

Rapport

Værlandet - Vasstand og bølger

OPPDRAGSGJEVAR

Vestland Fylkeskommune

EMNE

Dimensjonerande vasstand, bølger og
overskylling

DATO / REVISJON: 18. februar 2026 / 00

DOKUMENTKODE: 10266219-01-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 i den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult med mindre annet følger av norsk lov. Multiconsult påtar seg intet ansvar for bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn det som er godkjent skriftlig av Multiconsult. 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 med mindre annet følger av norsk lov.



Rapport

OPPDRAAG	Værlandet - Vasstand og bølger	DOKUMENTKODE	10266219-01-RIMT-RAP-001
EMNE	Dimensjonerande vasstand, bølger og overskylling	TILGJENGELIGHEIT	Åpen
OPPDRAAGSGJEVAR	Vestland Fylkeskommune	OPPDRAAGSLEIAR	Sven Kallevik
KONTAKTPERSON	Stine Unneland	UTARBEIDA AV	Algot Peterson
KOORDINATAR	Sone: 32V / Øst: 271904 / Nord: 6804092	ANSVARLIG EINING	10235017 Marin Teknikk

SAMANDRAG

I samband med regulering av ny ferjekai ved Værlandet er fremtidig havnivåstigning, bølger og overskylling undersøkt.

Dette notatet dokumenterer følgende undersøkingar ved Værlandet:

- Ekstrem høg vasstand (stormflo) med 200 års gjentaksintervall med klimapåslag
- Dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentaksintervall.
- Tilstrekkeleg høgd for å ivareta tryggleik mot overskylling

For tryggleiksklasse F2 i TEK17 §7-2 er dimensjonerande høg vasstand 2.4 m, som tilsvarer 200 års returverdi med klimapåslag for auka havnivå fram til 2100. I tillegg til må ein ta omsyn til overskyllande bølger.

For eksponerte område ved ferjekaien, som ligg under tilstrekkeleg høgd for overskylling på 2.6 m, er det tilrådd å setje inn avbøtande tiltak. Iht. N100 skal vegbane for kystvegar ligge på minimum 0.5 m over dette igjen, altså 3.1 m.

Utover på tilleggskaien når overskyllinga høgere opp, og tilstrekkeleg høgd for å ivareta tryggleiken er 4.0 m for vanlige bygningsdelar som ikkje er førebudd på overskyllande vatn.

00	18.02.2026	Værlandet – vannstand og bølger	Algot Peterson	Odd Helge Otterå	Sven Selås Kallevik
REV.	DATO	SKILDING	UTARBEIDA AV	KONTROLLERT AV	GODKJEND AV



INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Omgrep og definisjoner	5
2	Bakgrunn	6
3	Krav til tryggleik mot skade frå naturpåkjenningar	7
3.1	TEK17 §7-2	7
3.2	Vegnormal N100 og N200	8
4	Metode	8
4.1	Høg vasstand	8
4.2	Vind	11
4.2.1	Samanlikning av Ytterøyane og Værlandet målestasjonar	11
4.2.2	Skalering av vind	13
4.3	Bølger	14
4.4	Tidsserier av bølgehøgde for utrekning av oppskylling	16
4.5	Oppskylling	17
4.5.1	Akseptabel oppskylling	17
4.5.2	Overskylling ved Værlandet	19
5	Resultat	20
5.1	Høg vasstand	20
5.2	Bølgetilstand	20
5.3	Overskylling	24
6	Tilråding for prosjektering	27
7	Referansar	28
Appendiks A	Bakgrunnsinformasjon om modellen	29



1 Omgrep og definisjonar

Tabell 1-1: Begrep og definisjonar brukt i rapporten.

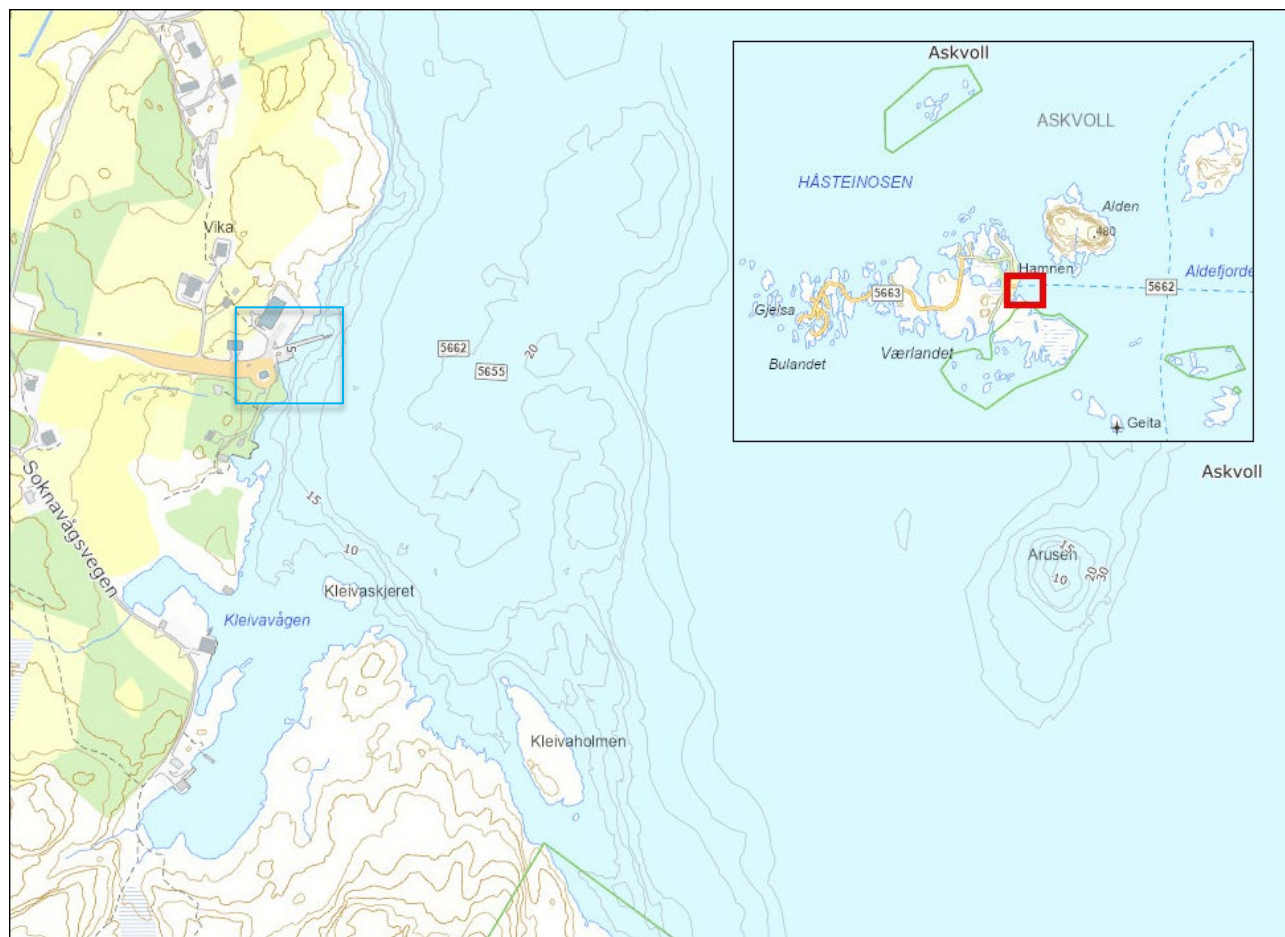
Gjentaksintervall	Statistisk omgrep som skildrar kor ofte ei hending skjer. Eit gjentaksintervall på 200 år vil til dømes opptre i gjennomsnitt kvart 200 år, og ha 0.5 % sannsynlegheit for å skje i løpet av eitt år. Omgrepet vert også kalla returperiode.
Havnivå	Havets gjennomsnittsnivå målt over ein lang periode, slik at variasjonar som kjem av tidevatn og vær ikkje påverkar resultatet.
Høg vasstand	Ekstreme vasstandsniå som kjem av kombinasjon av tidevatn og vêrpåverknad.
Klimapåslag	Eit tillegg til dagens middelasstand som blir brukt i prosjektering for å ta høgde for framtidig havnivåstiging. Påslaget blir berekna ut frå eit høgt utsleppsscenario (typisk SSP3-7.0) og den øvste grensa i usikkerheitsintervallet. Tillegget representerer eit konservativt verstefallsscenario, og ikkje ein forventa verdi.
Maksimal bølgehøgde	Største forventa enkeltbølgehøgde i ein bølgetilstand. Omlag 2 x signifikant bølgehøgde i ein tre timars bølgetilstand.
Middelvatn	Gjennomsnitt av alle vasstandsmålingar i ein 19-årsperiode.
NN2000	Normalnull 2000. Det nasjonale høgdesystemet i Noreg sidan år 2000. Alle kotehøgdar i rapporten er gitt relativt til NN2000.
Overskylling	Vatn som skyl over til dømes ein fyllingsfront på grunn av bølger.
Oppskyllingshøgde	Høgde på fyllingsfront der vatnet når på grunn av bølger.
Signifikant bølgehøgde, Hs	Gjennomsnittleg bølgehøgde for dei 1/3 største bølgene over ein gitt periode. Bølgehøgde blir målt frå bølgebotn til bølgetopp.
Stillevatn	Det nivået vassflata ville ha dersom det ikkje var bølger eller bølgepåslag, men der langsiktige og storskala påverknader som astronomisk tidevatn, stormflo og havnivåendingar er inkluderte.
Stormflo	Vasstand høgare enn normal flo i sjø som følge av kraftig lågtrykk og sterk vind.
Topperiode, T _p	Bølgeperiode der energien i bølgespekteret er størst.
T _{m01} og T _{m-1.0}	Gjennomsnittleg bølgeperiode i ein sjøtilstand. Parameterane er utleda frå bølgespekteret.

2 Bakgrunn

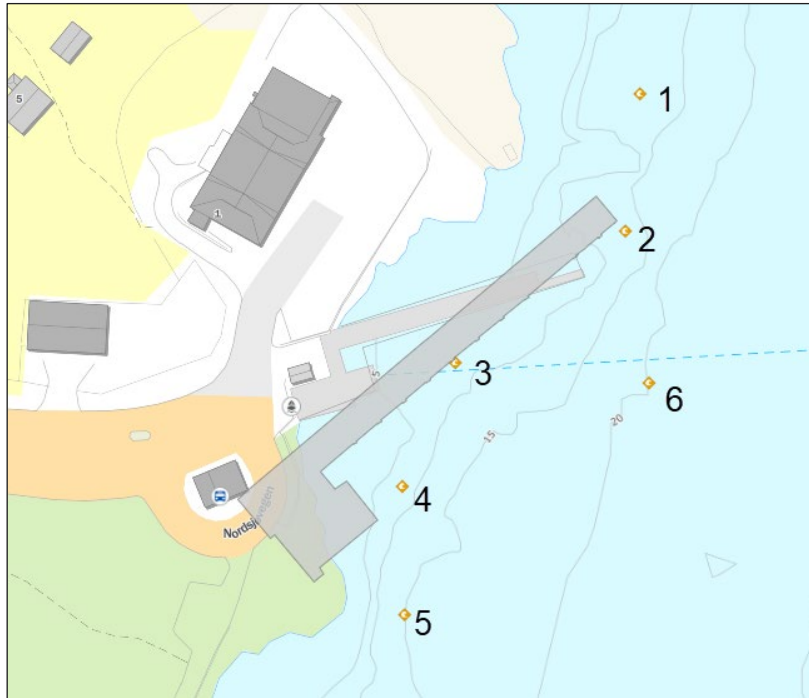
I samband med regulering av ny ferjekai ved Værlandet er dimensjonerande vasstand, bølgehøgde og overskylling frå bølger undersøkt og dokumentert.

Denne rapporten dokumenterar dimensjonerande vasstand, bølgetilstand og naudsynt byggehøgde for å ivareta tryggleik iht. TEK17 7-2.

Værlandet ligg i Askvoll kommune, sjå oversiktskart i Figur 2-1 og eit nærare utsnitt i Figur 2-2 med innteikna skisse av ny kai.



Figur 2-1: Oversiktskart over området rundt ferjekaien på Værlandet. Blå firkant markerar området som er forstørret i Figur 2-2. Innsmett syner plasseringa på Værlandet.



Figur 2-2: Kartutsnitt som skisserar plassering av ny ferjekai. Utrekningspunkt for bølgemodellen er markert og nummerert.

3 Krav til tryggleik mot skade frå naturpåkjenningar

3.1 TEK17 §7-2

Byggteknisk forskrift, TEK17, krev at tiltak generelt skal prosjekterast og utførast slik at ein oppnår tilfredsstillande tryggleik mot skade frå naturpåkjenningar. I forskrifta er det definert tre tryggleiksklassar for tiltak som kan bli råka av flaum eller stormflo (DIBK, 2017). Tryggleiksklassen blir fastsett ut frå konsekvensen av skade ved stormflo sett frå eit samfunnsperspektiv.

Lagerbygningar med lite personopphald vil typisk tilhøyre lågaste tryggleiksklasse, F1, då konsekvensane av skade ved stormflo kan sjåast på som liten. Tryggleiksklasse F2 omfattar dei fleste byggverk der personar er meint å opphalde seg, som til dømes bustadar. Eit sjukehus vil tilhøyre høgaste tryggleiksklasse, F3, då konsekvensane av skade ved stormflo vert sett på som stor. Tryggleiksklassen er avgjerande for kva for gjentaksintervall som skal nyttast ved vurdering av skade eller ulempe. Byggverk der konsekvensen av ein flaum er særleg stor, skal ikkje plasserast i flaumutsett område. Tryggleik vert oppnådd ved å sikre tiltaket mot naturpåkjenningar (til dømes stormflo) eller ved å konstruere tiltaket slik at det tåler belastningane (DIBK, 2017).

For prosjektering av ny ferjekai på Værlandet er det tilrådd å sjå på tryggleiksklassane F1 og F2 slik dei er definert i TEK17. Teknisk infrastruktur kan vere naudsynt å sikre iht. F2, medan ein kai i seg sjølv gjerne vil fråvike dette for å oppretthalde funksjonalitet. I så tilfelle er tryggleiksklasse F1 meir relevant.



Tabell 3-1: Tryggleiksklassar i TEK17 og døme på tiltak som fell inn under tryggleiksklassane (DIBK, 2017).

Tryggleiks-klasse	Konsekvens av stormflo	Døme på tiltak	Gjentaksintervall for naturpåkjenning
F1	Liten	Bygningar med lite personopphold, til dømes garasje og lagerbygning.	20 år
F2	Middels	Omfattar dei fleste tiltak berekna for personopphald, bustad, fritidsbolig, campinghytte, kontorbygning eller industribygg.	200 år
F3	Stor	Omfattar tiltak for sårbare samfunnsfunksjonar og tiltak der stormflo kan gje stor forureining, til dømes sjukeheim, bygg med beredskapsmessig betydning, anlegg for avfallsdeponi.	1000 år

3.2 Vegnormal N100 og N200

N200 er Statens vegvesen sin standard for vegbygging, og her seier krav 1.14.2.1-2 at dimensjonerande høgvatn skal reknast ut frå 200 års stormflo og havnivåstigning fram til år 2100, kombinert med 200 års bølge.

For utforming av veger og gater er det Vegnormal N100 som gjeld. I denne seier krav 3.2-5 at «for kystveger skal vegbanen ligge minst 0.5 m høgere enn dimensjonerende sjøtilstand, beregnet fra 200-års stormflo, havnivåstigning med klimapåslag for år 2100 og effekt av bølger med 200 års returperiode».

I handboka V431 for prosjektering av ferjekai er kotehøgder for landkar og tilleggskai sett til +2.3 m for vestlandet. Innkøyinga til ferja må tilpassast denne høgda, og vegområdet nærast ferjekaien må difor unntakas frå krava til høgde i N100 og N200. Det kan leggjast til grunn at ved ein ekstrem vêrsituasjon vil det ikkje gå ferjer på sambandet, og det vil ikkje vere trafikk på ferjekaien.

Det er samverknaden av høg vasstand og bølger som fører til overskylling. Skadepotensialet frå overskyllande bølger er det avgjerande for dimensjonering. Høg vasstand og store bølger vil ikkje nødvendigvis opptre samstundes. I denne rapporten er tilstrekkeleg høgde fastsett ved ekstremver dianalyse av tidsserier av vasstand, bølgehøgde og overskyllande bølger. Dette tek omsyn til graden av samanfall av hendingane, og gir samla sett ei meir presis fastsetjing av trygg høgde for vegen.

4 Metode

4.1 Høg vasstand

Verdiar for tilrådd vasstands nivå (rel. NN2000) for planlegging av tiltak nær sjø er henta frå Kartverket si nettside om vasstands nivå (Kartverket, 2025), vist i Figur 4-1. Tala for Værlandet er henta frå vasstandsmålar i Måløy, justert med ein faktor 0.88.

For å ta omsyn til framtidig høgare vasstand som følgje av klimaendringar legg ein oppdaterte klimaframskrivningar til grunn. Førre-var-scenarior SSP3-7.0 (høgt utslepps nivå, Figur 4-2) er lagt til grunn, med 83-prosentilen som sannsynleg høgt utfall i denne utslepps bana, i tråd med tilrådingane i DSB sin rettleiar (DSB, 2024).

Verdiar for tilrådd vasstands nivå (rel. NN2000) for planlegging av tiltak nær sjø, er henta frå datasettet «Stormflo og havnivå» på Geonorge (Kartverket, 2024a). Figur 4-3 syner at deler av kaiområdet ligg under vatn ved 200-års vasstand med klimapåslag.

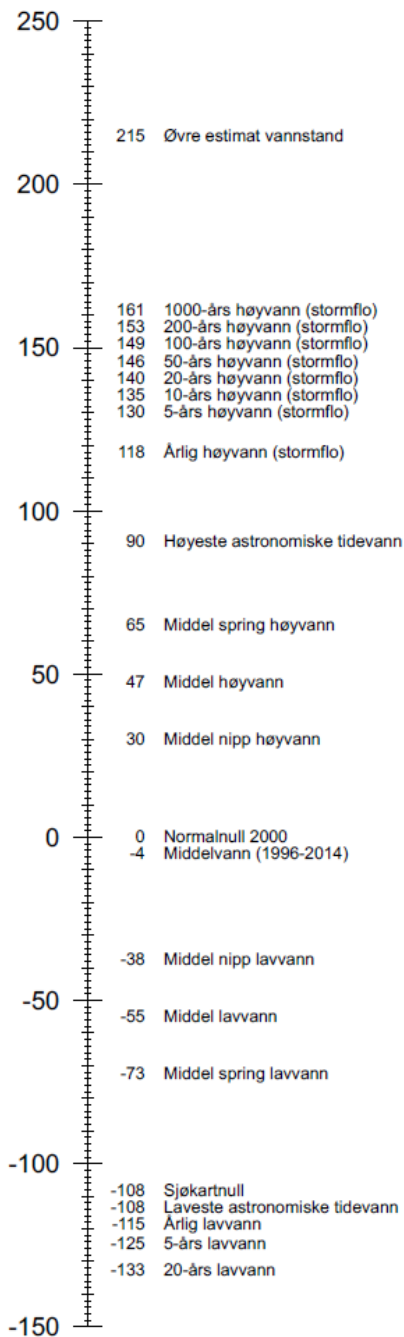


Vasstand med 20 års gjentaksintervall i dag, samt 200 års gjentaksintervall med klimapåslag er nytta i bølgemodellen. Dette tilsvarer tryggleiksklasse F1 og F2 i TEK17 (DIBK, 2017).

N61°18,1' E4°42,1'
Nivåskisse

N61°18,1' E4°42,1'

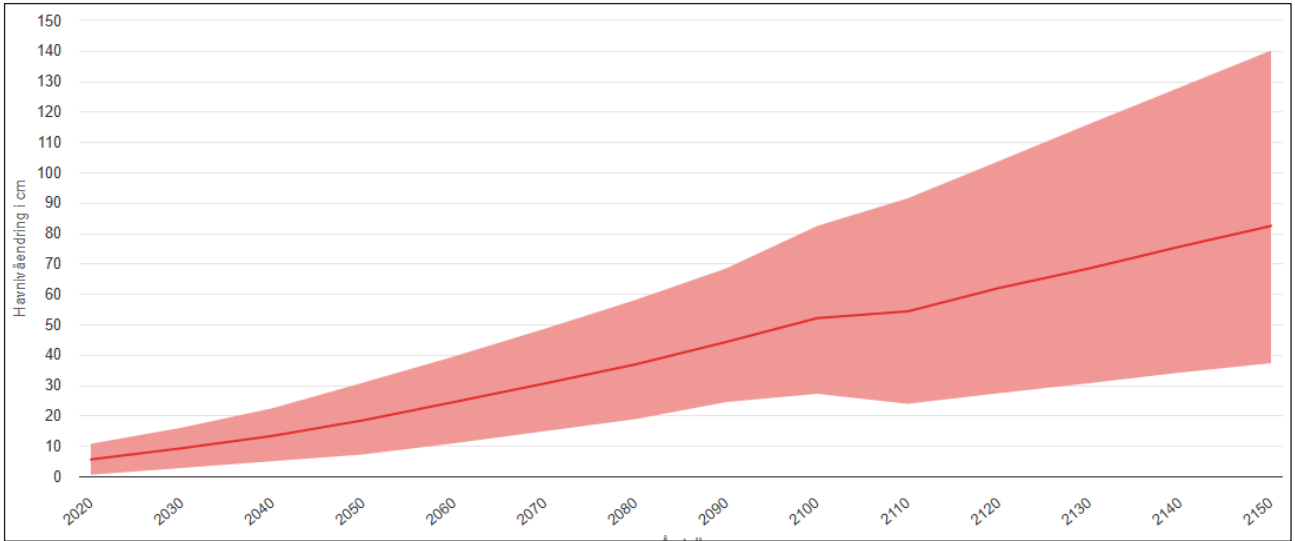
Nivå knyttet til tidevann er hentet fra Måløy, justert med faktor 0,88.



Høyder er i cm over Normalnull 2000 som er nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000. Datagrunnlag sist endret: 17. august 2021. Lastet ned: 13. juni 2025.

1

Figur 4-1: Vasstandsnivå ved Værlandet rel. NN2000 (Kartverket, 2024).



Figur 4-2: Framskiving av havnivå for utslippsbana "SSP 3-7-0 Middels faglig sikkerhet" (Kartverket, 2024b).



Figur 4-3: Kart med innteikna 200-års vasstand med klimapåslag for år 2100 (F2).



4.2 Vind

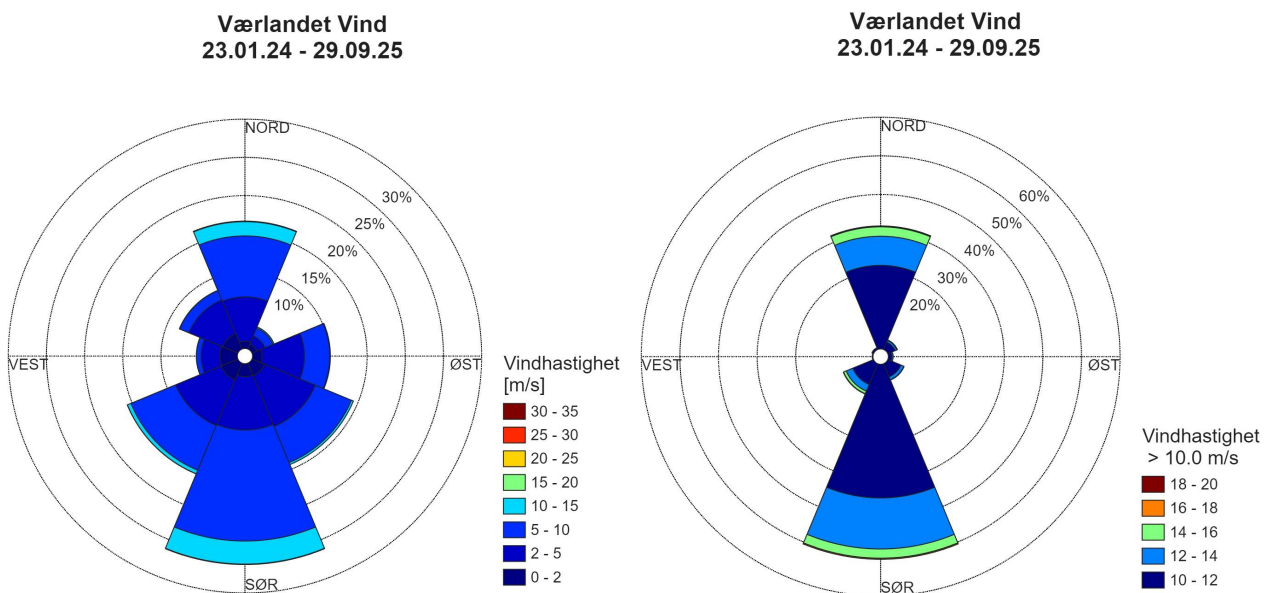
4.2.1 Samanlikning av Ytterøyane og Værlandet målestasjonar

Det er sidan 23.01.2024 gjort vindmålingar på Værlandet målestasjon. Då denne tidsserien er noko kort, er det i tillegg henta inn vindmålingar frå Ytterøyane Fyr, som ligg om lag 30 km nord for Værlandet. Ytterøyane fyr har målingar tilbake til 01.09.1984. Denne målestasjonen ligg meir eksponert enn Værlandet, og ein kan difor vente seg at tal for Ytterøyane er høgare enn for Værlandet.

Vindrosar frå Værlandet og Ytterøyane fyr er vist for begge målestasjonane i figur 4-4 og figur 4-5. Vindrosa til høgre i begge figurane syner fordelinga av vindretningar ved vindhastigheit over 10 m/s. Fordelinga av vindretningar er nokolunde den same for dei to målestasjonane, sjølv om måleperioden ved Værlandet er kort. Hovudvindretninga er frå sør, men det er også ein betydeleg del av vinden som kjem frå nord. Målingane syner at når det er vind over 10 m/s er det nesten utelukkande vind frå sør eller nord. Ved Ytterøyane er sørleg vind klart dominerande ved uvêr.

Tabell 4-1 og tabell 4-2 syner grunnleggjande statistikk for målingane ved Værlandet og Ytterøyane. Ved Værlandet er middelvind for måleperioden (2024-2025) 5.1 m/s, og største vindhastigheit er målt til 17.5 m/s. For Ytterøyane er middelvind for måleperioden (1984-2025) 7.6 m/s, og maks vindhastigheit er 35.0 m/s.

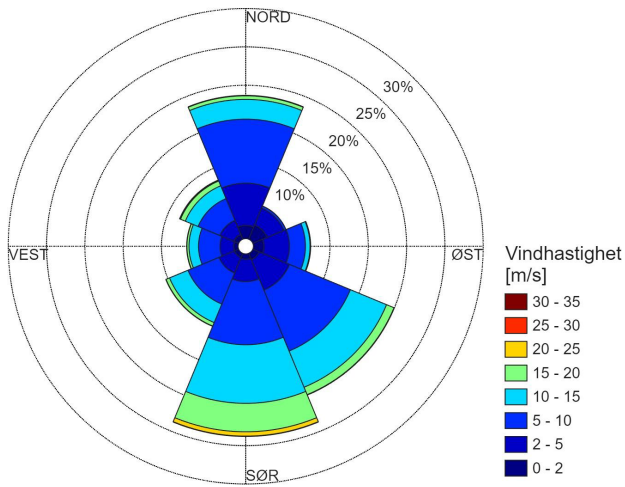
Tabell 4-3 og tabell 4-4 syner kor stor del av målingane som er over gjevne vindhastigheiter ved høvesvis Værlandet og Ytterøyane. Ved Værlandet har vinden vore over 10 m/s i 6.1 % av tida, medan for Ytterøyane er dette talet 29.3 %. Her ser ein òg at den sterkaste vinden kjem frå sør. Ved Værlandet kjem vinden frå sørlege retningar (sørvest, sør og søraust) i 50.5 % av tida, og frå nordlege retningar (nordvest, nord og nordaust) 24.2 % av tida.



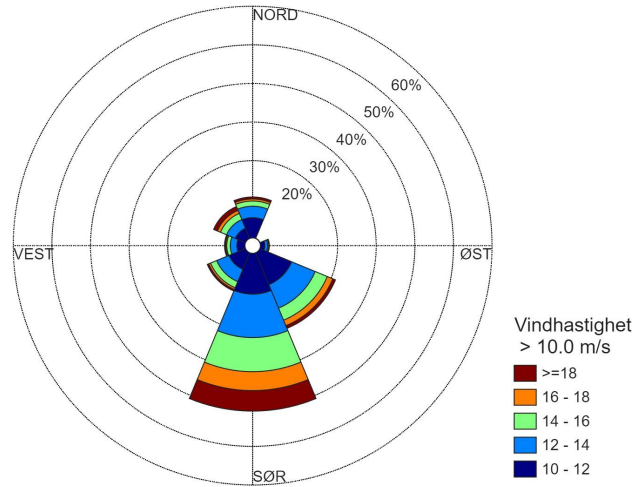
Figur 4-4: Vindrosar frå Værlandet. Målingane er frå 23.01.2024 til 29.09.2025. Vindrosa til høgre syner fordelinga av vindretningar når vindhastigheit er over 10 m/s.



Ytterøyane Fyr Vind
01.09.84 - 29.09.25



Ytterøyane Fyr Vind
01.09.84 - 29.09.25



Figur 4-5 Vindroser frå Ytterøyane fyr. Målingane er frå perioden 01.09.1984 til 29.09.2025. Rosa til høgre syner fordelinga av vindretningar når vindhastigheit er over 10 m/s.

Tabell 4-1: Grunnleggjande statistikk for vindmålingar ved Værlandet (2024-2025).

	Alle retn.	0	45	90	135	180	225	270	315
Middel	5.1	6.0	4.6	4.3	4.5	6.4	4.7	2.7	3.3
Median	4.7	5.7	4.2	4.0	4.2	6.3	4.5	2.3	3.0
Maks	17.5	17.3	15.8	13.6	15.6	17.1	17.5	14.2	14.8
50-Prosentil	4.7	5.7	4.2	4.0	4.2	6.3	4.5	2.3	3.0
90-Prosentil	9.0	10.2	8.5	7.3	7.4	10.3	8.2	5.2	5.7
99-Prosentil	12.9	13.9	12.4	9.6	11.1	13.5	12.0	8.2	9.2
Std. Avvik	2.8	3.0	2.9	2.1	2.3	2.9	2.6	1.8	1.9
Middel årsmaks	17.3	17.3	15.8	13.6	15.6	17.1	15.6	13.3	14.8
Middel månedsmaks	14.1	12.2	11.0	9.1	11.0	13.1	11.4	8.6	9.4
Antal målingar	86421	14400	2710	8804	12416	22709	13560	4645	7177



Tabell 4-2: Grunnleggjande statistikk for vindmålingar ved Ytterøyane (1984-2025).

	Alle retn.	0	45	90	135	180	225	270	315
Middel	7.7	6.5	2.5	4.8	8.0	10.3	7.9	7.2	8.0
Median	7.1	6.1	2.2	3.9	7.7	10.0	7.6	6.7	7.3
Maks	35.0	29.6	15.4	26.8	26.8	35.0	30.9	26.8	28.1
50-Prosentil	7.1	6.1	2.2	3.9	7.7	10.0	7.6	6.7	7.3
90-Prosentil	14.1	11.4	4.5	9.8	13.5	16.7	13.2	12.6	14.9
99-Prosentil	19.7	17.3	8.3	15.2	18.1	22.2	18.6	18.7	20.8
Std. Avvik	4.6	3.7	1.6	3.4	4.0	4.9	4.1	4.1	4.8
Middel årsmaks	26.9	22.5	8.7	16.8	21.2	26.0	21.4	21.0	22.8
Middel månedsmaks	20.0	14.4	4.9	9.5	14.2	18.7	14.2	12.6	14.4
Antal målingar	220214	41130	10322	16468	44028	52417	22683	14781	18385

Tabell 4-3: Statistikk for vindmålingar ved Værlandet (2024-2025): Andel av vindmålingane (i prosent) der vindhastigheit er over gjevne verdiar.

Vind m/s	Alle retn.	0	45	90	135	180	225	270	315
>2.0	86.8	15.7	2.4	9.0	12.6	24.6	13.3	3.1	6.1
>5.0	46.5	9.9	1.3	3.4	5.4	17.6	6.9	0.6	1.4
>10.0	6.1	1.9	0.2	0.1	0.3	3.1	0.5		
>15.0	0.2	0.1				0.1			

Tabell 4-4: Statistikk for vindmålingar ved Ytterøyane (1984-2025). Andel av vindmålingane (i prosent) der vindhastigheit er over gjevne verdiar.

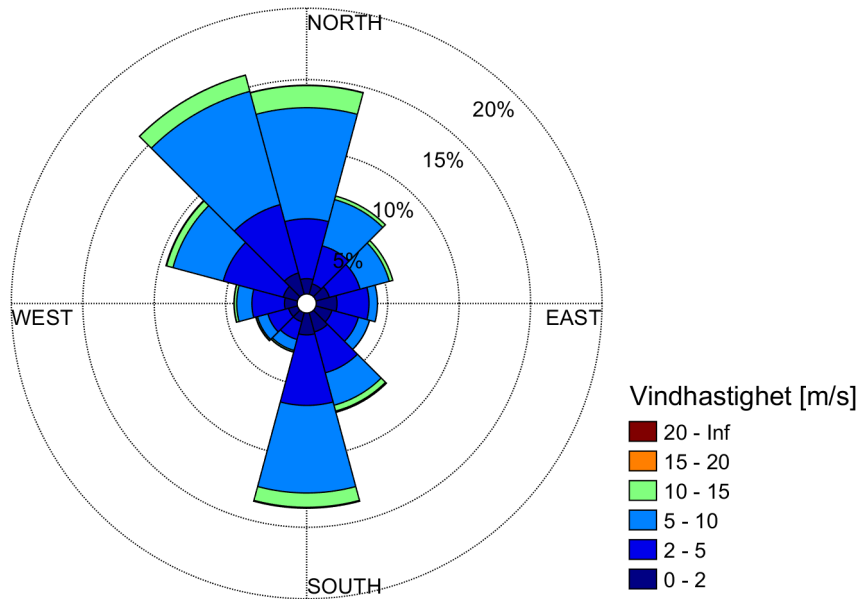
Vind m/s	Alle retn.	0	45	90	135	180	225	270	315
>2.0	91.5	17.0	2.7	6.1	19.1	23.1	9.7	6.2	7.7
>5.0	67.1	11.5	0.3	2.8	14.8	20.2	7.5	4.4	5.7
>10.0	29.3	3.1	0.0	0.7	6.2	12.0	3.1	1.6	2.6
>15.0	7.7	0.5		0.1	1.1	4.3	0.5	0.3	0.8
>20.0	0.9	0.1				0.6			0.1
>25.0	0.1								

4.2.2 Skalering av vind

For å oppnå ei representativ tidsserie av vind er måleserien frå Ytterøyane skalert basert på samanlikninga med serien frå Værlandet. Basert på overlappende data frå værstasjonane er medianen av høvet mellom Ytterøyane og Værlandet for kvar vindsektor (45°) nytta som skaleringsfaktor. Skaleringsfaktorane er gjevne i Tabell 4-5. Den resulterande vindrosa er syna i Figur 4-6.



Ytterøyane Fyr - skalert



Figur 4-6: Vindrose for skalert vind ved Ytterøyane fyr. Data er frå tidsrommet 01.09.1984 – 29.09.2025.

Tabell 4-5: Faktorar for skalering av vinddata frå Ytterøyane.

Sektor	0	45	90	135	180	225	270	315	Alle retn.
Faktor	1.17	0.52	1.03	1.56	1.67	1.54	2.39	2.30	1.54

4.3 Bølger

Ekstrem bølgetilstand med 20- og 200-års returperiode er simulert med bølgemodellen SWAN (2016). Modellen er utvikla av Delft Technical University for å simulere utvikling og forplantning av bølger i kystområde. For meir detaljert modellinformasjon sjå Appendiks A.

Bølgesimuleringane er gjort i fire steg der resultatane frå eit steg er nytta som input til det neste. Bølgefaktorar for tiltaket er henta frå utrekningssteg 4. Modellopløysninga aukar for kvart steg:

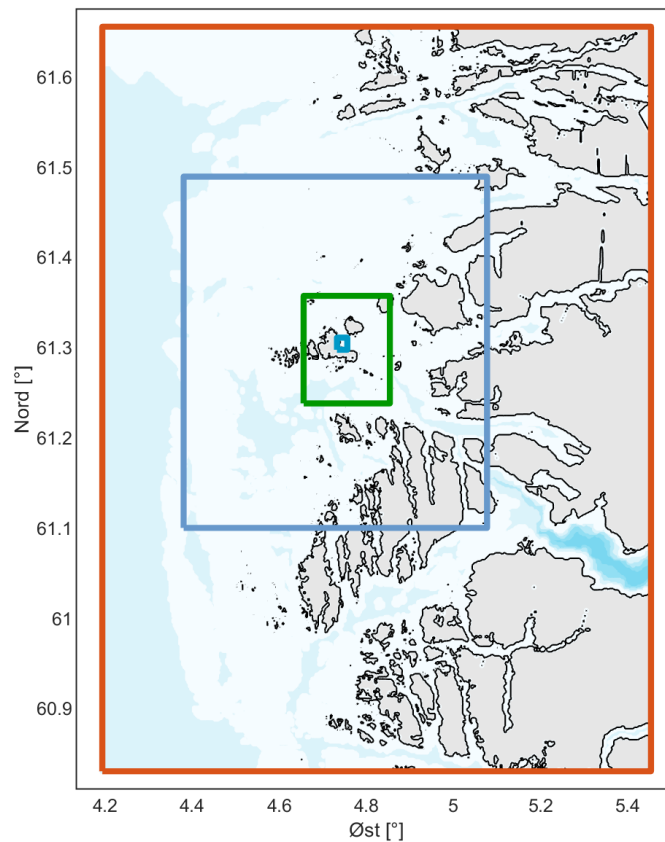
- Steg 1: 171 x 168 m
- Steg 2: 75 x 74 m
- Steg 3: 21 x 21 m
- Steg 4: 4 x 4 m

Botndata nytta i bølgemodellen er henta frå Kystverket (2019). Botntopografi for steg 4 er syna i Figur 4-8.

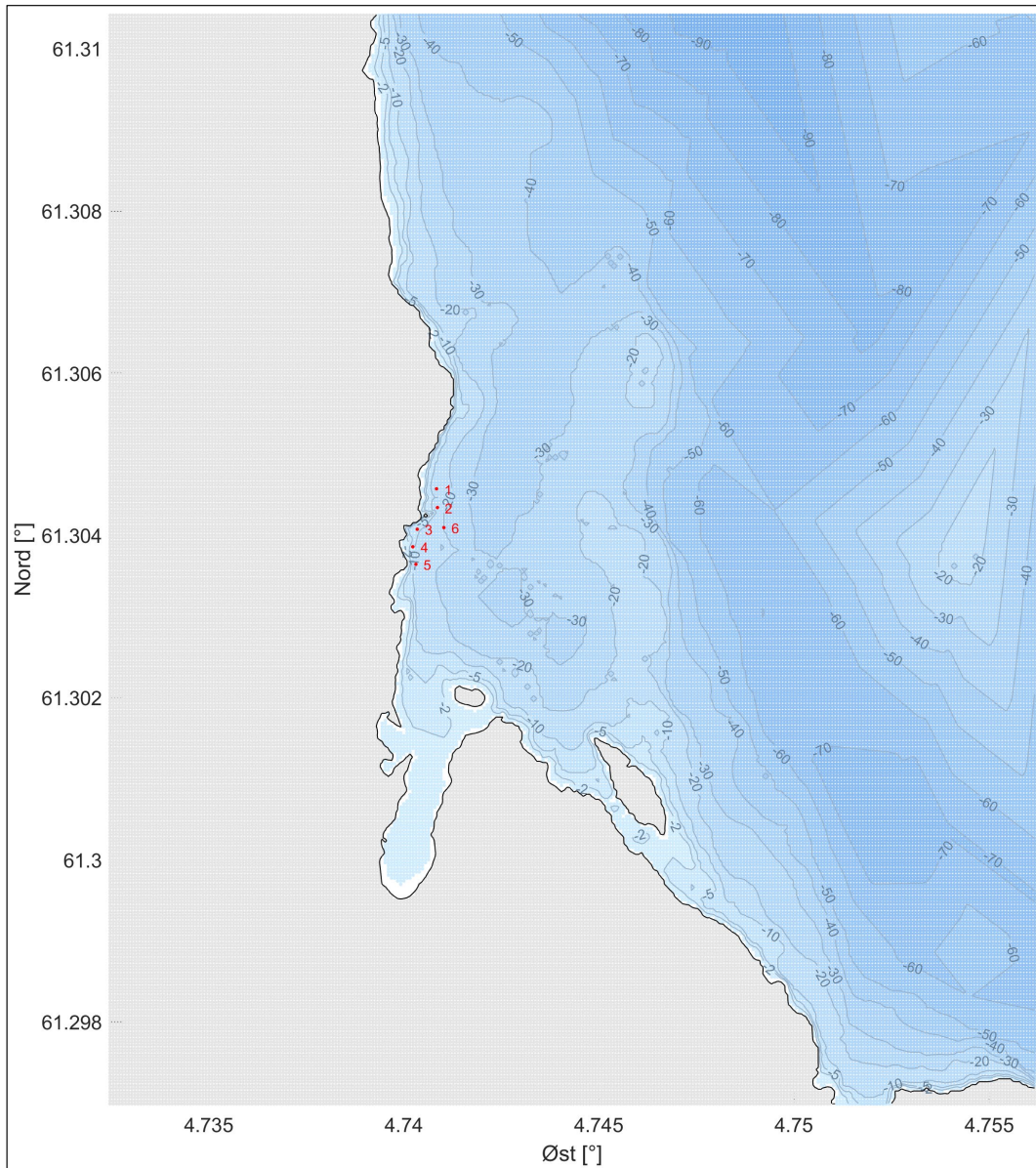
Vindbølger er simulert med vind frå åtte retningar basert på fastsetting av ekstremvind iht. NS-EN 1991-1-4 (2009). Stedvind er estimert ut frå ei referansevind for Askvoll kommune på 28 m/s, sjå Tabell 4-6. Terrengruhetfaktor er sett til Kategori 0 (opent hav, 1.30) for alle retningar. Retningsfaktorar for «Sogn og Fjordane, ytre» er nytta.



Dimensjonerende bølgehøgd for tryggleiksklasse F2 er konservativt utrekna ved kombinasjonen av vindbølger med 200-års returperiode og 200-års vasstand med klimapåslag. For tryggleiksklasse F1 er kombinasjonen av 20-års vindbølger og 20-års vasstand uten klimapåslag nytta.



Figur 4-7: Domene for bølgesimulering i SWAN, dei fire rammene representerer stega i modellkøyninga. Aksane følgjer geografisk koordinatsystem.



Figur 4-8: Batymetri for modellsteg 4. Djup er gitt i meter. Resultatpunkt er markerte med raude punkt og tal.

Tabell 4-6: Input vindhastighet (stedvind, V_m) nytta for bølgeutrekninga, introdusert frå første modellsteg.

Vindretning fra	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Vm 2 år [m/s]	25	17	23	25	28	28	28	28
Vm 20 år [m/s]	31	21	28	31	34	34	34	34
Vm 200 år [m/s]	35	23	31	35	39	39	39	39

4.4 Tidsserier av bølgehøgde for utrekning av oppskylling

Basert på skalerte vinddata frå Ytterøyane (Avsnitt 4.2), er det etablert en tidsserie av vindbølger ved først å skalere 200 års vindbølger fra SWAN-modellen etter formlar for forenkla strøketmetodikk som skildra i NS 9415:2009. Signifikant bølgehøyde $H_{s,vind}$ og tilsvarande 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 ei 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 utrekna i SWAN med stadvinden V_m (Tabell 4-6). Signifikant bølgehøyde for kombinert bølge H_s er gitt som ein funksjon av utrekna vindbølge fra likninga over og dønning frå SWAN modellen,

$$H_s = \sqrt{H_{s,vind}^2 + H_{s,swan\ swell}^2}$$

Dønning er lagt til for alle vindretningar utanfor intervallet 30°-180°, då det ikkje kan ventast at dønning opptrer i samband med desse vindretningane.

4.5 Oppskylling

4.5.1 Akseptabel oppskylling

Akseptabel overskylling avhenger av føremålet til det utbygde området samt bruk, dimensjonering, utforming og plassering av bygningar og infrastruktur bak sjøfront. Skadepotensialet frå overskylling avhenger både av gjennomsnittleg overskyllingsrate og bølgehøgde (van der Meer, et al., 2018). Bølgehøgda påverkar den maksimale overskyllinga ei enkelt bølge kan føre til. Store bølger har større skadepotensiale.

Van der Meer, et al. (2018) gir nokre tilrådingar for grenser av akseptabel overskylling avhengig av bruksområde. Nokre døme på dette er gitt i Tabell 4-7. For trafikk med låg fart kan akseptabel gjennomsnittleg overskyllingsrate vere rundt 5 l/s per løpemeter ved bølgehøgder på ca. 3 m, og auke opp mot 10-20 l/s per løpemeter ved lågare bølgehøgder ($H_s \sim 2$ m). Grenseverdi for persontrafikk med direkte sikt til sjøen er 1 l/s/m gjennomsnittleg overskyllingsrate og er 600 l/m maksimalt overskyllingsvolum i ei enkelt overskylling. For å sette tala i perspektiv syner Figur 4-9 ei hending under stormen Sally i Bodø i 2020 der ein bil vert truffen av bølgeoverskylling med estimert gjennomsnittleg rate på ca. 5 l/s/m.

Dersom bygningar skal stå nær fyllingsfronten, er typiske grenseverdier 1 l/s per løpemeter gjennomsnittleg overskylling mot fasade og 1000 l per løpemeter maksimalt overskyllingsvolum frå ei enkelt bølge. Grenseverdi for persontrafikk er 600 l/m maksimalt overskyllingsvolum i ei enkelt overskylling.

For å gjøre utrekningar av dette nyttast eit formelverk som er utvikla for menneskeskapte fyllingar og demningar. Likningane og konstantane som vert nytta er utleia frå praktiske eksperiment med overskylling (EurOtop, 2018).

Mengda overskylling som til slutt kan akseptast avheng av:

- Avstand frå overskyllingspunkt til konstruksjonar.
- Dreneringsegenskaper av arealet mellom konstruksjonane og sjølinja.
- Bygningens sårbarheit for overskylling.
- Planlagt bruk av arealet mellom bygningar og fyllingskant.



Tabell 4-7: Titrådde grenseverdier for overskylling, (van der Meer, et al., 2018). Overskyllingsrate vert målt i liter per sekund per meter (l/s/m).

Brukergruppe	Brukere	Akseptabel overskylling l/(sm)			Døme
		MIN	MIDDEL	MAX	
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 syklistar
Kjøretøy	Låg fart	10		50	Maks-grense gjeld for tyngrer kjøretøy, traktor, hjullastar, etc.
	Moderat til høy hastighet	0.01		0.05	Vanlig veg utan krav til redusert fart
	Biler på kronen		10-20		Hs=2.0 m
	Biler på kronen		5		Hs=3.0 m
	Motorvei	Vert stengd for trafikk før sprut med drivgods blir farlig			Veg med høg fart
Bygninger og konstruksjoner	Skade på utstyr innenfor 5-10 m		0.4		Bygningar og utstyr som ikkje er budd på vatn og flaum
	Skade på bygningsdeler		1		
	Mindre fartøyer vert senka		10		Gjelder båtar som er fortøyd på innsida av ein molo



Figur 4-9: Døme på overskylling i Bodø under stormen Sally i 2020 (bølgetilstand $H_s=1.4$ m / $T_p = 4.5$ s). Molo ligg på kote +3 m (NN2000). Vasstand var 1.9 m. Gjennomsnittlig overskylling er estimert til 5 l/m/s basert på Van der Meer, et al. (2018).



4.5.2 Overskylling ved Værlandet

Tidsseriar av oppskylling er utleia basert på metodikk i EurOtop (2018) frå tidsseriar av bølgetilstand og tidsseriar av vasstand frå Måløy i perioden 1986-2026. Tidsseriar for vasstand er lagt til eit klimapåslag på 82 cm, som representerer framskriven havnivåstigning for Værlandet fram til år 2100. For å ta omsyn til moglege tidsforskyvningar mellom observasjonane, er høgste vasstand innanfor eit 24 timars intervall nytta for kvart tidssteg, dvs. at det alltid er flo i utrekningane. Oppskyllingshøgde med 200 års gjentaksintervall er utrekna ved ekstremverdianalyse av tidsseriar for oppskyllingshøgder. Ekstremverdianalyse er basert på ei 3-parameter Weibullfordeling.

Det er lagt til grunn ein vertikal kaifront i utrekningane. I røynda er kaien i stor grad open under, noko som fører til at reell overskylling vert mindre enn i utrekningane. Vinkelen mellom innkommande bølger og kaifronten (angrepsvinkel) må inkluderast i utrekninga av overskylling. Bølger som treff rett mot kaifronten gir størst overskylling. I utrekningane er ein angrepsvinkel +/-15° sett lik vinkelrett på fyllinga for å vere konservativ. For større vinklar vert oppskyllinga redusert i høve til formlar i EurOtop (2018). Retninga på kaifronten er sett til 135°.

Oppskylling er rekna ut for tre punkt: Ytst på tilleggskaien (punkt 2), midt på tilleggskaien (punkt 3) og inne ved brukaret (punkt 4).



5 Resultat

5.1 Høg vasstand

Forventa ekstrem stormflo i dag og klimapåslag er oppsummert i Tabell 5-1. For år 2100 er det venta havnivåstigning opp til 82 cm for Værlandet (Simpson, et al., 2024).

Tabell 5-1: Ekstrem vasstand ved Værlandet (rel. NN2000). Tryggleiksklasse F2 tilsvarer 200-års gjentaksintervall pluss klimapåslag. Klimapåslag er lagt til før talla er avrunda oppover til næraste desimeter.

Skildring	Vasstand
Tryggleiksklasse F2 (TEK17) 200 års vasstand i 2100	2.4 m
20 års vasstand i 2100	2.0 m
Klimapåslag	0.82 m
200 års vasstand i dag	1.6 m
Tryggleiksklasse F1 (TEK17) 20-års vasstand i dag	1.4 m

5.2 Bølgetilstand

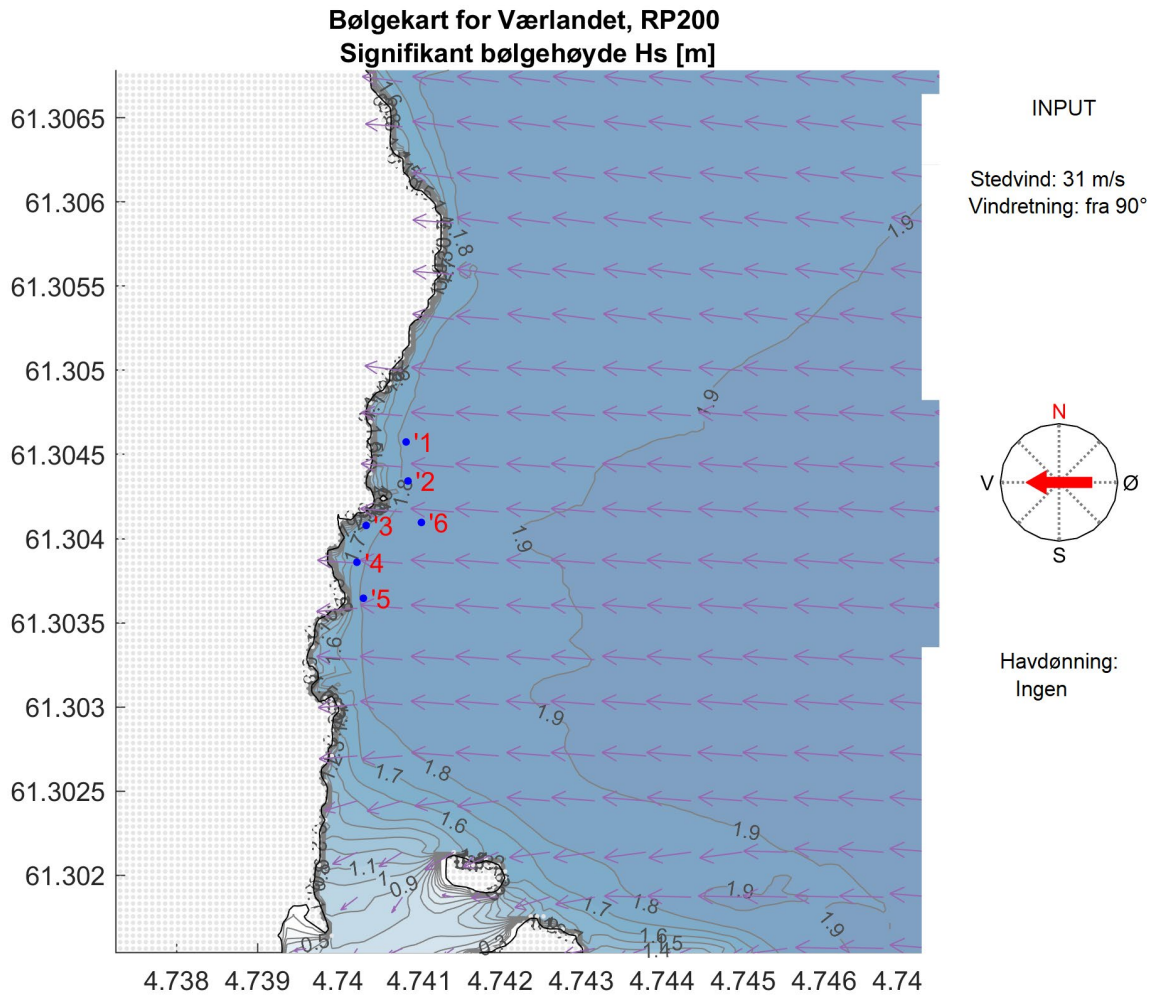
Bølgetilstanden som tilsvarer tryggleiksklasse F2 utgjer ein kombinasjon av vindbølger, havdønning og vasstand utrekna med returperiode på 200 år med klimapåslag.

Dei største vindbølgene ved Værlandet opptrer ved vind frå aust (90°, Figur 5-1). Bølgetilstand for vindbølger er gitt i Tabell 5-3.

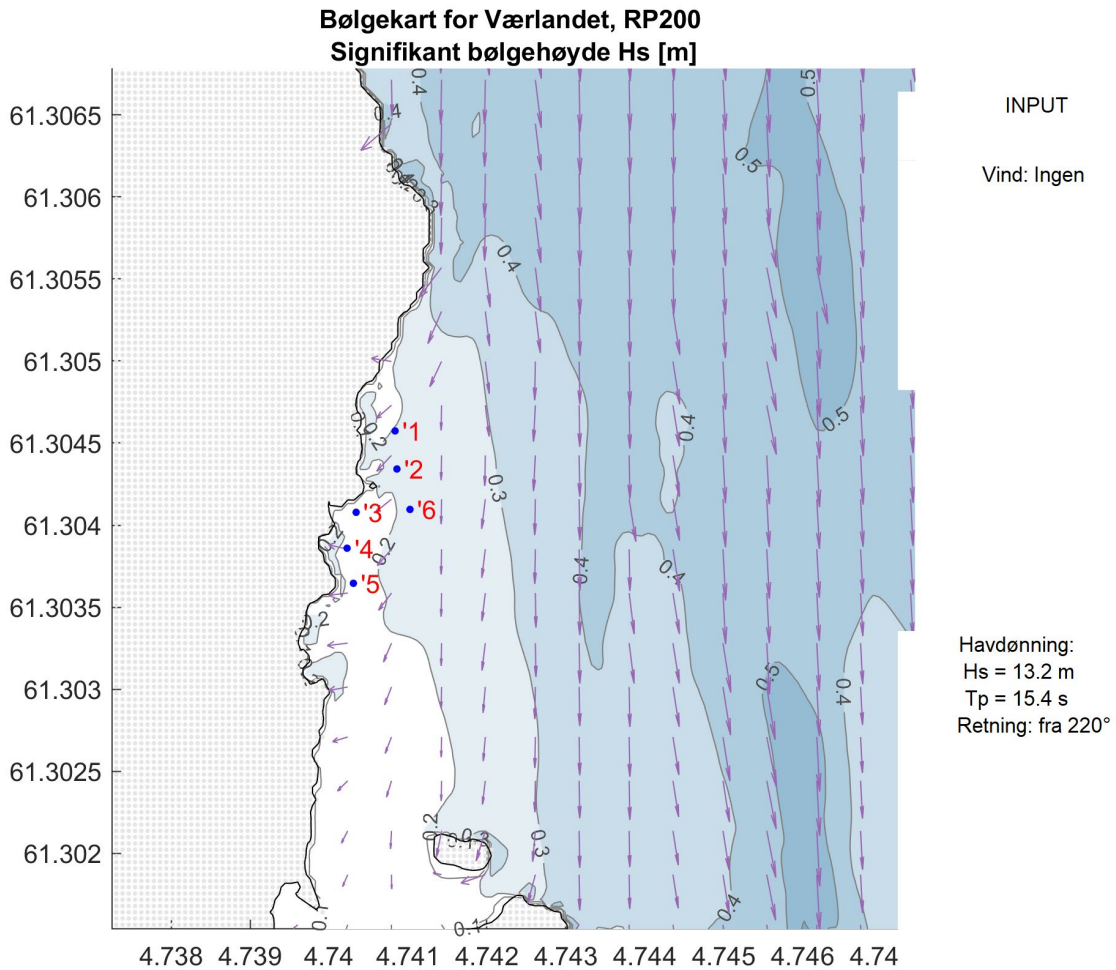
Dønning kan nå inn til Værlandet, og den største dønninga kjem frå vest (270°, Figur 5-2). Dønning er vurdert til å ikkje kunne samanfalle med vind frå aust. Dønning frå vest er difor kun kombinert med vestlege vindretningar (225°, 270°, 315°). Den største kombinerte bølgetilstanden vert oppnådd ved vind frå nordvest (315°, Figur 5-3). Bølgetilstand for dønning og kombinerte bølger er gitt i Tabell 5-5.

Den største dimensjonerande bølgetilstanden for ferjekaien på Værlandet oppstår ved vind frå aust, og gir ei signifikant bølgehøgde på 1.7 m inne ved brukaret. Ytst på tilleggskaien er dimensjonerande signifikant bølgehøgde 1.8 m. Begge stadar er topperioden 5.2 s.

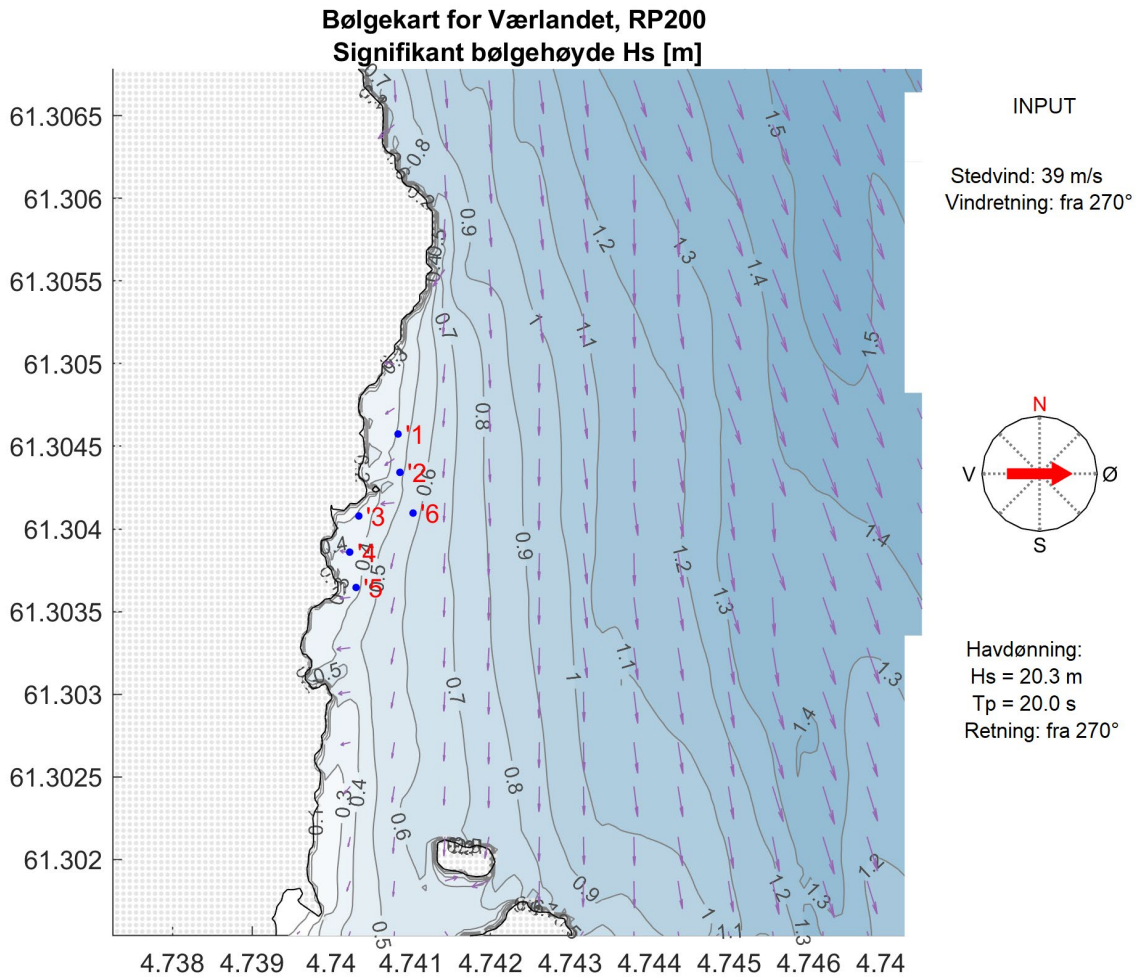
Den største bølgetilstanden med dønning oppstår når både dønning og vind kjem frå vest. Dette gir ei signifikant bølgehøgde på 0.8 m, med topperiode på 20.0 s.



Figur 5-1: Kart med bølgehøgd for vindbølger fra aust (90°). Figuren syner resultatet for 200 års gjentaksintervall i eit utsnitt av modellgrid 4. Utrekningspunkta er syna som blå prikkar.



Figur 5-2: Kart med bølgehøgde for dønning frå vest (270°). Figuren syner resultatet for 200 års gjentakintervall i eit utsnitt av modellgrid 4. Utrekningspunkta er syna som blå prikkar.



Figur 5-3: Kart med bølgehøyde for kombinasjonen av dønning frå vest (270°) og vind frå vest (270°). Figuren syner resultatet for 200 års gjentaksintervall i eit utsnitt av modellgrid 4. Utrekningspunkta er syna som blå prikkar.

Tabell 5-2: Dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentaksintervall for 8 vindretningar ytst på tilleggskaien (punkt 2).

Vindsektor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Hs	1.1	1.1	1.8	1.7	1.1	0.5	0.4	0.7
Lokal bølgeretning	17	86	95	95	116	185	14	14
Tp	6.8	4.2	5.2	5.1	3.8	2.1	7.7	6.7
Tm01	3.0	3.2	4.0	3.8	2.7	1.5	1.4	2.6
Tm-1.0	3.8	3.5	4.4	4.3	3.3	2.0	2.9	4.0



Tabell 5-3: Dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentakintervall for 8 vindretninger midt på tilleggs kaien (punkt 3).

Vindsektor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Hs	0.5	0.9	1.6	1.5	1.0	0.4	0.2	0.2
Lokal bølgeretning	77	95	98	101	116	179	248	59
Tp	3.4	4.2	5.2	5.0	3.7	2.0	7.8	7.5
Tm01	2.8	3.3	4.0	3.7	2.6	1.3	0.9	1.5
Tm-1.0	3.5	3.6	4.4	4.2	3.3	1.8	2.1	4.4

Tabell 5-4: Dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentakintervall for 8 vindretninger ved brukaret for ferjekaien (punkt 4).

Vindsektor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Hs	0.7	1.0	1.7	1.5	1.0	0.3	0.2	0.4
Lokal bølgeretning	77	86	98	98	113	179	269	29
Tp	3.0	4.2	5.2	5.0	3.7	2.0	7.7	7.2
Tm01	2.7	3.2	3.9	3.7	2.6	1.2	1.0	1.8
Tm-1.0	3.4	3.5	4.3	4.2	3.3	1.8	2.7	3.8

Tabell 5-5: Dimensjonerende bølgetilstand med 200 års gjentakintervall ytst på tilleggs kaien (punkt 4) for tre retninger med dønning og kombinasjonar av dønning og vindbølger.

Vindretning	-	-	-	225°	270°	315°
Dønningsretning	220	270	320	270	270	270
Hs	0.2	0.3	0.2	0.6	0.5	0.8
Lokal bølgeretning	51	103	47	185	53	15
Tp	15.4	19.9	17.1	20.0	20.0	20.0
Tm01	10.3	12.6	9.0	2.1	2.2	3.0
Tm-1.0	12.1	15.8	11.4	6.2	8.7	5.9

5.3 Overskylling

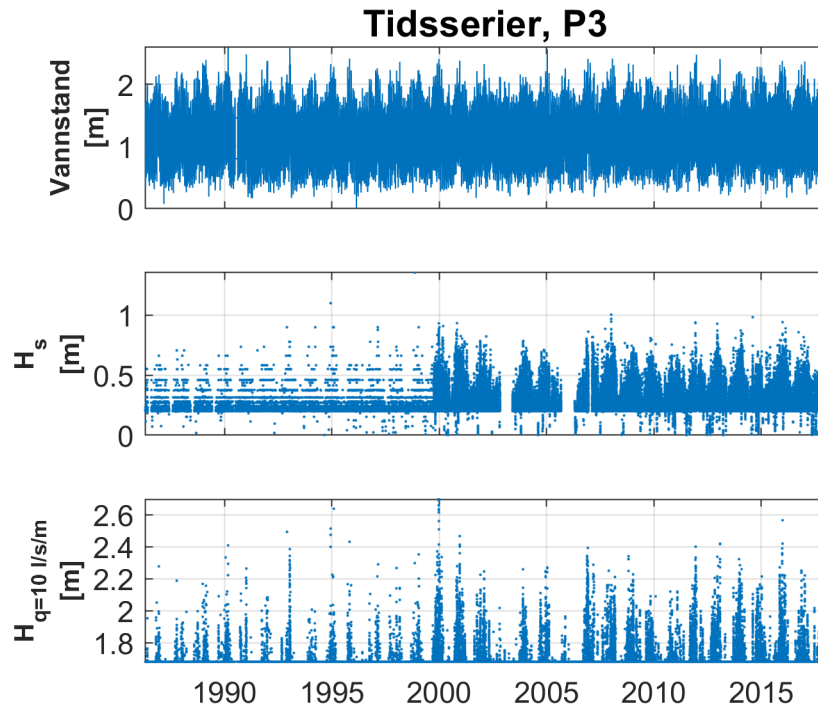
Døme på tidsserier av vasstand, signifikant bølgehøgde og høgde for oppskylling ($q = 10$ l/s/m) er synt i Figur 5-4 for Værlandet (P3). Figur 5-5 syner datagrunnlaget og kurve for ekstremverdianalysen av oppskyllingshøgde.

Oppskyllingshøgde med 1, 20 og 200 års returperiodar for ny ferjekai ved Værlandet for ulike nivå av overskyllingsrate er gitt i Tabell 5-6 (ytst på tilleggs kai), Tabell 5-7 (midt på tilleggs kai) og Tabell 5-8 (ved brukaret).

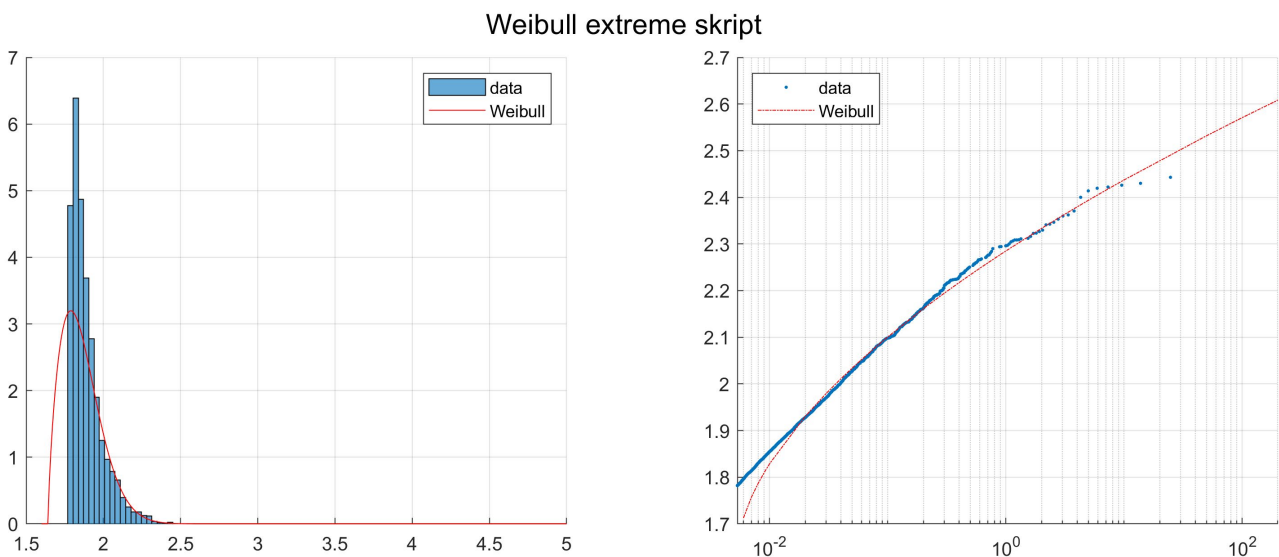
Ved kote 2.6 rel. NN2000 er overskyllinga innanfor akseptable nivå for vegen. Det er lagt til grunn at bilar vil halde låg fart og at det er lite trafikk ved eit ekstremvêr. For gåande og bygningsdelar som ikkje er budd på overskyllande bølger er tilstrekkeleg høgde 3.2 m.



Overskyllende bølger med høgd 2.3 m har ei utrekna kastelengde på 5 m. Ved større avstand frå kaien har bølgene mista skadepotensialet sitt. Vatn frå bølgene kan likevel skylle lenger inn på land. For allment publikum kan ferdsel nær sjøen medføre fare ved så stor overskylling.



Figur 5-4: Tidsserier av vasstand, signifikant bølgehøgd samt høgda for oppskylling ($q = 10$ l/s/m) ved Værlandet (P3).



Figur 5-5: Diagram over returperiode med høgda for oppskylling ($q = 10$ l/s/m) ved Værlandet (P4). Raude linjer syner tilpassningskurva for returperiode basert på Weibull tilpassing og blå verdier representerer modellert oppskyllingshøgd.



Tabell 5-6: Oppskyllingshøgd med gjentaksintervall (returperiode, RP) 1 år, 20 år, 100 år og 200 år ytst på tilleggskaien (punkt 2) for ulike nivå av oppskyllingsrate. Dimensjonerende verdier er markert i blått.

Overskyllingsrate q [l/s/m]	RP 1	RP 20	RP 200
0.1	3.3	4.2	4.9
1	2.9	3.5	4.0
10	2.4	2.8	3.0
100	2.2	2.6	2.9

Tabell 5-7: Oppskyllingshøgd med gjentaksintervall (returperiode, RP) 1 år, 20 år, 100 år og 200 år midt på tilleggskaien (punkt 3) for ulike nivå av oppskyllingsrate. Dimensjonerende verdier er markert i blått.

Overskyllingsrate q [l/s/m]	RP 1	RP 20	RP 200
0.1	2.7	3.2	3.6
1	2.5	2.8	3.0
10	2.3	2.5	2.6
100	2.2	2.5	2.8

Tabell 5-8: Oppskyllingshøgd med gjentaksintervall (returperiode, RP) 1 år, 20 år og 200 år ved ferjekaien (punkt 4) på Værlandet for ulike nivå av oppskyllingsrate. Dimensjonerende verdier er markert i blått.

Overskyllingsrate q [l/s/m]	RP 1	RP 20	RP 200
0.1	2.9	3.4	3.8
1	2.6	2.9	3.2
10	2.3	2.5	2.6
100	2.2	2.5	2.8



6 Tilråding for prosjektering

For tryggleiksklasse F2 i TEK17 §7-2 er dimensjonerande vasstand 2.4 m, som tilsvarer 200 års returverdi med klimapåslag for auka havnivå i år 2100. I tillegg må det takast omsyn til overskyllande bølger.

Ved kote 2.6 m er overskylling frå bølger innanfor akseptable nivå for vegen (Tabell 5-8). Det er lagt til grunn at bilar vil halde låg fart og at det er lite trafikk ved eit ekstremvær. For gåande og bygningsdelar som ikkje er budd på overskyllande bølger er tilstrekkeleg høgd 3.2 m.

For eksponerte område ved ferjekaien, som ligg under tilstrekkeleg høgd for overskylling på 3.2 m, er det tilrådd å setje inn avbøtande tiltak. Dette gjeld spesielt dersom det skal plasserast byggverk, teknisk infrastruktur eller gangveg i dette området. For bilar i låg fart kan større overskylling akseptrast, då er tilstrekkeleg høgd 2.6 m.

Døme på tiltak kan vere å auke avstanden til sjøen (toppen av fylling eller kaikant) eller brystvern som når opp til den tilrådde høgda. Brystvern kan til dømes vere jersey-blokker som er forankra til underlaget, plasstøpt betongmur eller store steinblokker. Døme på vellukka brystvern er å finne i Molohåndboka (Kystverket, 2018).

Kaien skal liggje på 2.3 m iht. handbok V431 for prosjektering av ferjekai. For ei kaihøgd på 2.3 m er utrekna kastelengd på bølgene 5 m. Det vil seie at etter dette har bølgene mista det meste av sitt skadepotensiale. Likevel kan betydelege mengder vatn nå forbi denne avstanden. Det vert tilrådd å ha fall og drenering mot sjøen slik at overskyllande vatn frå bølger ikkje samlar seg på kaiområdet.

Iht. N100 skal vegbanen liggje 0.5 m over dimensjonerande bølgetilstand, dvs. 3.1 m rel. NN2000. For området nærast kaien må dette høgdekravet fråvikast for å ivareta funksjonen til kaien. Dermed må ein vente at det kan bli betydeleg overskylling nedst på kaien.

Utover på tilleggskaien når overskyllinga høgare opp, og tilstrekkeleg høgd for å ivareta tryggleiken er 4.0 m for vanlige bygningsdelar som ikkje er førebudd på overskyllande vatn. Dersom det skal teknisk infrastruktur på tilleggskaien bør denne vere verna opp til denne høgda, og bygningselement bør vere dimensjonert for å tåle overskyllande bølger. Opp til 3.0 m må konstruksjonar vere dimensjonert for betydelege bølgekrefter. Tekniske bygg (t.d. ladetårn) bør ha ringmur i betong opp til denne høgda.



7 Referansar

- DIBK. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17)*. Direktoratet for byggkvalitet.
- DSB. (2024). *Havnivåstigning og høye vannstander i samfunnsplanlegging*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. DSB.
- Kartverket. (2024a). Stormflo og havnivå. Geonorge. Henta frå <https://kartkatalog.geonorge.no/>
- Kartverket. (2025). *sehavniva.no*. Henta frå Se havnivå.
- Kystverket. (2018). *Molohåndboka*.
- Kystverket. (2019). *Sjøkart - Dybdedata*. Nedlasting fra Geonorge, 2018.11.01.
- 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.
- 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 realtes structures*.



Appendiks A Bakgrunnsinformasjon om modellen

Modellen SWAN (2016) er nytta for å simulere bølgetilstand ved lokaliteten. Modellen tek omsyn til mange bølgeprosesser, så som:

- Avbøying pga dybdeendringar (refraksjon)
- Avbøying pga landformasjonar (diffraksjon)
- Grunningseffektar og brytning
- Bølge-bølge-interaksjon

Modellen er ein spektralmodell som simulerer generering og forplantning av ein bølgetilstand som består av fleire bølgeperiodar.

På grunn av at SWAN vert køyrt i stasjonær modus vert vindhastigheiten modifisert til ein såkalla "strøkvind", dvs. den midlare vindhastigheiten i tidsperioden fram til bølgefeltet blir stasjonært. Denne tidsperioden finn ein ved å rekne ut den kortaste tida det tek for bølgefeltet til å verte strøkbegrenset (Leenknecht, Szuwalski, & Sherlock, 1992). Strøkvinden vert utrekna som middelvind over denne perioden i henhold til NORSOK N-003. For retningar med korte strøk, vil strøkvinden vere midla over kortare tid (f.eks. 10 minutt) enn for retningar med lange strøk (f.eks. 3 timer).

Strøkvinden er utrekna med utgangspunkt i 10 minutters middelvind i 10 m høgd og strøkgeometrien.

For å ikkje overestimere vindbølgene for lange åpne strøk er vind først introdusert i modellsteg 2. Modellgriddet i modellsteg 2 er valgt så avstanden på det lengste åpne strøket tilsvare ca. 30 km. Ei strøklengde på 30 km tilsvare ein varigheit på ca. 3 timer for 30 m/s vind.

Forplantning av dønning er simulert ved å sette ein bølgetilstand skildra med JONSWAP spekter på grensa av det største utrekningsgriddet med spreingsparameter og spissheitsparameter (Smith, Resio, & Zundel, 1999).