

NOTAT

OPPDRAG	Måsholmen Florø, undersøkelser på sjø	DOKUMENTKODE	10250568-03-RIMT-NOT-001
EMNE	Bølgeanalyse og overskylling	TILGJENGELIGHET	Åpen
TILTAKSHAVER	Linda M. Midtbø (Måsholmen Utvikling AS)	OPPDRAGSLEDER	Algot Peterson
KONTAKTPERSON	Juanita Sekkingstad (iVest Consult AS)	SAKSBEHANDLER	Algot Peterson
KOPI		ANSVARLIG ENHET	Multiconsult Norge AS

Oppsummering

I forbindelse med detaljreguleringsplan rundt Måsholmen, gjennomføres det konsekvensutredninger og undersøkelser i sjø. Planområdet er lokalisert vest for eksisterende næringsområde i Gunhildsvågen og på Trolleskjeret. Det er planlagt å legge til rette for containerhavn ved utfylling av masser i sjø, samt utvide etablert industriområde i Gunhildsvågen (Figur 1 og Figur 2). I denne forbindelse er bølgemiljøet på stedet undersøkt med hensyn til dimensjonering av plastring, fyllingshøyder, behovet for brystvern samt høyden på dette.

Dette notatet dokumenterer følgende undersøkelser:

- Stormflo med 20 og 200 års gjentaksintervall med klimapåslag
- Dimensjonerende bølgetilstand ved Måsholmen, Trolleskjeret og Gunhildsvågen
- Beregning av nødvendig høyde på fyllingene ved Måsholmen for å holde overskyllingen under akseptable nivåer.

Den største bølgehøyden oppnås ved Måsholmen og Trolleskjeret ved kombinasjonen av vindbølger fra nordvest og havdønning fra nordvest. Ved Gunhildsvågen er det vindbølger fra vest og havdønning fra nordvest som gir største kombinert bølgehøyde. Resulterende bølgetilstand for sikkerhetsklasse F1 (20 års gjentaksintervall) er oppsummert i Tabell 1.

Ved Måsholmen anbefales det en fyllingshøyde på 3.3 m rel. NN2000 for å holde overskylling under grenseverdien på 10 l/s/m, alternativt kan fyllingshøyden være noe lavere ved bruk av brystvern opp til 3.3 m. Tilsvarende anbefaling for Trolleskjeret er en fyllingshøyde på 2.6 m.

Tabell 1: Dimensjonerende bølgetilstand, sikkerhetsklasse F1.

Punkt nr.	Signifikant bølgehøyde, Hs [m]	Topperiode, Tp [s]	Bølgeretning fra [°]
Måsholmen	2.2	5.5	310
Trolleskjeret	1.2	5.0	302
Gunhildsvågen	0.9	2.9	295

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
01	19.10.2023	Lagt F1 sikkerhetsklasse til grunn og Molohåndboka for overskylling	ALGP	SINF	ALGP
00	10.10.2023		ALGP	SINF	ALGP

Bølgeanalyse og overskylling

Innhold	
Oppsummering	1
1 Begreper og definisjoner	3
2 Bakgrunn	4
3 Krav til sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger	6
4 Metode	7
4.1 Vannstand	7
4.2 Vinddata	8
4.3 Bølgesimulering	8
4.4 Tidsserier av bølgehøyde for beregning av overskylling	11
4.5 Overskylling	12
4.5.1 Akseptabel overskylling	12
4.5.2 Overskylling ved Måsholmen	14
5 Resultater	15
5.1 Stormflo	15
5.2 Bølgetilstand	15
5.3 Overskylling	17
6 Anbefalinger for prosjektering	20
7 Referanser	21
APPENDIKS A Bakgrunnsinformasjon om modellen	22

1 Begreper og definisjoner

Gjentaksintervall	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.
Havnivå	Havets gjennomsnittsnivå målt over en lang periode, slik at variasjoner forårsaket av tidevannskrefter og vær ikke påvirker resultatet.
Klimapåslag	Forventet endring i middelvann på grunn av endringer i klimaet.
Maksimal bølgehøyde	Største forventede enkeltbølgehøyde i en bølgetilstand. Ca. 2 x signifikant bølgehøyde i en tre timers bølgetilstand.
Middelvann	Gjennomsnitt av alle vannstandsmålinger i en 19-årsperiode.
NN2000	Normalnull 2000. Det nasjonale høydesystemet i Norge siden 2000. Alle kotehøyder i rapporten gjengis relativt til NN2000.
Overskylling	Vann som skyller over f.eks. en fyllingsfront på grunn av bølger.
Signifikant bølgehøyde, Hs	Gjennomsnittlig bølgehøyde for de 1/3 største bølgene over en gitt periode. Bølgehøyde måles fra bølgebunn til bølgetopp.
Stille vann	Høyden av vannflaten på et bestemt sted på et gitt tidspunkt. For havet påvirkes stormfloen av tidevann og værets virkning (vind, lufttrykk, mm).
Stormflo	Vannstand høyere enn normal flo i sjø som følge av kraftig lavtrykk og sterk vind.
Topperiode, T_p	Bølgeperiode der energien i bølgespekteret er størst.

2 Bakgrunn

I forbindelse med detaljregulering for Måsholmen (Figur 1 og Figur 2) har Måsholmen Utvikling AS bedt om vurdering av bølger og overskylling. For prosjekteringen kreves vurderinger av bølgemiljøet for å sikre hensiktsmessig dimensjonering av fyllinger iht. krav i TEK 17.

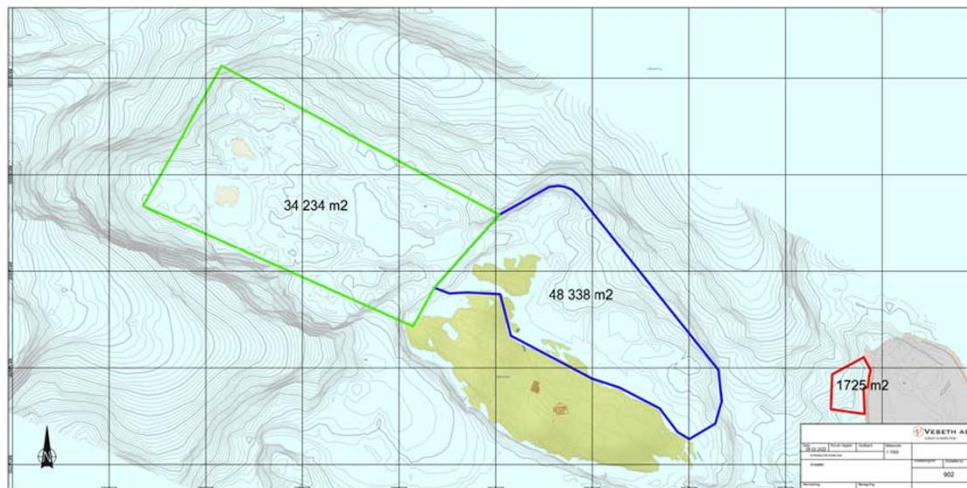
Dette notatet dokumenterer undersøkelser av stormflo, vindbølger, havdønning og kombinert bølgetilstand. Tilstand for 20 og 200 års gjentaksintervall med klimapåslag er undersøkt. Ved de planlagte fyllingene er overskylling beregnet ved den mest utsatte fyllingsfronten.

Vannstand med 20 og 200 års gjentaksintervall og klimapåslag benyttet, slik at disse tilsvarer henholdsvis TEK17 sikkerhetsklasse F1 og F2. Riktig sikkerhetsklasse avhenger av type tiltak, slik at både F1 og F2 kan være relevante her.



Figur 1: Oversiktskart over området rundt Måsholmen i Kinn kommune, som er markert med en rød firkant. Datapunktet for bølgetilstand fra modellen NORA10EI som benyttes som grensebetingelse for havdønning er markert med en rød prikk (nr. 11).

Bølgeanalyse og overskylling



Figur 2: Planlagte fyllinger ved Måsholmen.



Figur 3: Kartutsnitt over Måsholmen, med beregningspunkter plassert ved Måsholmen (1), Trolleskjeret (2) og Gunnhildsvågen (3) samt datapunktet for vindtidsserien fra Kjeller Vindteknikk (WRF).

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 gjentaksintervall 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 Måsholmen legges sikkerhetsklasse F1 til grunn som definert i TEK17, som tilsvarer beregninger av vind- og bølgetilstand med 20 års gjentaksintervall. Sikkerhetsklasse F2 kan likevel være gjeldene for deler av prosjekteringen, for eksempel hvis det skal oppføres bygg 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
F1	Liten	Bygninger med lite personopphold, f.eks. garasje og lagerbygning.	20 år
F2	Middels	Omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, f.eks. bolig, fritidsbolig, campinghytte, kontorbygning eller industribygg.	200 år
F3	Stor	Omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der stormflo kan gi stor forurensning, f.eks. sykehjem, bygg med beredskapsmessig betydning, anlegg for avfallsdeponier.	1000 år

4 Metode

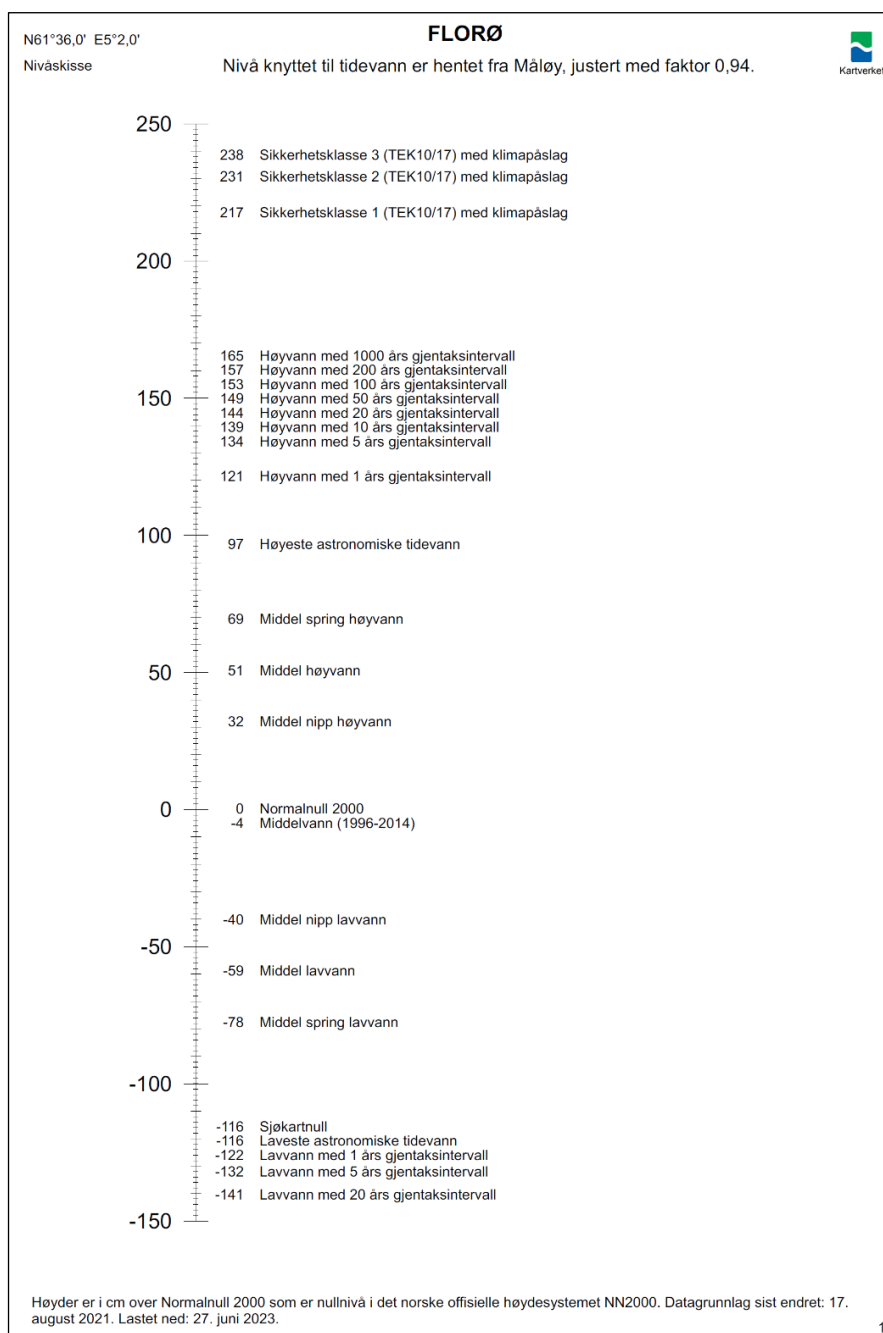
4.1 Vannstand

Verdier for anbefalt vannstands nivå (rel. NN2000) for planlegging av tiltak nær sjø, er hentet fra Kartverkets nettside om vannstands nivå (Kartverket, 2023), vist i Figur 4. Oppgitte tall for Florø er utledet fra vannstandsmål i Måløy og justert til å gjelde lokale forhold ved Florø.

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.

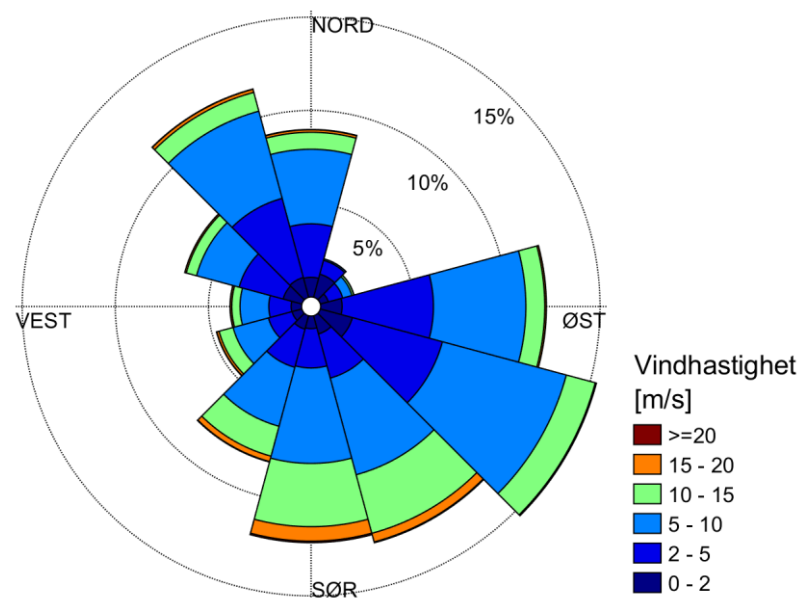
Fra samme stasjon er historiske vannstandsdata i perioden 1986 – 2023 innhentet.



Figur 4: Vannstands nivåer for Florø, referert til NN2000 (Kartverket, 2023).

4.2 Vinddata

Som grunnlag for en beregnet tidsserie av bølgetilstand ved Måsholmen er det benyttet en tidsserie av modellerte vinddata (WRF) fra Kjeller Vindteknikk, som dekker perioden 1979-2023. Modellen som er benyttet er Weather Research and Forecast model (WRF), en numerisk modell som assimilerer inn meteorologiske observasjoner. De modellerte dataene har 333 m oppløsning og er timesmidler fra 10 m høyde. Vinddataene er modellert i Årebrotstjorden 2 km nord for Måsholmen (Figur 3) og vurderes som representativ for vinden som genererer bølgene ved Måsholmen. Fordelingen av vindretning og styrke er vist i Figur 5.



Figur 5: Vindrose for modellert data fra Årebrotstjorden.

4.3 Bølgesimulering

Ekstrem bølgetilstand med 20 og 200 års gjentakintervall er simulert med bølgemodellen SWAN (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 tre steg (Figur 6) med økende modellopløsning for hvert steg:

- Steg 1: 102 m
- Steg 2: 23 m
- Steg 3: 4 m

Bunndata brukt i bølgemodellen er hentet fra Kartverket (2019). Bunntopografi for steg 3 er vist i Figur 7.

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 tidl. Flora kommune på 28 m/s, se Tabell 3. Terrenguhetsfaktor er satt til 1.17 for alle vindretninger mellom 90°-225° (Terrengkategori 1, kystnært), og for resterende retninger er faktoren er satt til 1.30 (Terrengkategori 0, åpent opprørt hav). Det er benyttet retningsfaktorer for «Sogn og Fjordane, ytre».

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 11 ble benyttet på randen fra ti retninger i 30° intervaller, se Tabell 4 og Figur 8.

Bølgeanalyse og overskylling

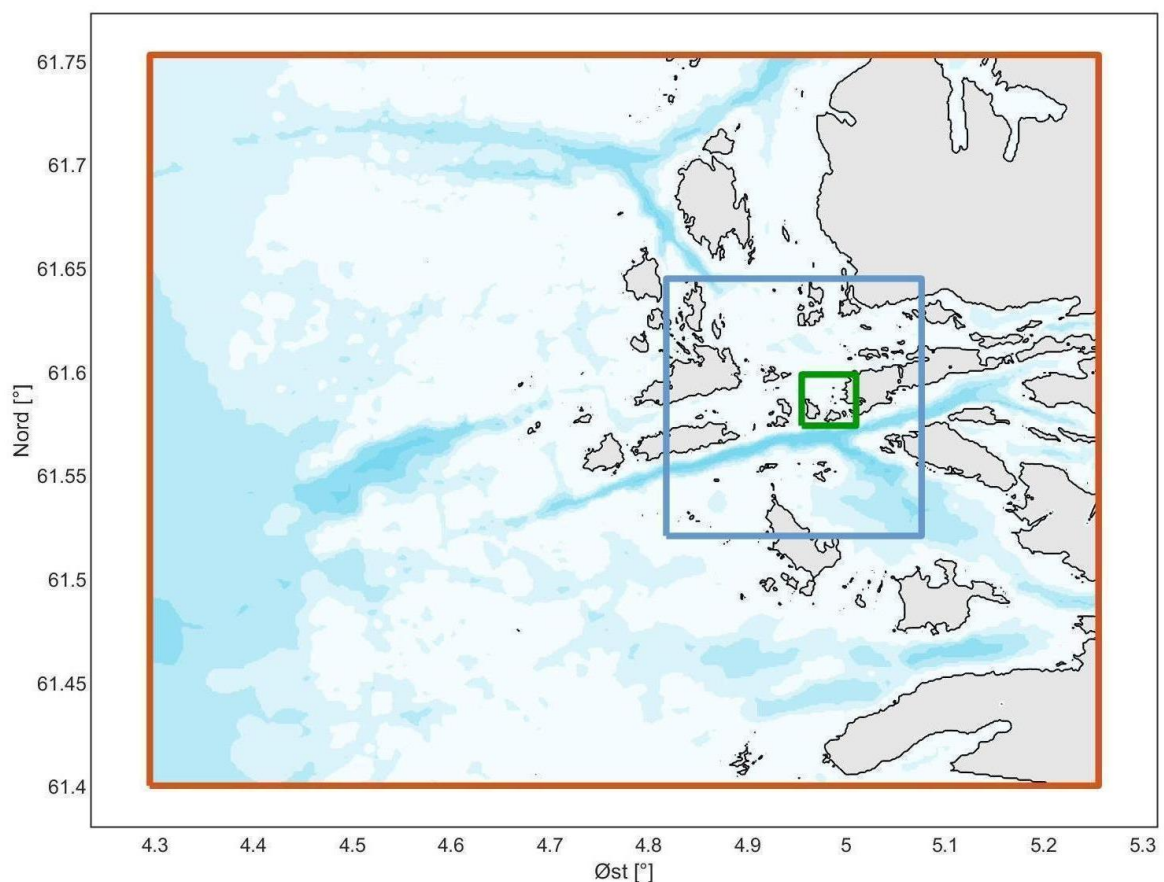
Vannstand med 20 og 200 års gjentaksintervall med klimapåslag (Figur 4) er benyttet i bølgemodellen. Dimensjonerende bølgehøyde for sikkerhetsklasse F1 er altså gitt ved kombinasjonen av vindbølger med 20 års gjentaksintervall, havdønning med 20 års gjentaksintervall samt 20 års vannstand. For sikkerhetsklasse F2 er 200 års gjentaksintervall 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]	31	21	25	28	31	31	34	34
V_m 200 år [m/s]	35	23	28	32	35	35	39	39

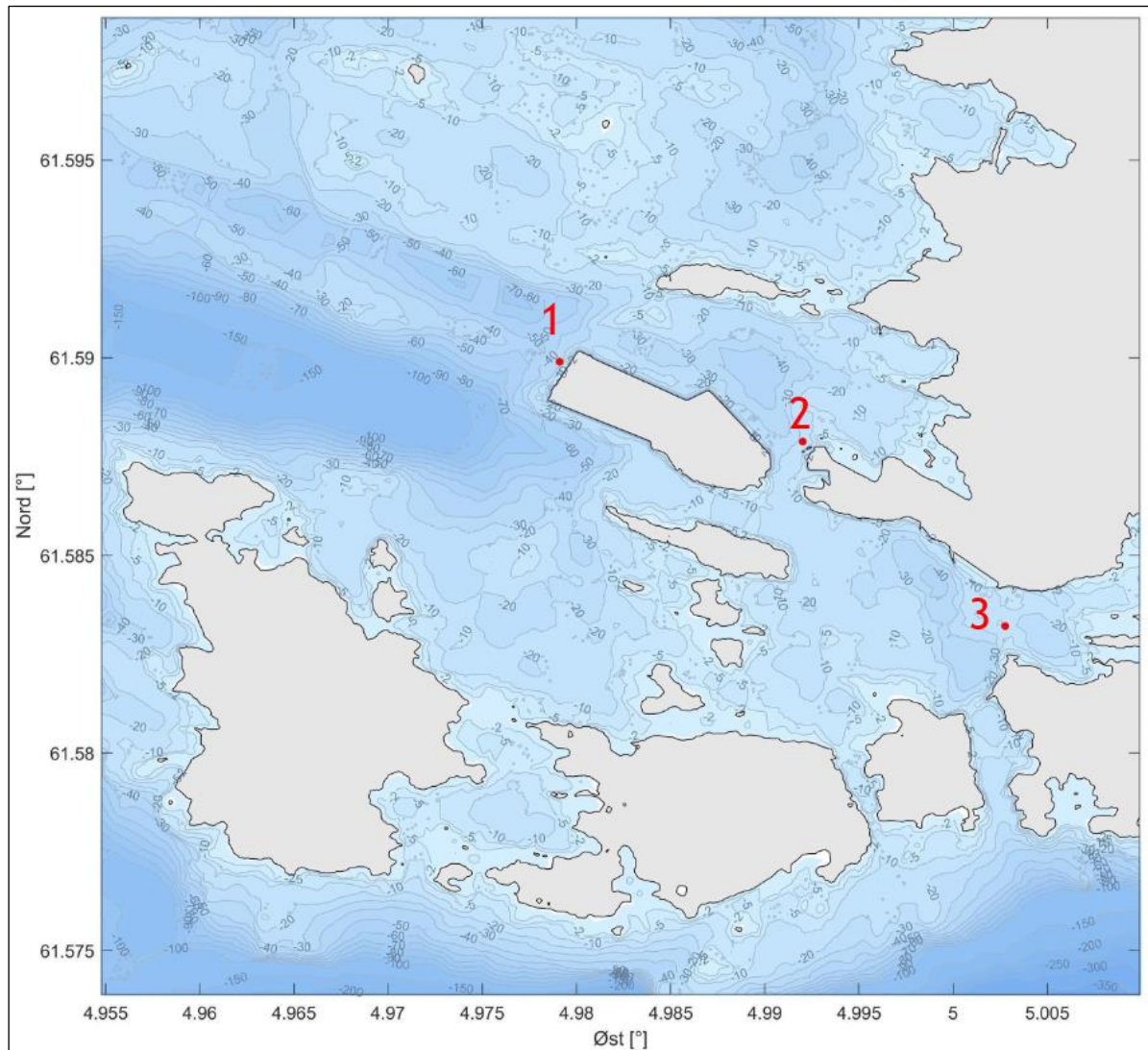
Tabell 4: Grensebetingelser av signifikant bølgehøyde (H_s) og topperiode (T_p) for returperiode (RP) 20 og 200 år for havdønning fra NORA10EI reanalyse. Verdiene er hentet fra punkt 11 i Figur 1.

RP	Dønning fra	150	180	210	240	270	300	330	360	30	60
20	H_s [m]	4.9	11.4	10.9	13.9	15.3	11.3	11.3	10.2	5.0	3.5
	T_p [s]	10.7	13.9	13.8	15.9	18.0	15.3	15.8	15.5	11.9	12.4
200	H_s [m]	6.6	13.7	13.2	18.1	20.3	14.1	13.8	13.2	6.8	5.1
	T_p [s]	11.5	15.5	15.4	17.3	20.0	16.3	17.1	18.3	50.0	15.3
	Satt på rand	Sør + Vest				Vest + Nord					Nord



Figur 6: Domener for bølgesimulering i SWAN, de tre rammene representerer stegene i modellkjøringen. Steg 1: Rød ramme, steg 2: Blå ramme, steg 3: Grønn ramme. Aksene følger geografisk koordinatsystem.

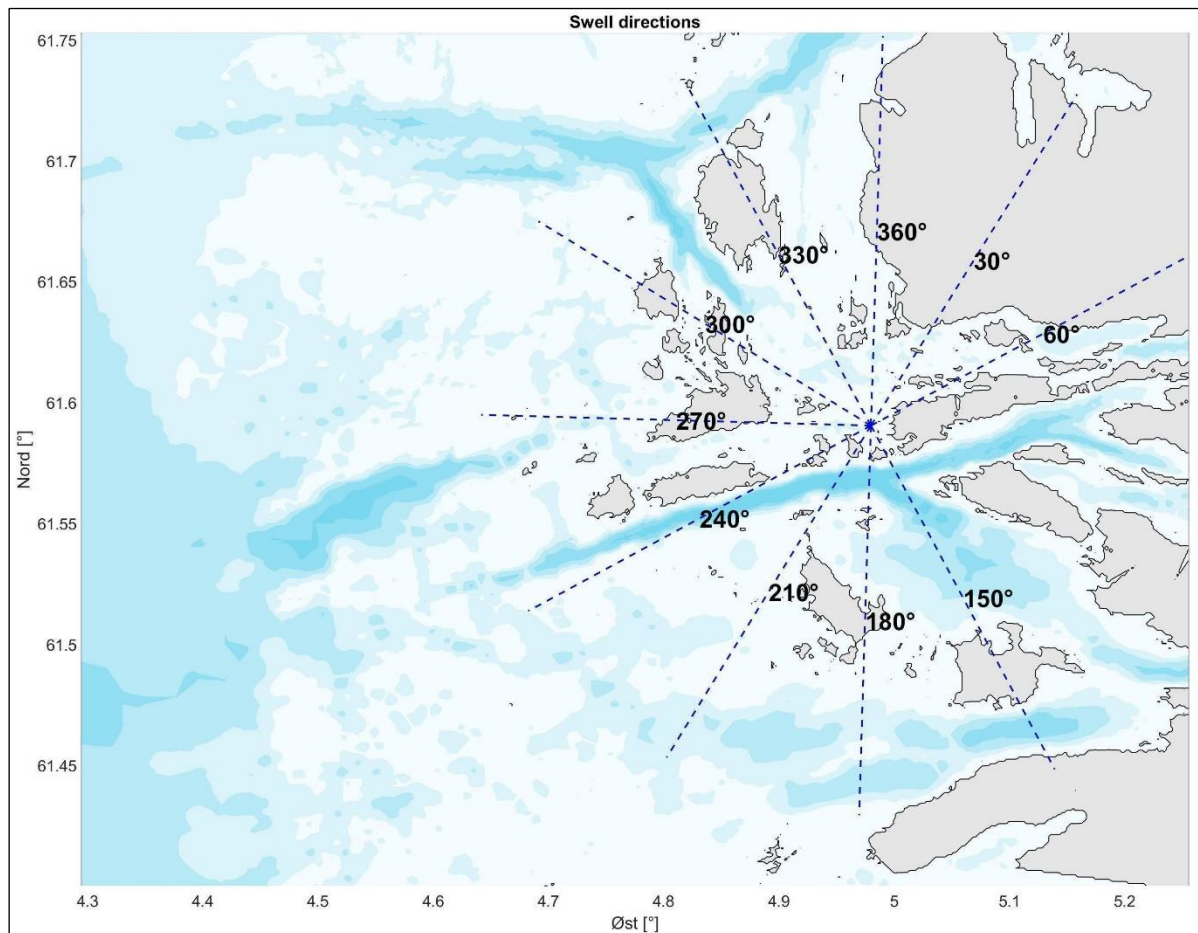
Bølgeanalyse og overskylling



Figur 7: Bunntopografi for modellsteg 4. Dybdekoter er gitt i meter. Resultatpunkter 1-3 er markert med røde prikker.

Tabell 5: Oversikt over bølgeberegningpunkter og posisjon (desimalgrader).

Punkt nr.	Sted	Breddegrad	Lengdegrad
1	Måsholmen Vest	61.5899	4.9791
2	Trolleskjeret	61.5879	4.9920
3	Gunnhildsvågen	61.5832	5.0028



Figur 8: Ti retninger for offshore bølgetilstand for undersøkelse av lokal havdønning.

4.4 Tidsserier av bølgehøyde for beregning av overskylling

I stedet for å kombinere et gitt gjentaksintervall av vindbølger, havdønning og vannstand for så å beregne overskylling, er det konstruert en tidsserie av kombinerte bølger for å oppnå et mest mulig realistisk resultat. Ekstremverdianalyse kan da gjøres direkte på tidsserie av beregnet overskylling for å hente ut verdier for et gitt gjentaksintervall.

Fra modellerte vinddata (Avsnitt 4.2) er det etablert en tidsserie av kombinerte bølger ved først å skalere 200 års vindbølger fra SWAN-modellen etter formler for forenklet strøkmotodikk som beskrevet i NS9415:2009. Signifikant bølgehøyde $H_{s,vind}$ og tilsvarende topperiode T_p er gitt ved

$$H_{s,vind} = 5,112 \times 10^{-4} U_A F_E^{\frac{1}{2}}$$

$$T_p = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F_E)^{1/3}$$

der $U_A = 0.71 \times U_{10}^{1.23}$ er en justering av modellert vindhastighet U_{10} . Effektiv strøklengde er gitt ved

$$F_E = \frac{H_{s,swan}}{(5.112 \times 10^{-4} \times 0.71 \times V_m^{1.23})^2}$$

der $H_{s,swan}$ er signifikant bølgehøyde beregnet i SWAN med stedvinden V_m (Tabell 3).

Skalerte vindbølger er deretter kombinert med lokal havdønning ($H_{s,dønning}$) utledet fra SWAN-resultater og tidsserier for havdønninger i havet utenfor Stadt. Kombinert sjøtilstand for hvert tidssteg er estimert ved

$$H_{s,kombinert} = (H_{s,vind}^2 + H_{s,dønning}^2)^{1/2}.$$

Bølgeanalyse og overskylling

Havdønning er ikke til stede for alle retninger, i de tilfeller er $H_{s,kombinert} = H_{s,vind}$. Tidsserier er beregnet for fyllingsfrontene mot vest ved Måsholmen og ved Trolleskjeret.

Observerte tidsserier av vannstand ved Måløy i perioden 1986 - 2023 er lagt til grunn for overskyllingsberegningene.

4.5 Overskylling

4.5.1 Akseptabel overskylling

Akseptabel overskylling er avhengig av formålet til fyllingen 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 6. 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.

For å sette tallene i perspektiv viser Figur 9 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.

Bølgeanalyse og overskylling

Tabell 6: 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		



Figur 9: Eksempel på overskylling i Bodø under stormen Sally i 2020 (bølgetilstand $H_s=1.4$ m / $T_p = 4.5$ s). Molo ligger på kote +3 m (NN2000). Vannstand var 1.9 m. Gjennomsnittlig overskylling er estimert til 5 l/m/s basert på EurOtop (2018).

4.5.2 Overskylling ved Måsholmen

Det er undersøkt overskylling inn over planområdet ved den vestvendte fyllingen (punkt 1) da det er her de største bølgene vil treffe, samt ved Trolleskeret (punkt 2).

Tidsserier av overskylling er utledet basert på metodikk i EurOtop (2018) og tidsserier av vannstand og kombinert bølgetilstand (se avsnitt 4.4). Tidsserier for vannstand er lagt til et påslag på 74 cm, som representerer den fremskrevne havnivåstigning fram til perioden 2081-2100. Returperioder for overskylling er beregnet ved ekstremverdianalyse av tidsserie for overskylling. Ekstremverdianalysen er basert på en 3-parameter Weibull-fordeling estimert fra timesverdier av overskylling.

Overskyllingsberegningene gjort med utgangspunkt i bølgedata fra punkt 1 og punkt 2.

Det er gjort beregninger av fyllingshøyder (rel. NN2000) der gitte grenseverdier av overskyllingsrate (q) overstiges. Dette er gjort ved ekstremverdianalyse av hele tidsserien av overskyllingshøyde.

Største overskyllingsvolum for en enkeltbølge er også beregnet ved ekstremverdianalyse, for ulike fyllingshøyder.

Kastelengde for overskyllende bølger er beregnet etter EurOtop. På grunn av et lavt antall overskyllinger i tidsserien ved anbefalt fyllingshøyde er ekstremverdianalysen usikker. Derfor er kastelengde ved 20 års overskylling beregnet for tilfellet med 20 års vindbølger, 20 års havdønning og 20 års vannstand. Dette gir et noe konservativt resultat for kastelengde ved overskylling.

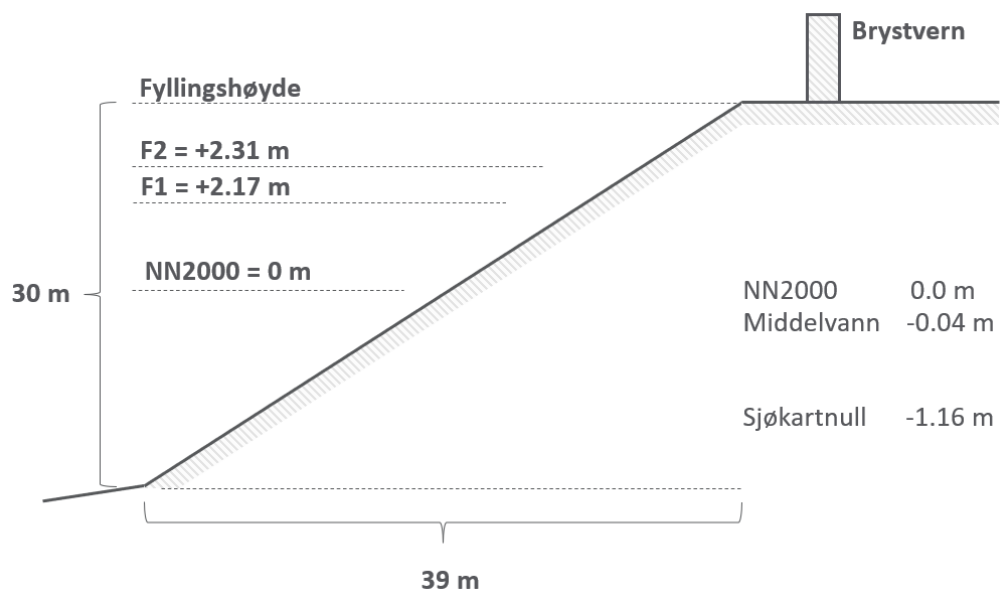
5 Resultater

5.1 Stormflo

For perioden 2081-2100 forventes havnivåstigning opp til 74 cm for Florø (Simpson, et al., 2015). Forventet stormflo i dag og klimapåslag er oppsummert i Tabell 7. Figur 10 viser en prinsippskisse for hvordan disse tallene forholder seg til den planlagte fyllingen ved Måsholmen.

Tabell 7: Ekstrem stormflo Florø (rel. NN2000). Sikkerhetsklasse F2 tilsvarer 200 års gjentaksintervall pluss klimapåslag.

Beskrivelse	Stormflonivå
Sikkerhetsklasse F2 (TEK17)	2.31 m
Sikkerhetsklasse F1 (TEK17)	2.17 m
Klimapåslag	0.74 m
200 års gjentaksintervall	1.57 m
20 års gjentaksintervall	1.44 m



Figur 10: Prinsippskisse av fyllingen, med inntegnet stillevannsnivå (SWL) og en tenkt voll/brystvern på toppen av fyllingen. Alle høyder er referert til NN2000.

5.2 Bølgetilstand

For bølgetilstand er det kombinasjonen av vindbølger, havdønning og vannstand beregnet med returperioder på 20 og 200 år, som tilsvarer sikkerhetsklasser F1 og F2.

Ved Måsholmen og Trolleskjeret oppstår de største vindbølgene ved vind fra nordvest (315). Det er også dønning fra nordvest som gir de største havbølgene her. Resultater for modellkjøringen med denne kombinasjonen er vist i Figur 11.

I Gunnhildsvågen oppstår de største kombinerte bølgene ved vind fra vest (270) og havdønning fra nordvest (330). Resultater for modellkjøringen med denne kombinasjonen er vist i Figur 12.

Dimensjonerende bølgetilstand med 20 og 200 års gjentaksintervall for beregningspunktene er gitt i Tabell 8 og Tabell 9. Det vises også til hvilken kombinasjon av vind og havdønning som gir den største bølgehøyden.

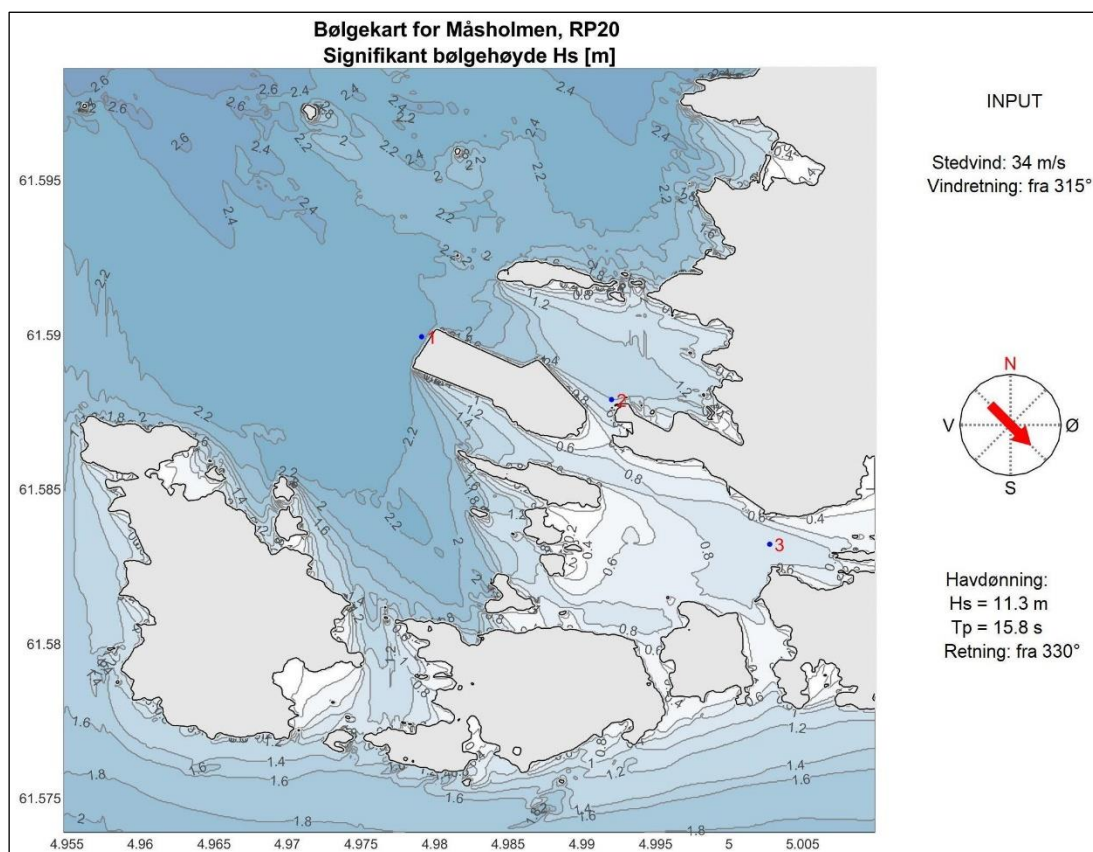
Bølgeanalyse og overskylling

Tabell 8: Kombinert bølgetilstand med 20 års gjentaksintervall for beregningspunktene. Kombinasjonen som gir størst bølgehøyde for hvert punkt er gitt i tabellen.

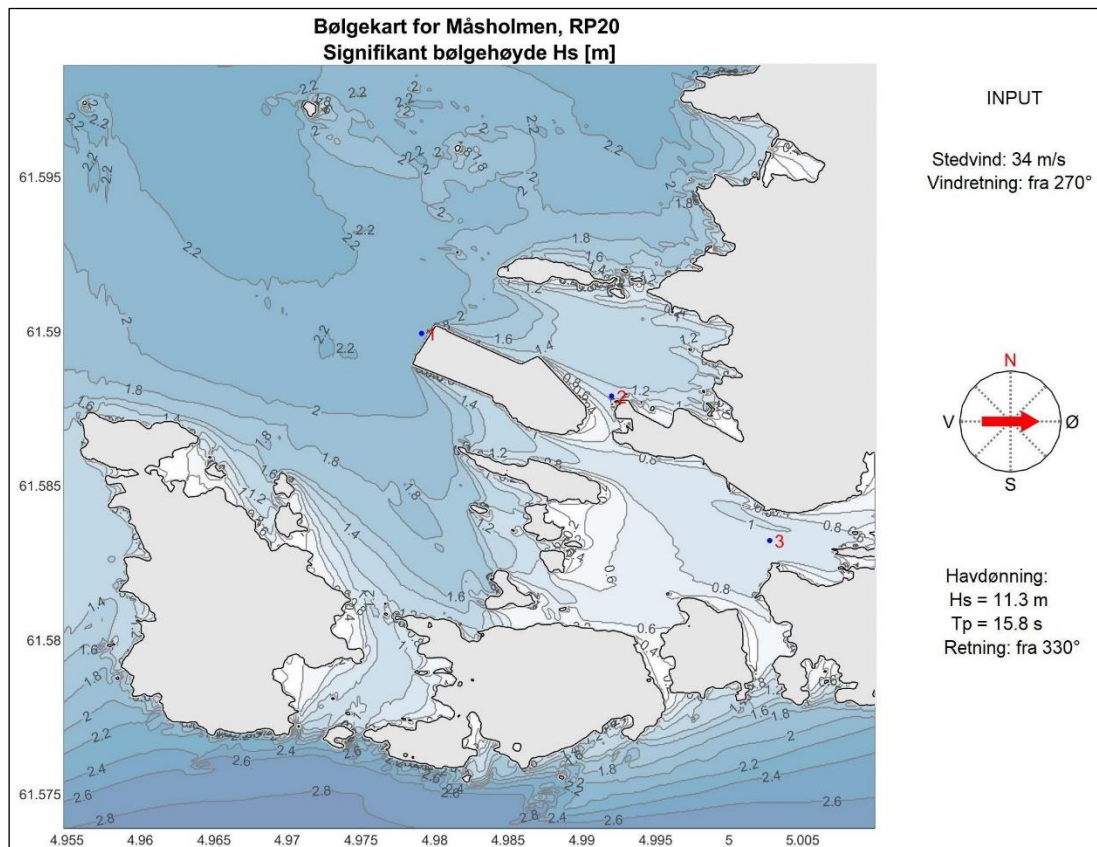
Punkt nr.	Vind fra [°]	Dønning fra [°]	Signifikant bølgehøyde H_s [m]	Topperiode T_p [s]	Bølgeretning fra [°]
1	315	330	2.2	5.5	310
2			1.2	5.0	302
3	270		0.9	2.9	295

Tabell 9: Kombinert bølgetilstand med 200 års gjentaksintervall for beregningspunktene. Kombinasjonen som gir størst bølgehøyde for hvert punkt er gitt i tabellen.

Punkt nr.	Vind fra [°]	Dønning fra [°]	Signifikant bølgehøyde H_s [m]	Topperiode T_p [s]	Bølgeretning fra [°]
1	315	330	2.4	5.8	310
2			1.2	5.2	302
3	270		1.1	3.0	295



Figur 11: Kart med bølgehøyde og -retning for kombinasjonen av vindbølger fra nordvest (315°) og havdønning fra nordvest (330°). Figuren viser resultatet for 20 års returperiode i modellgrid 3. Punktene for bølgeberegninger er angitt med blå prikker og røde tall.



Figur 12: Kart med bølgehøyde og -retning for vindbølger fra vest (270°) og havdønning fra nordvest (330°), som gir størst bølgehøyde ved punkt 3. Figuren viser resultatet for 20 års returperiode i modellgrid 3. Punktene for bølgeberegninger er angitt med blå prikker og røde tall.

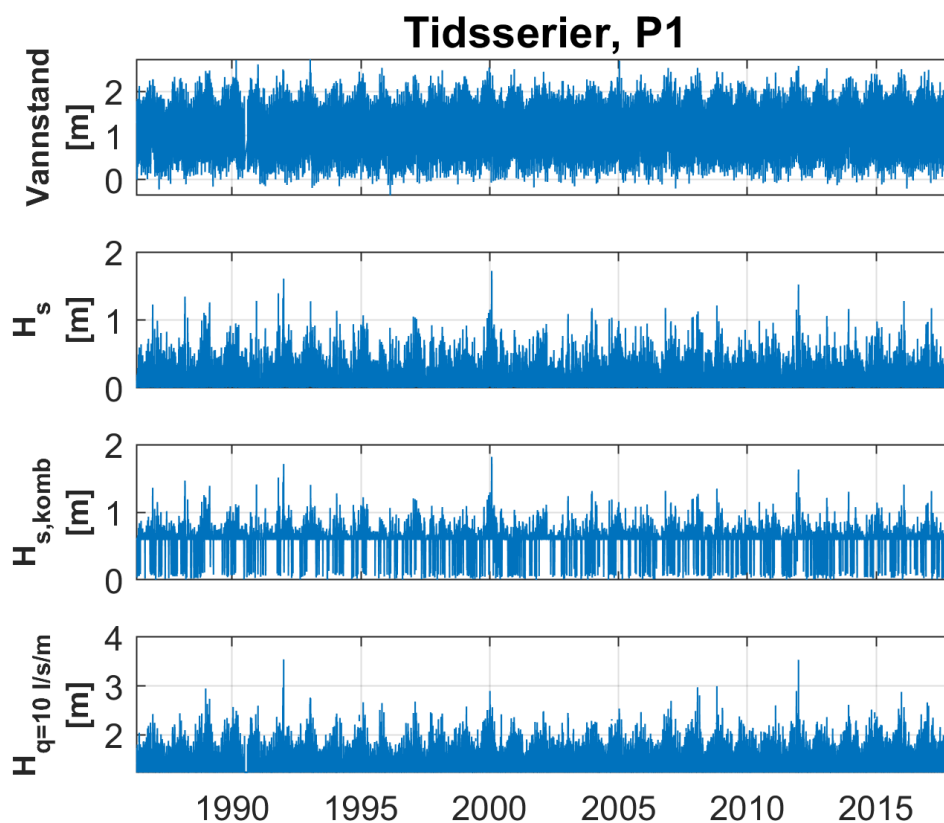
5.3 Overskylling

Et eksempel på tidsserier av vannstand, signifikant bølgehøyde og høyde for overskylling med $q=10$ l/s/m er vist i Figur 13 for Måsholmen (P1). Figur 14 viser datagrunnlag og kurve for ekstremverdianalysen av overskyllingshøyde for $q=10$ l/s/m.

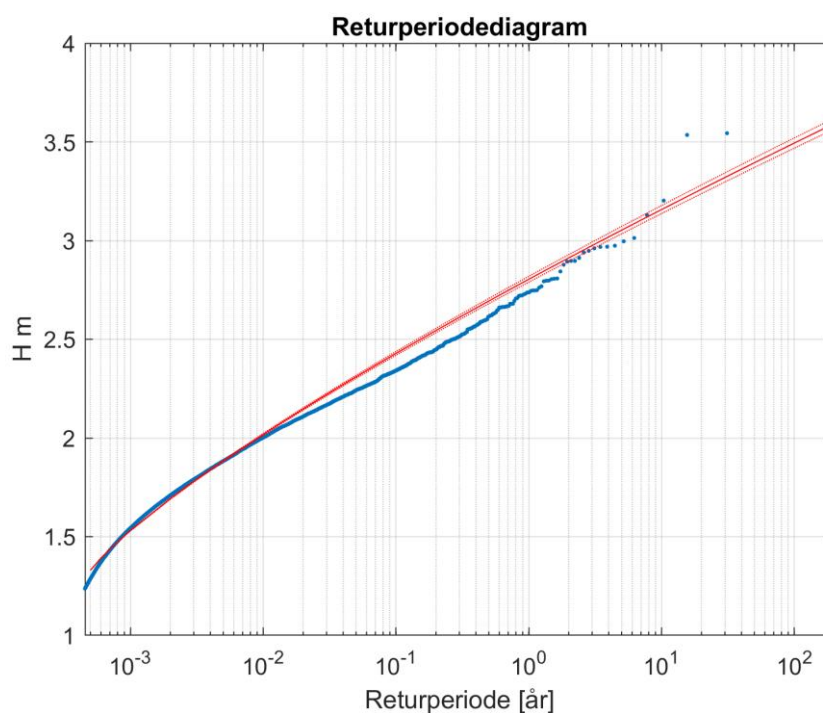
Nødvendig minste høyde på fyllinger ved definerte grenseverdier for overskylling ved Måsholmen og Trolleskjeret er gitt i Tabell 10 og Tabell 11 for 1, 20 og 200 års returperioder.

Største overskyllingsvolum i en enkeltbølge er gitt i Tabell 12 for ulike fyllingshøyder.

Kastelengde ved en fyllingshøyde på 3.3 m ved Måsholmen er beregnet til 9.5 m. Det vil si at overskyllende bølger ikke vil nå lenger inn enn 9.5 m fra toppen av fyllingen.



Figur 13: Tidsserier av vannstand, signifikant bølgehøyde av vindbølger og kombinerte bølger av vind og dønning, samt høyden for overskylling over grenseverdien $q=10$ l/s/m ved Måsholmen.



Figur 14: Diagram over returperiode med høyden for overskyllingsrate på $q=10$ l/s/m i punkt 1 ved Måsholmen. Røde linjer viser tilpassningskurven for returperiode, beregnet med løsning for minste kvadrater (least squares fit).

Bølgeanalyse og overskylling

Tabell 10: Minste høyde for overskridelse av gitte overskyllingsrater (q) ved Måsholmen (P1) ved gjentakintervall (returperiode, RP) 1 år, 20 år og 200 år.

q [l/s/m]	RP 1	RP 20	RP 200
0.1	3.6 m	4.2 m	4.6 m
1	3.3 m	3.8 m	4.1 m
10	2.8 m	3.3 m	3.6 m
100	2.3 m	2.7 m	3.0 m

Tabell 11: Minste høyde for overskridelse av gitte overskyllingsrater (q) ved Trolleskjeret (punkt 2) ved gjentakintervall (returperiode, RP) 1 år, 20 år og 200 år.

q [l/s/m]	RP 1	RP 20	RP 200
0.1	2.6	3.0	3.4
1	2.4	2.8	3.1
10	2.2	2.6	2.9
100	2.0	2.3	2.5

Tabell 12: Største overskyllingsvolum (i liter) av en enkeltbølge ved bølgetilstand med returperiode (RP) på 20 og 200 år.

Fyllingshøyde	RP20	RP200
2.7	4000	10600
3	2940	14980
3.3	1700	13980
3.6	870	10310
3.9	460	9600

6 Anbefalinger for prosjektering

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

- Kontainerhavn ved Måsholmen etableres med fyllingshøyde 3.3 m relativ NN 2000. Dette tilsvarer F1 sikkerhetsklasse, og er beregnet å holde overskylling med 20 års gjentaksintervall under 10 l/s/m (se prinsippskisse i Figur 10).
- Ved Trolleskjeret oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot stormflo og overskylling under 10 l/s/m med en fyllingshøyde på 2.6 m.
- Er det behov for lavere fylling kan tilfredsstillende sikkerhet oppnås ved i bygge brystvern opp til den anbefalte fyllingshøyden. Denne må da prosjekteres for å motstå bølgekrefter ved 20 års bølgetilstand som beskrevet i dette notatet.
- Tiltak som ikke er dimensjonert for å tåle overskyllende bølger anbefales å holdes minimum 9.5 m fra fyllingsfronten. Dette gjelder for eksempel kontorbygg o.l.
- Erosjonssikring ved Gunnhildsvågen tilpasses til dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentaksintervall på 1.1 m, med en tilhørende topperiode på 3.0 s og bølgeretning fra nordvest.

7 Referanser

- Kartverket** [Internett] // Se Havnivå. - 16 6 2023. - <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/>.
- Kystverket** Molohåndboka [Rapport]. - [s.l.] : Kystverket, 2018.
- Leenknecht David A., Szuwalski Andre og Sherlock Ann R.** Automated Coastal Engineering System – Technical Reference, Chapter I. Windspeed Adjustment and Wave Growth [Rapport]. - [s.l.] : Coastal Engineering Research Center, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, 1992.
- NS9415:2009** Flytende oppdrettsanlegg — Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift. [Rapport]. - 2009.
- NS-EN 1991-1-4** Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster, Vindlaster [Rapport]. - [s.l.] : Standard Norge, 2009.
- Simpson M.J.R. [et al.]** Sea Level Change for Norway: Past and Present Observations and Projections to 2100 [Rapport]. - Oslo, Norway : Norwegian Centre for Climate Services (NCCS), 2015. - 1/2015.
- Smith Jane McKee, Resio Donald T. og Zundel Alan K.** STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model, Report 1, User's Manual for STWAVE Version 2.0 [Rapport] : Instruction Report CHL-99-1 / US Army Corps of Engineers. - 1999.
- SWAN** User Manual SWAN Cycle III version 41.10 [Rapport]. - [s.l.] : Delft University of Technology, 2016.
- TEK17** Veiledning om tekniske krav til byggverk [Rapport]. - [s.l.] : Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Direktoratet for Byggkvalitet, 2016.
- van der Meer J.W. [et al.]** EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. [Book]. - 2018. - Second.

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, et al., 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, et al., 1999).