.

Vindbølger er simulert med vind fra åtte retninger basert på fastsettelse av ekstremvind iht. NS-EN 1991-1-4 (2009). Stedvind er estimert ut fra en referansevind for Tjeldsund kommune på 27 m/s, se Tabell 3. Terrengruhetsfaktor er satt til kategori 1, kystnært (1.17) for alle vindretninger. Det er benyttet retningsfaktorer for «Lofoten, Vesterålen».

Bølgehøyder utenfor kysten er utledet fra statistisk ekstremver dianalyse av hindcast bølgedata modellen NORA10EI fra Meteorologisk institutt. Modellen har en oppløsning på omtrent 10 km og dekker tidsperioden 1979–2017 med 1 times oppløsning. Dønning fra reanalysepunkt 21 ble benyttet på randen fra vest (270°) og sørvest (240°), se Tabell 4 og Figur 6.

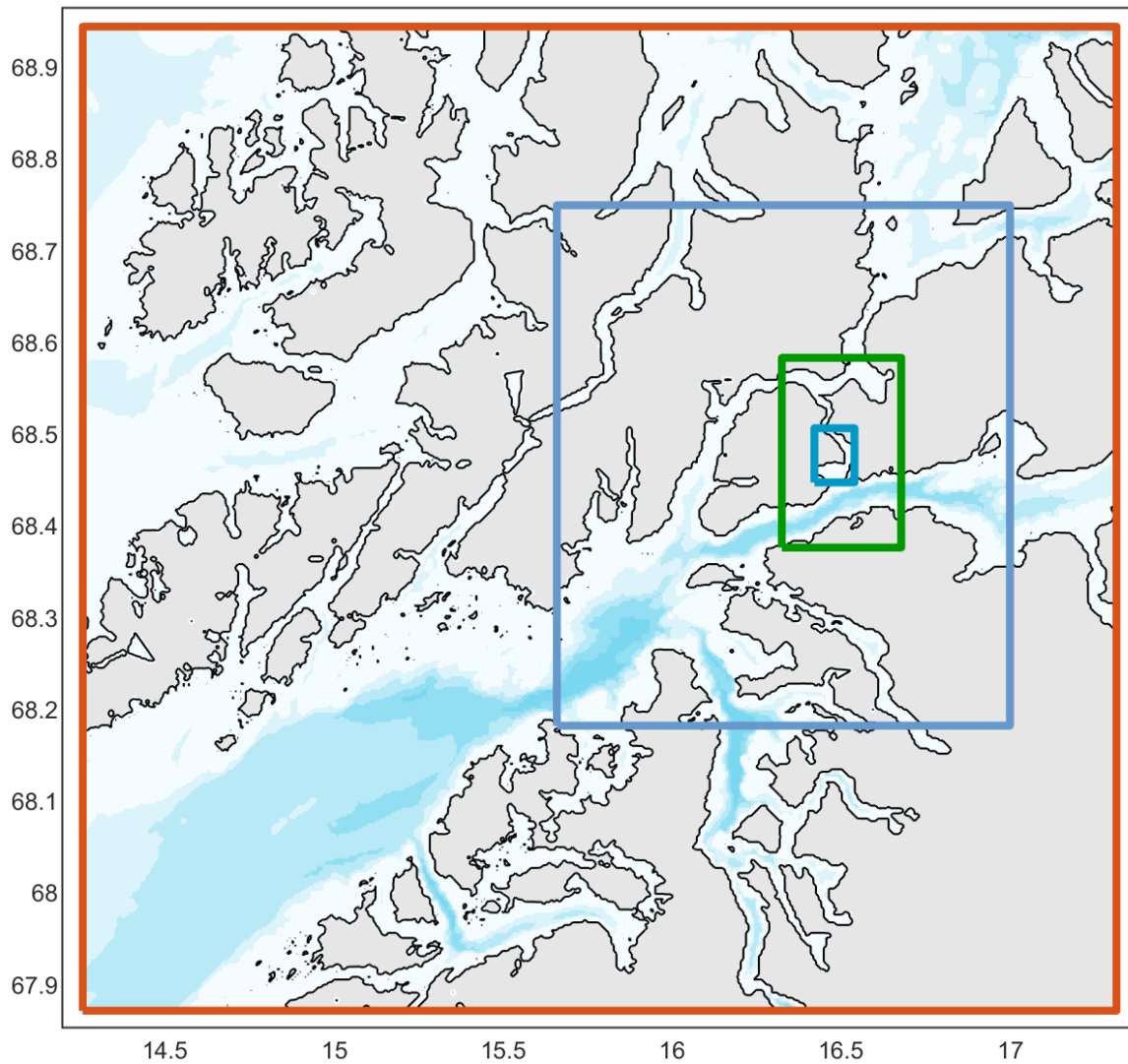
Vannstand med 20 og 200 års gjentakintervall med klimapåslag (Figur 3) er benyttet i bølgemodellen. Dimensjonerende bølgehøyde for sikkerhetsklasse F1 er altså gitt ved kombinasjonen av vindbølger med 20 års gjentakintervall, havdønning med 20 års gjentakintervall samt 20 års vannstand. For sikkerhetsklasse F2 er 200 års gjentakintervall benyttet.

Tabell 3: Input vindhastighet (stedvind, V_m) brukt for bølgeberegningen, introdusert i modellsteg 2.

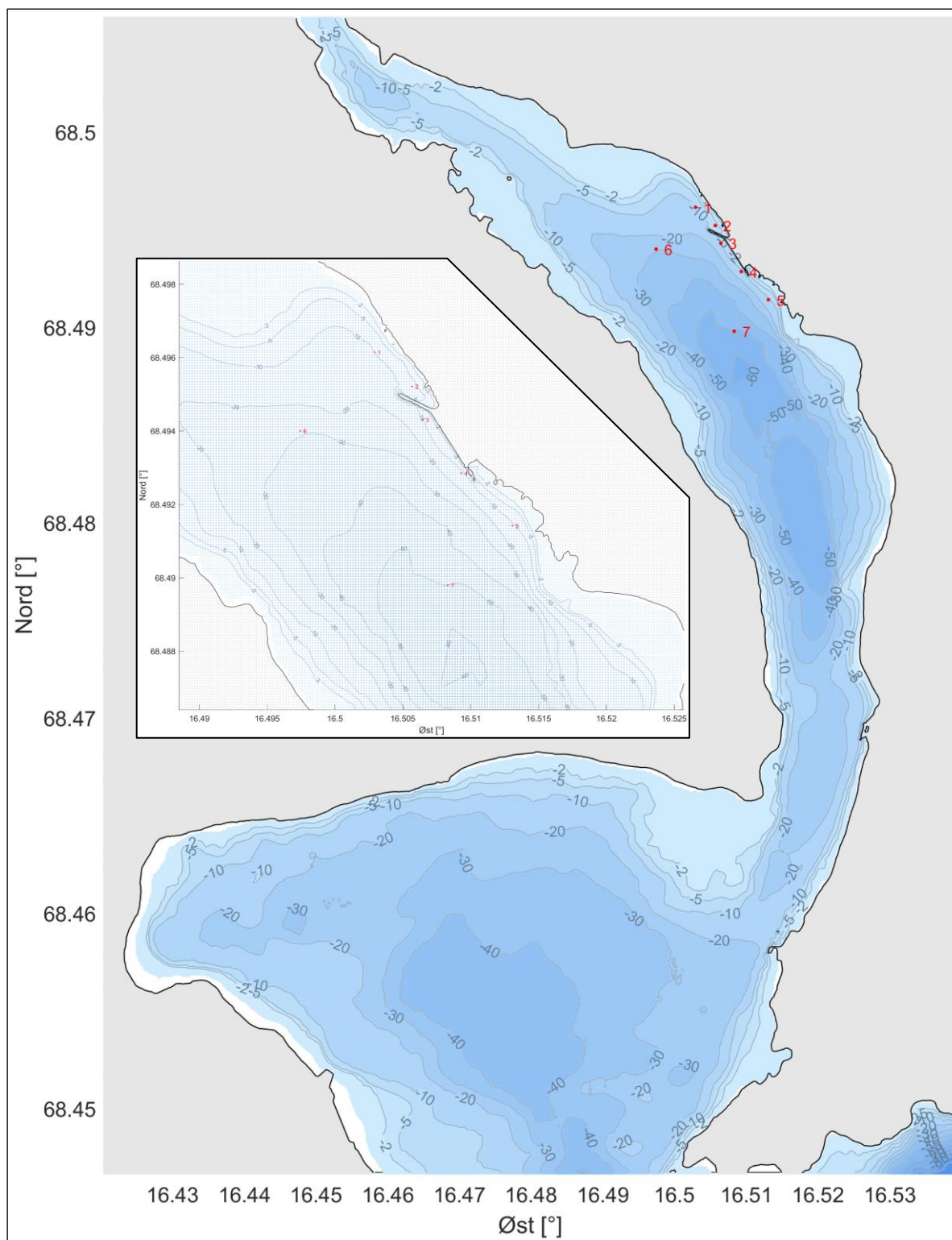
Vindretning fra	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
V_m 20 år [m/s]	27	27	24	24	27	30	30	27
V_m 200 år [m/s]	30	30	26	26	30	33	33	30

Tabell 4: Grensebetingelser av signifikant bølgehøyde (H_s) og topperiode (T_p) for returperiode (RP) 20 og 200 år for havdønning fra NORA10EI reanalyse. Verdiene er hentet fra punkt 21 i Figur 1.

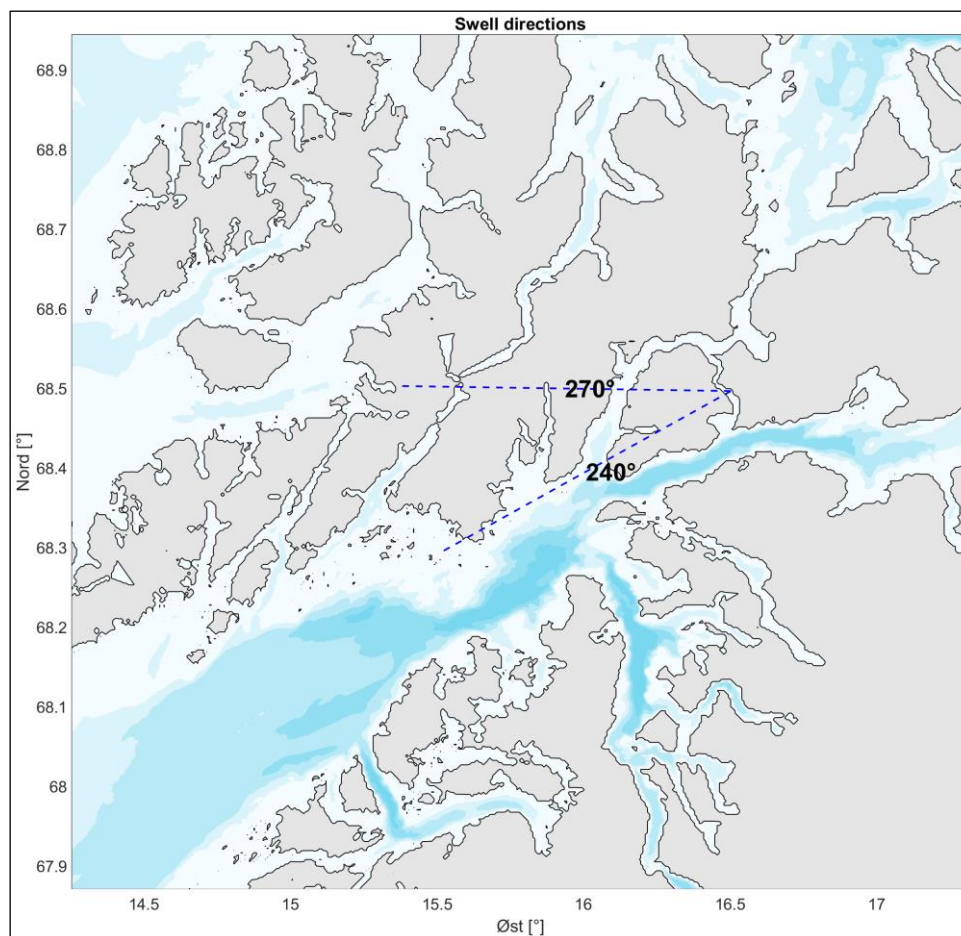
RP	Dønning fra	240	270
20	H_s [m]	12.7	7.1
	T_p [s]	16.5	14.4
200	H_s [m]	16.2	9.2
	T_p [s]	18.1	17.3
	Satt på rand	Sør + Vest	



Figur 4: Domener for bølgesimulering i SWAN, de fire rammene representerer stegene i modellkjøringen. Steg 1: Rød ramme, steg 2: Blå ramme, steg 3: Grønn ramme, steg 4: turkis ramme. Aksene følger geografisk koordinatsystem.



Figur 5: Bunntopografi for modellsteg 4. Dybdekoter er gitt i meter. Resultatpunkter 1-7 er markert med røde prikker. Innsmsett viser en forstørrelse av kaiområdet.



Figur 6: To retninger for offshore bølgetilstand for undersøkelse av lokal havdønning.

4.3 Overskylling

4.3.1 Akseptabel overskylling

Akseptabel overskylling er avhengig av formålet til tiltaket, samt bruk, dimensjonering, utforming og plassering av bygninger og infrastruktur bak sjøfront. Skadepotensialet fra overskylling er avhengig av både gjennomsnittlig overskyllingsrate og bølgehøyde (EurOtop, 2018). Bølgehøyden påvirker maksimal overskylling en enkelt bølge kan føre til. Store bølger har større skadepotensiale.

Anbefalinger for maksimal overskylling er gitt i Molohåndboka (Kystverket, 2018), gjengitt i Tabell 5. EurOtop (van der Meer, et al., 2018) gir noen anbefalinger for grenser av akseptabel overskylling avhengig av bruksområde.

Dersom bygninger skal stå nært fyllingsfronten, er typiske grenseverdier 1 l/s per løpemeter gjennomsnittlig overskylling mot fasade og 1000 l per løpemeter maksimalt overskyllingsvolum fra en enkeltbølge. Der overskyllingen overstiger disse verdiene kan bygningene enten dimensjoneres for å tåle større overskylling, eller trekkes tilbake fra fyllingsfronten/kaien.

For allment publikum er anbefalingen at gjennomsnittlig overskylling ikke overstiger 1 l/s/m. Grenseverdi for persontrafikk er 600 l/m maksimalt overskyllingsvolum i en enkelt overskylling.

For forberedte havnearbeidere med beskyttelsesutstyr anbefales det at gjennomsnittlig overskylling holdes under 10 l/s/m.

Manualen for EurOtop kommer også med anbefalinger for grenseverdier. De oppgir spesifikt for bølgehøyde $H_s \approx 1 \text{ m}$ at $10\text{-}20 \text{ l/m/s}$ er akseptabel overskyllingsrate for mennesker på fyllingsfronten/kaien.

For å sette tallene i perspektiv viser Figur 7 en hendelse under stormen Sally i Bodø i 2020 med estimert gjennomsnittlig overskylling på ca. 5 l/s/m .

For å gjøre beregninger på dette benyttes et formelverk som er utviklet for menneskeskapte fyllinger og demninger. Ligningene og konstantene som benyttes er utledet fra praktiske eksperimenter med overskylling (EurOtop, 2018).

Mengden overskylling som til slutt kan aksepteres avhenger av:

- Avstand fra overskyllingspunkt til konstruksjoner
- Dreneringsegenskaper av arealet mellom konstruksjonene og sjølinjen
- Bygningens sårbarhet for overskylling
- Planlagt bruk av arealet mellom bygninger og fyllingskant.



Figur 7: Eksempel på overskylling i Bodø under stormen Sally i 2020 (bølgetilstand $H_s=1.4 \text{ m}$ / $T_p = 4.5 \text{ s}$). Molo ligger på kote $+3 \text{ m}$ (NN2000). Vannstand var 1.9 m . Gjennomsnittlig overskylling er estimert til 5 l/m/s basert på EurOtop (2018).

Tabell 5: Akseptkriterier for overskylling på moloer og fyllinger i sjø, angitt i l/s/m. Fra Molohåndboka (Kystverket, 2018).

Brukergruppe	Brukere	Akseptabel overskylling, l/s/m			Eksempler
		Min	Middel	Maks	
Fotgjengere/ publikum	Alminnelig publikum		0.03		Generelt publikum uten krav til utstyr, eks. bygater, fortau, etc.
	Oppmerksomt publikum		0.1		
	Yrkesutøvere med trening og utstyr	1		10	Fiskere, havnearbeidere, turgåere og syklist
Kjøretøy	Lav hastighet	10		50	Maksgrense gjelder for tyngre kjøretøy, traktor, hjullaster, etc.
	Moderat til høy hastighet	0.01		0.05	Vanlig veg uten krav til nedsatt hastighet
Bygninger og konstruksjoner	Skade på utstyr innenfor 5–10 m		0.4		Bygninger og utstyr som ikke er forberedt på vann og flom
	Skade på bygningsdeler		1		
	Mindre fartøyer senkes		10		Gjelder båter som er fortøyd på innsiden av en molo
	Større skader, middels båter senkes		50		
Moloer og forbygninger	Ingen skade på ubeskyttet område		0.1		
	Ingen skade på gress og løsmasser	1		10	
	Grense for skade på steinsatt område	50		200	
Promenader og trafikkområder	Skade på betongdekke		200		
	Skade på asfalt og tredekker		50		

4.3.2 Overskylling ved Ramsund

Ved 20- og 200 års stormflo inkludert klimapåslag står vannstanden over kaien (høyde 3.0 m, rel. NN2000). Da dette gjelder en eksisterende kai, kan man se på mulighetene for avbøtende tiltak ved å beregne overskyllingen med tenkt økning av høyden på kaien.

Gjennomsnittlig og maksimal overskylling er beregnet basert på metodikk i EurOtop (van der Meer, et al., 2018). I dette tilfellet er ligninger for en vertikal vegg brukt for å representere kaien. Dette gir et noe konservativt resultat da kaien med hulrom og fending virker dempende på bølger og overskylling, men det foreligger lite eksperimentelle data fra denne typen konstruksjoner.

Overskylling er beregnet med tenkt høyde på kaien slik at den ikke er oversvømt, og overskyllingsrater er gyldige ved denne kaifronten.

Det er tatt utgangspunkt i bølgetilstand ved punkt 4 som ligger nærmest eksisterende bygg. Angrepsvinkelen på største bølge er 60°. Avstanden fra kaifront til lagerbygg er ca. 15 m. I høyde med kaien står verksted/lagerbygg som faller under sikkerhetsklasse F1 (RP20). Et teknisk bygg står på kaien, hevet 1 m opp til kote 4.0 m. For dette bygget er sikkerhetsklasse F2 (RP200) mest aktuell.

5 Resultater

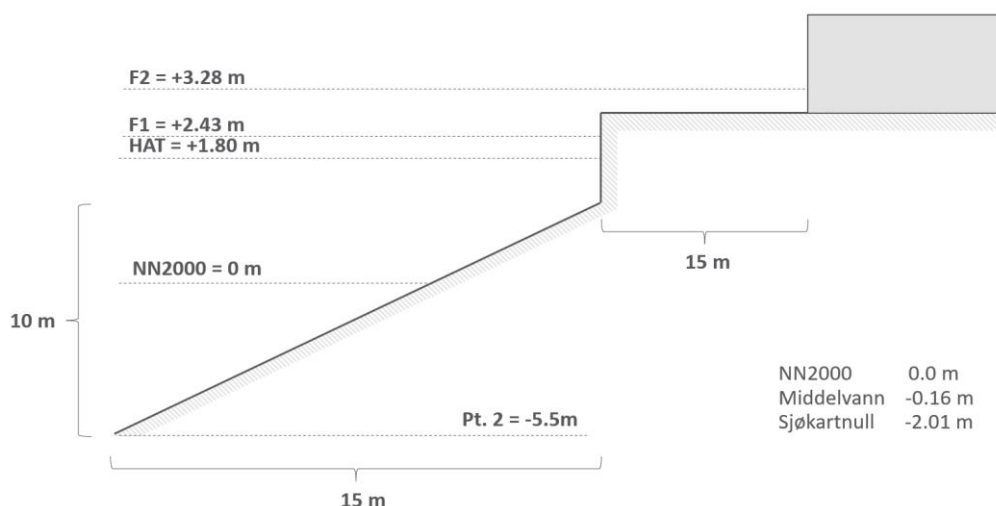
5.1 Stormflo

For perioden 2081-2100 forventes havnivåstigning opp til 64 cm for Tjeldsund (Simpson, et al., 2024). Forventet stormflo i dag og klimapåslag er oppsummert i Tabell 6. Figur 8 viser en prinsippskisse for hvordan disse tallene forholder seg til den kaien i Ramsund.

Ved vannstand tilsvarende sikkerhetsklasser F2 vil kaien på kote 3.00 m ligge under vann.

Tabell 6: Ekstrem stormflo Ramsund (rel. NN2000). Sikkerhetsklasse F2 tilsvarende 200 års gjentakintervall pluss klimapåslag.

Beskrivelse	Stormflonivå
Sikkerhetsklasse F2 (TEK17)	3.28 m
Klimapåslag	0.59 m
200 års gjentakintervall	2.69 m
Sikkerhetsklasse F1 (TEK17) 20 års gjentakintervall	2.43 m

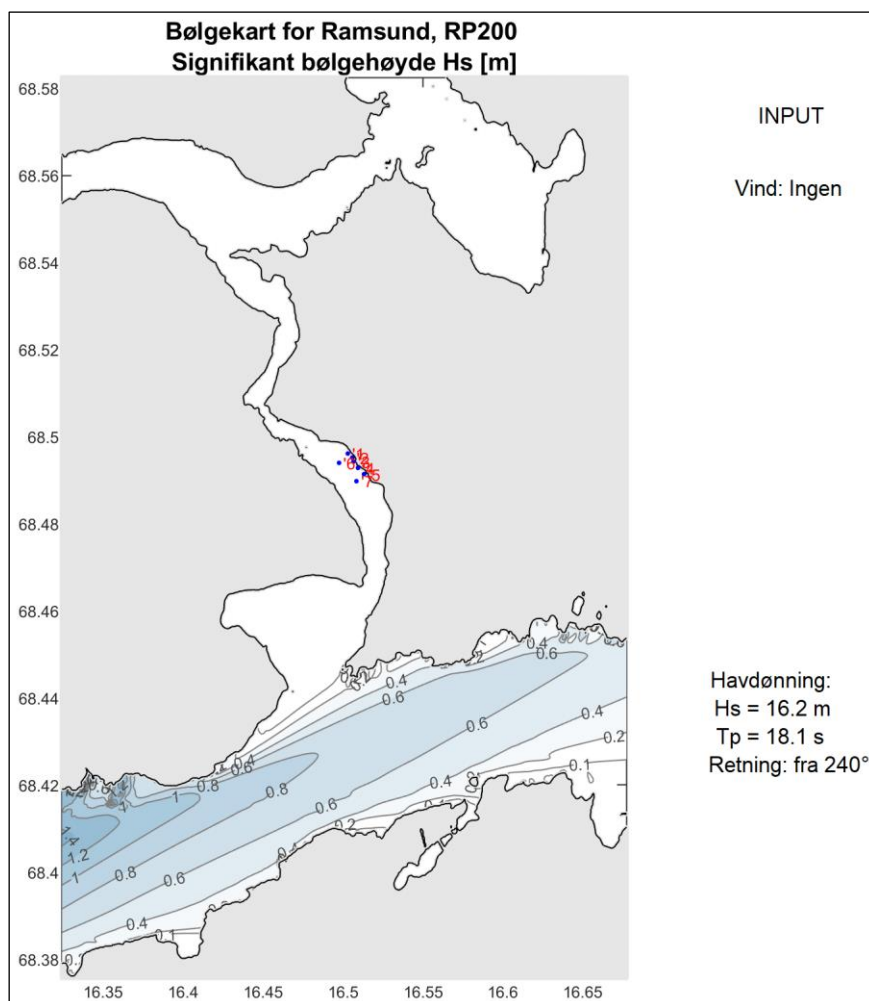


Figur 8: Prinsippskisse av fyllingen, med inntegnet stillevannsnivå (SWL) for sikkerhetsklasser F1 og F2, samt høyeste astronomiske tidevann (HAT) sett i forhold til kaifront på kote 3 m. Alle høyder er referert til NN2000.

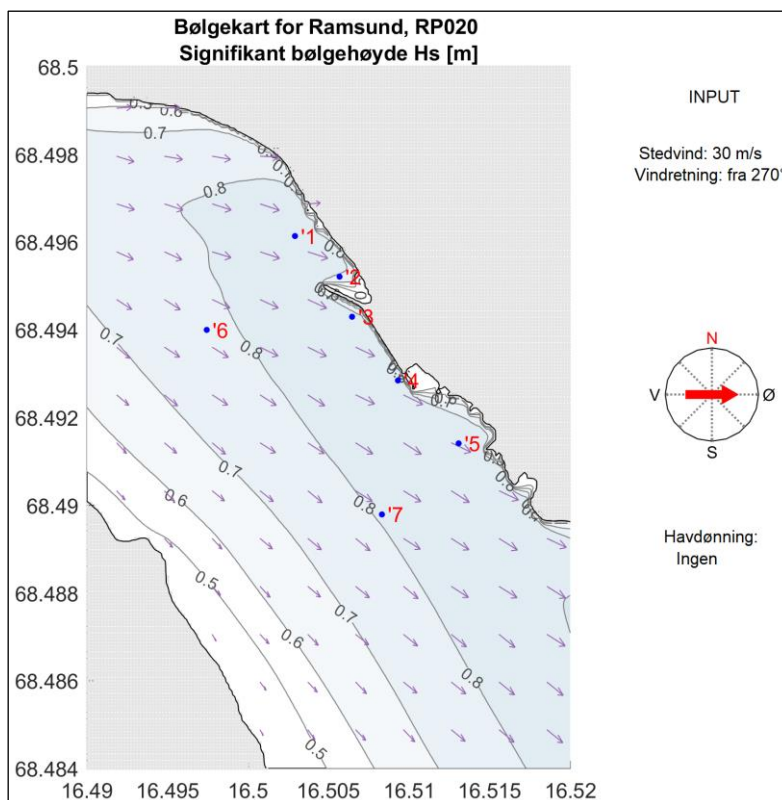
5.2 Bølgetilstand

For bølgetilstand innebærer sikkerhetsklasser F1 og F2 kombinasjonen av vindbølger, havdønning og vannstand beregnet med returperioder på 20 og 200 år med klimapåslag.

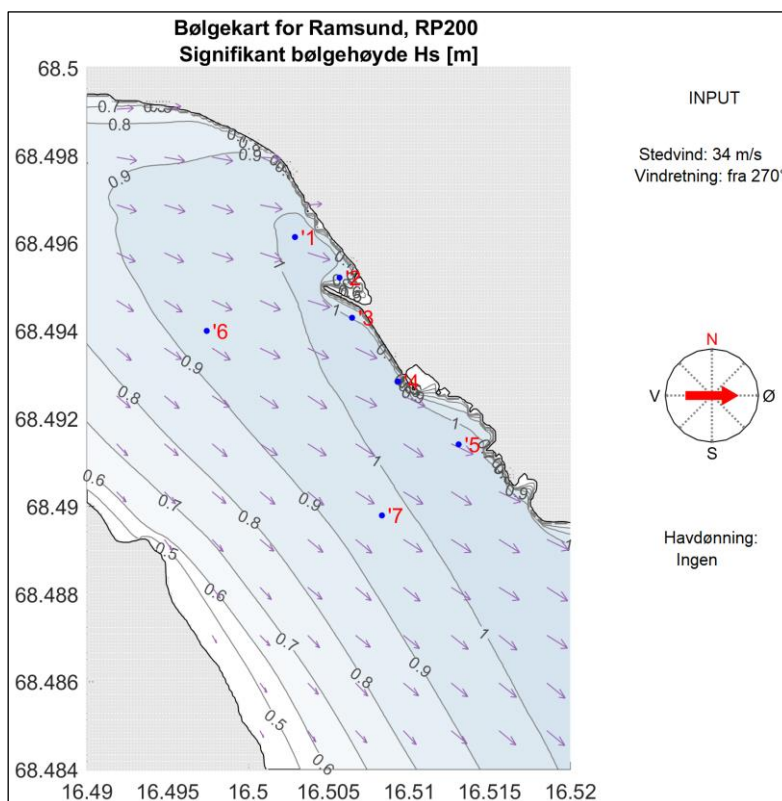
De største vindbølgene opptrer ved vind fra vest (270°) og sørvest (225°). Havdønning når ikke inn til Ramsund, se Figur 9. Bølgekart for simuleringen som gir størst bølgehøyde er gitt i Figur 10 (RP20) og Figur 11 (RP200). Resultater for modellkjøringen som gir størst signifikant bølgehøyde er gitt i Tabell 7 og Tabell 8.



Figur 9: Kart med bølgehøyde for havdønning fra sørvest (240°). Figuren viser resultatet for 200 års returperiode i modellgrid 3. Punktene for bølgeberegninger er angitt med blå prikker og røde tall.



Figur 10: Kart med bølgehøyde og -retning for vindbølger fra vest (270°). Figuren viser resultatet for 20 års returperiode i modellgrid 4 (utsnitt). Punktene for bølgeberegninger er angitt med blå prikker og røde tall.



Figur 11: Kart med bølgehøyde og -retning for vindbølger fra vest (270°). Figuren viser resultatet for 200 års returperiode i modellgrid 4 (utsnitt). Punktene for bølgeberegninger er angitt med blå prikker og røde tall.

Tabell 7: Bølgetilstand med 20 års gjentakintervall for beregningspunktene. Havdønning når ikke inn til Ramsund.

Punkt nr.	Vind fra [°]	Signifikant bølgehøyde Hs [m]	Topperiode Tp [s]	Bølgeretning fra [°]
1	270	0.8	3.0	288
2		0.8	3.0	288
3	225	0.8	2.6	173
4	270	0.9	3.0	295
5		0.9	3.0	295
6		0.8	2.8	302
7		0.8	2.8	302

Tabell 8: Bølgetilstand med 200 års gjentakintervall for beregningspunktene. Havdønning når ikke inn til Ramsund.

Punkt nr.	Vind fra [°]	Signifikant bølgehøyde Hs [m]	Topperiode Tp [s]	Bølgeretning fra [°]
1	270	1.0	3.2	288
2		0.9	3.3	288
3	225	1.0	2.8	173
4	270	1.0	3.2	295
5		1.0	3.3	295
6		0.9	3.0	302
7		1.0	3.0	302

5.3 Overskylling

Ved 20 års stormflo i dagens vannstand er kaien ikke oversvømt. Ved 200 års stormflo inkludert klimapåslag står vannstanden over kaien (høyde 3.0 m, rel. NN2000). Da kaien allerede er bygd, kan man se på mulighetene for avbøtende tiltak ved å beregne overskyllingen med tenkt økning av høyden på kaien.

5.3.1 Lagerbygg – Sikkerhetsklasse F1

Resultater for overskylling er gitt for sikkerhetsklasse F1 (RP20) i

Tabell 9. Overskylling er oppgitt for punkt 4, der bølgehøyden er størst.

For å oppnå en overskyllingsrate som er mindre enn 1 l/m/s må byggehøyde være over 3.5 m. Da bølgehøyden er under 1 m kan overskyllingsrater på 10-20 l/m/s aksepteres for mennesker som ferdes på kaiaen, noe som overskrides ved kaihøyde lavere enn 3.2 m.

Maksimal overskyllingsvolum er under 1000 l/m ved byggehøyde over 3.0 m. Merk at grenseverdien for overskyllingsrate gjelder dersom bygningene står rett bak kaikant og ikke er dimensjonert for overskylling.

Tabell 9: Sikkerhetsklasse F1 - Overskyllingsrate og maksimal overskylling fra en enkeltbølge for gitte byggehøyder, beregnet i punkt 4.

Høyde [m, rel. NN2000]	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
Overskyllingsrate, q , [l/m/s]	21.7	13.1	7.7	4.4	2.5	1.4	0.7
Maksimal overskylling q_{max} , [l/m]	980	730	550	420	320	250	200

5.3.2 Teknisk bygg – Sikkerhetsklasse F2

Resultater for overskylling er gitt for sikkerhetsklasse F2 (RP200) i Tabell 10. Overskylling er oppgitt for punkt 4, der bølgehøyden er størst.

For å holde overskyllingsrate under 1 l/m/s må byggehøyde være på minst 4.5 m. Maksimal overskyllingsvolum er under 1000 l/m ved byggehøyde over 4.0 m. Merk at grenseverdien for overskyllingsrate gjelder dersom bygningene står rett bak kaikant og ikke er dimensjonert for overskylling.

Tabell 10: Sikkerhetsklasse F2 - Overskyllingsrate og maksimal overskylling fra en enkeltbølge for gitte byggehøyder, beregnet i punkt 4.

Høyde [m, rel. NN2000]	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5
Overskyllingsrate, q , [l/m/s]	169.1	102.3	49.1	20.8	8.0	2.9	1.0
Maksimal overskylling q_{max} , [l/m]	5000	3300	1900	1100	640	400	250

6 anbefalinger for prosjektering

Ramsund ligger relativt skjermet til for bølger, og dønning når ikke inn i sundet. Med dagens høyde på kaien (3.0 m) må det med fremtidig havnivåstigning forventes at denne oversvømmes ved 200 års stormflo med klimapåslag. Overskyllingen ved kaifronten overstiger anbefalte grenseverdier (1 l/m/s) ved høyde på kai/fylling under kote 3.6 m.

Grenseverdiene for overskylling gjelder dersom bygningene står rett bak kaifronten og ikke er dimensjonert for overskylling. Ved Ramsund kai er byggene plassert med ca. 15 m avstand fra kaifronten på kote 3.0 m og kote 4.0. Dersom man ønsker lavest mulig høyde, vil det være viktig at området foran bygningene utformes med drenering for å redusere vannmengdene som når byggene. Mengden overskylling som til slutt kan aksepteres avhenger av:

- Avstand fra overskyllingspunkt til konstruksjoner
- Dreneringsegenskaper av arealet mellom konstruksjonene og sjølinjen
- Bygningens sårbarhet for overskylling
- Planlagt bruk av arealet mellom bygninger og fyllingskant.

For å imøtekomme krav om sikkerhet mot stormflo og flom fra overskylling i henhold til TEK17 anbefales det at:

Kaien bør legges til minst kote 2.5 m for å unngå oversvømmelse ved 20 års stormflo. Fremtidig havnivåstigning vil utgjøre ytterligere 0.6 m høyde frem mot år 2100.

Bygg på kaien bør plasseres i høyde over 3.6 m for å holde overskyllingsrater og maksimal overskylling på et akseptabelt nivå og dermed tilfredsstillende sikkerhetsklasse F1 (20 år returperiode). Eksisterende bygninger ligger tilstrekkelig langt fra kaifronten til at overskyllende bølger ikke når frem.

Tekniske bygg som faller under sikkerhetsklasse F2 bør plasseres over høyde 4.5 m.

I den grad kai og bygg ikke kan sikres, bør midlertidige flombarrierer være tilgjengelig for flom og overskylling tilsvarende F1 sikkerhetsklasse, og for sikkerhetsklasse F2 der det er relevant. Under en slik hendelse bør kaien være stengt for persontrafikk.

7 Referanser

Kartverket. (2025, 6 24). Hentet fra Se Havnivå: <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/>

Kystverket. (2018). *Molohåndboka*. Kystverket.

Leenknecht, D. A., Szuwalski, A., & Sherlock, A. (1992). *Automated Coastal Engineering System – Technical Reference, Chapter I. Windspeed Adjustment and Wave Growth*. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.

NORSOK N-003. (2018). *NORSOK N-003:2017+AC:2018*. Standard Online AS.

NS-EN 1991-1-4. (2009). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster, Vindlaster*. Standard Norge.

Simpson, M., Bonaduce, A., Borck, H., Breili, K., Breivik, Ø., Ravndal, O., & Richter, K. (2024). *Sea-Level Rise and Extremes in Norway: Observations and Projections Based on IPCC AR6*. Oslo, Norway: Norwegian Centre for Climate Services (NCCS).

Smith, J., Resio, D., & Zundel, A. (1999). *STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model, Report 1, User's Manual for STWAVE Version 2.0*. Instruction Report CHL-99-1, US Army Corps of Engineers.

SWAN. (2016). *User Manual SWAN Cycle III version 41.10*. Delft University of Technology.

van der Meer, J., Allsop, N., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., . . . Zanuttigh, B. (2018). *EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*. (Second ed.). Retrieved from www.overtopping-manual.com

Appendiks A Bakgrunnsinformasjon om modellen

Modellen SWAN (SWAN, 2016) er benyttet for å simulere bølgetilstand ved lokaliteten. Modellen tar hensyn til mange bølgeprosesser, så som:

- Avbøyning pga dybdeendringer (refraksjon)
- Avbøyning pga landformasjoner (diffraksjon)
- Grunningseffekter og brytning
- Bølge-bølge-interaksjon

Modellen er en spektralmodell som simulerer generering og forplantning av en bølgetilstand som består av flere bølgeperioder.

På grunn av at SWAN kjøres i stasjonær modus modifiseres vindhastigheten til en såkalt "strøkvind", dvs. den midlere vindhastigheten i tidsperioden fram til bølgefeltet blir stasjonært. Denne tidsperioden finnes ved å beregne den korteste tiden det tar for bølgefeltet til å bli strøkbegrenset (Leenknecht, Szuwalski, & Sherlock, 1992). Strøkvinden beregnes som middelvind over denne perioden i henhold til NORSOK N-003. For retninger med korte strøk, vil strøkvinden være midlet over kortere tid (f.eks. 10 minutt) enn for retninger med lange strøk (f.eks. 3 timer).

Strøkvinden er beregnet med utgangspunkt i 10 minutters middelvind i 10 m høyde og strøkgeometrien.

For å ikke overestimere vindbølgene for lange åpne strøk er vind først introdusert i modellsteg 2. Modellgridet i modellsteg 2 er valgt så avstanden på det lengste åpne strøket tilsvarer ca. 30 km. En strøklengde på 30 km tilsvarer en varighet på ca. 3 timer for 30 m/s vind.

Forplantning av dønning er simulert ved å sette en bølgetilstand beskrevet med JONSWAP spekter på grensen av det største beregningsgridet med spredningsparameter og spisshetsparameter (Smith, Resio, & Zundel, 1999).