

Tersan havyard- Stormflo og bølgeanalyse

Sammendrag/konklusjon

Havyard Leirvik AS planlegger å videreutvikle verftsområdet på Koren i Leirvik i Hyllestad kommune, Vestland fylke. I den forbindelse er Norconsult engasjert for å bistå med reguleringsplan for området disponert av oppdragsgiver. Denne rapporten inneholder beregninger av stormflo og bølger ved planområdet, og gir anbefalinger om sikker høyde og avstand fra sjøen for å tilfredsstille krav til sikkerhet mot flom fra havet for fremtidig utvikling av planområde.

Vurdering av stormflo og bølgeoverskylling opp imot kravene i TEK 17 §7-2 for sikkerhetsklasser F1 og F2 er utført. Ekstrem vannstand inkludert havnivåstigning i 2100 er beregnet, sammen med bølgeforhold for å vurdere dimensjonerende verdier for planområdet. Resultatene er inndelt i to delområder navngitt Koren-sør og Koren-øst på grunn av ulik eksponering mot bølger, og er oppsummert i Tabell 1 og Tabell 2 nedenfor.

Tabell 1 Oppsummering av resultatene for returperiode 200 år (sikkerhetsklasse F2)

Beregnet parameter for retur periode 200 år	Verdi	Kommentar
Stormflo for sikkerhetsklasse F2	+2,55 m over NN2000	Inkludert havnivåstigning i 2100 uten bidrag fra bølger. Gjelder alle delområder under
Koren - sør		
Signifikant bølgehøyde, H_s (m)	2,2	Underkant golv på minimum +2,55 m over NN2000 og en minste avstand på 10 m fra vannkanten.
Spektral topp-periode, T_p (s)	5,0	
Koren - øst		
Signifikant bølgehøyde, H_s (m)	1,4	Underkant golv på minimum +2,55 m over NN2000 og en minste avstand på 5 m fra vannkanten.
Spektral topp-periode, T_p (s)	5,0	
Kaier i planområdet		
Etablert på kote +2,55 m over NN2000 og under	Eksponert til sporadisk flom fra bølgeoverskylling under ekstremvær	Definert som flomsone
Merk: Avbøtende tiltak som mur/ bølgevoll kan vurderes for bygninger som ikke kan flyttes/ plasseres på trygg avstand anbefalt over på grunn av sin funksjon.		

Tabell 2 Oppsummering av resultatene for returperiode 20 år (sikkerhetsklasse F1)

Beregnet parameter for retur periode 20 år	Verdi	Kommentar
Stormflo for sikkerhetsklasse F1	+1,46 m over NN2000	Gjelder alle delområder. Uten bidrag fra bølger. Klimapåslag ikke tas med.
Koren - sør		
Signifikant bølgehøyde, H_s (m)	2,0	Underkant golv på minimum +1,46 m over NN2000 og en minste avstand 5 m fra vannkanten og sikret mot bølgeoppskyll opp til +2,6 m over NN2000.
Spektral topp-periode, T_p (s)	4,8	
Koren - øst		
Signifikant bølgehøyde, H_s (m)	1,3	Underkant golv på minimum +1,46 m over NN2000 og en minste avstand 5 m fra vannkanten og sikret mot bølgeoppskyll opp til +1,5 m over NN2000.
Spektral topp-periode, T_p (s)	4,8	
Merk: Avbøtende tiltak som mur/ bølgevoll kan vurderes for bygninger som ikke kan flyttes/ plasseres på trygg avstand anbefalt over på grunn av sin funksjon.		

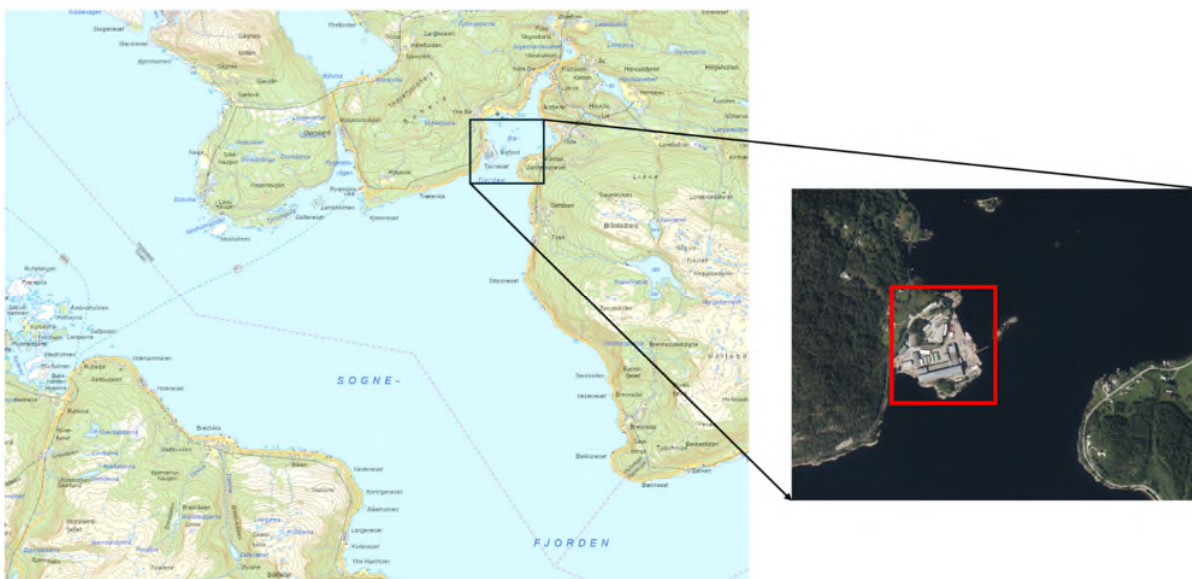
Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J01	2025-09-17	Til Oppdragsgiver	AruKam	MarTve	CorErs

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

1 Innledning

Havyard Leirvik AS planlegger å videreutvikle verftsområdet på Koren i Leirvik i Hyllestad kommune, Vestland fylke. I den forbindelse er Norconsult engasjert for å bistå med reguleringsplan for området disponert av oppdragsgiver. Figur 1 viser oversikt over planområdet. Flyfoto til høyre viser verftsområde med rød firkant.

Denne rapporten inneholder beregninger av stormflo og bølger ved planområdet, og gir anbefalinger om sikker høyde og avstand fra sjøen for å tilfredsstille krav til sikkerhet mot flom fra havet for fremtidig utvikling av planområdet.



Figur 1 Oversikt over planområdet. Verftsområdet er merket i rødt i flyfoto til høyre.

2 Lovverk for sikkerhet

Byggeteknisk forskrift (TEK17) [1] brukes for vurdering av tiltak som må iverksettes ved konstruksjon av nye bygg. TEK17 §7 omhandler naturpåkjenninger på bygninger, hvor TEK17 §7-2 er den styrende referansen for stormfløvvurdering. Det er tre ulike sikkerhetsklasser definert for stormflo: F1, F2 og F3. Tabell 3 beskriver de ulike definisjonene.

Tabell 3 Sikkerhetsklasser for flom

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Største nominelle årlig sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	Stor	1/1000

Sikkerhetsklassene i tabellen over forteller noe om konsekvensene ved en oversvømmelse, hvor byggverkets funksjoner og økonomiske skadekostnader er en del av denne konsekvensvurdering. Den samfunnsmessige funksjonen til bygget er også vurdert.

Sikkerhetsklasse F1 omfatter konstruksjoner som garasjer og lagerbygninger hvor det er lite personopphold. Ettersom konsekvensen av flom er liten for byggverk som plasseres i sikkerhetsklasse 1, legger forskriften opp til at det skal benyttes et stormflonivå med returperiode 20 år uten klimatillegg.

Sikkerhetsklasse F2 inkluderer de fleste konstruksjoner beregnet for varig personopphold f.eks. industriarbeidsplasser, boliger og kontorer og flomrisiko er estimert for en returperiode på 200 år inkludert havnivåstigning frem mot år 2100.

Sikkerhetsklasse F3 omfatter samfunnskritisk infrastruktur og konstruksjoner som må fungere også under en krise dvs. brannstasjoner, politistasjoner og helsestasjoner. Her skal det beregnes flomrisiko med 1000 års returperiode inkludert havnivåstigning frem mot år 2100.

Konstruksjoner ved verftsområdet legges til sikkerhetsklasse F2, ettersom de er beregnet for personopphold, samtidig som økonomiske konsekvenser ved skader på anlegget er betydelige, uten at samfunnsfunksjoner settes ut av spill.

3 Stormflo og havnivåstigning

Stormflo er betegnelse på fenomenet som innebærer at havnivået under spesielle værforhold kan bli meget høyt. De viktigste faktorene som gir opphav til stormflo er:

1. astronomisk tidevann. Spesielt under fullmåne og vår/høst jevndøgn
2. lavt luft-trykk
3. langvarig pålandsvind

Merk at stormflo ikke inkluderer effekter med kort varighet, som vanlige stormbølger (5-20 s periode) eller svingninger i havnebassenget (0,5 – 5 minutters periode).

Det er observert at det alminnelig middelvann-nivået i havet stiger på global basis og denne utviklingen ventes å fortsette innenfor det neste 100 år. Havnivåstigningen er beregnet med utgangspunkt i anbefalingene fra DSBs veileder Havnivåstigning og høye vannstander i samfunnsplanlegging [2], som innebærer bruk av utslippsscenarioet SSP 3-7.0, sammen med 83.-persentilen av det sannsynlige utfallsrommet.

Data for havnivå er hentet fra se havnivå [3] for planområdet og vist i Tabell 4

Tabell 4 Uthentede havnivåer for tidevann, stormflo og havnivåstigning fra se havnivå [3]

Vannstands nivå	Høyde over NN2000 [cm]
20-års stormflo i 2024	129
200-års stormflo i 2024	142
1000-års stormflo i 2024	150
200-års stormflo med havnivåstigning i 2100 (F2)	221
1000-års stormflo med havnivåstigning i 2100 (F3)	229
Høyeste astronomiske tidevann	87
Høyeste observerte vannstand (Bergen)	143

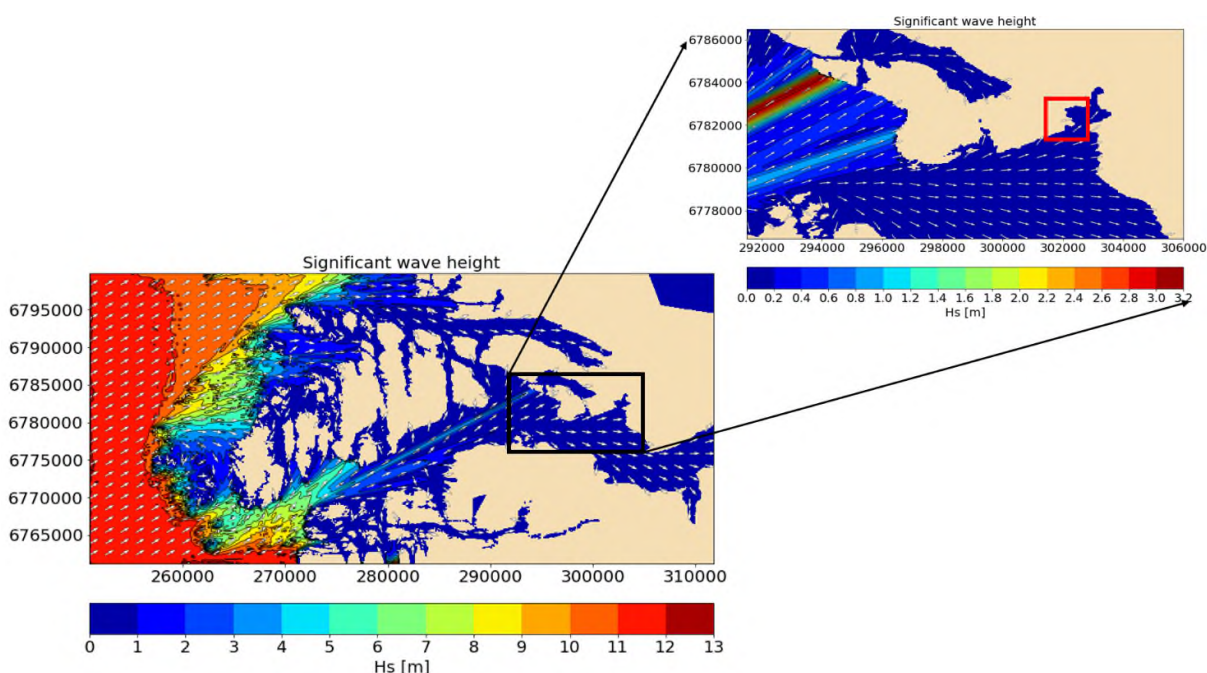
Tabell 4 viser at den høyeste observerte vannstanden er høyere enn høyvann med returperiode 200 år, selv om måleperioden er betydelig kortere. I slike tilfeller bruker vi beregninger for vannstands nivåer utgitt av Norsk Klimaservicesenter [4]. Utregnede verdier er vist Tabell 5. De utregnede verdier gir et mer robust estimat for fremtidig flomnivå. Det anbefales derfor å legge dimensjonerende vannstand til 255 cm over NN2000.

Tabell 5 Utregnede havnivåer beregnet etter formler fra Norsk Klimaservicesenter [4]

Vannstands nivå	Høyde over NN2000 [cm]
20-års stormflo i 2024	146
200-års stormflo i 2024	176
1000-års stormflo i 2024	199
Havnivåstigning i 2100 etter SSP 3-7.0 (83. persentil)	79
200-års stormflo med havnivåstigning i 2100 (F2)	255
1000-års stormflo med havnivåstigning i 2100 (F3)	278

4 Bølgeanalyse

Dønningsbølger som kan komme fra åpent hav mot planområdet er estimert ved hjelp av fase-midlende bølgemodell SWAN [5]. Figur 2 viser resultatene fra modellen for dønningsbølger for returperiode 200 år med signifikant bølgehøyde $H_s = 12,7$ m med tilhørende spektral topp-periode $T_p = 12$ s som kommer fra retning sørvest (240°). Modellen er kjørt med en gitteroppløsning på 50 m x 50 m for det større området vist til venstre i Figur 2 og med finere oppløsning på 20 m x 20 m i nærområdet vist til høyre i figuren. Planområdet er merket i rødt i nærbildet. Dønningsbølger som kommer inn i Sognesjøen treffer halvøya ved Risnesøyna/Nesje vest for planområdet. Dønningsbølgene som når planområdet er derfor neglisjerbare i størrelse.



Figur 2 Resultater fra bølgemodell for ekstrem havdønninger for returperiode 200 år med $H_s = 12.7$ m og $T_p = 12$ s fra retning sørvest (240°). Nærbildet viser bølger estimert i nærheten av planområdet. Planområdet er merket i rødt i nærbildet til høyre.

Området er eksponert mot vindsjøbølger som kommer fra åpne strøk sør for planområdet. På grunn av utforming til halvøya og åpningen til fjorden er sørlige og østlige delene av planområdet eksponert mot ulike bølgeforhold. Figur 3 viser inndeling av planområdet i deler nevnt «Koren-sør» og «Koren-øst».

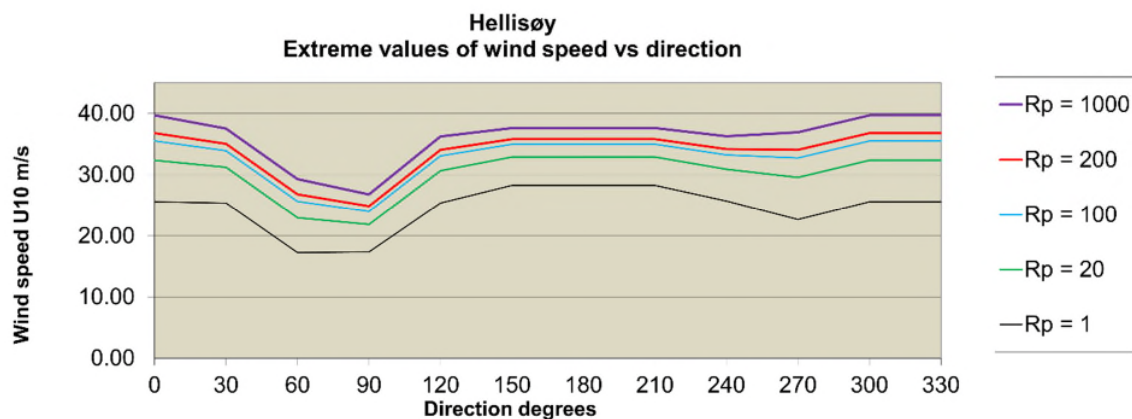
Vinddata for beregning av vindsjøbølger er hentet fra nærliggende målestasjon på Hellisøy som ligger ca. 50 km til sørvest for planområdet.



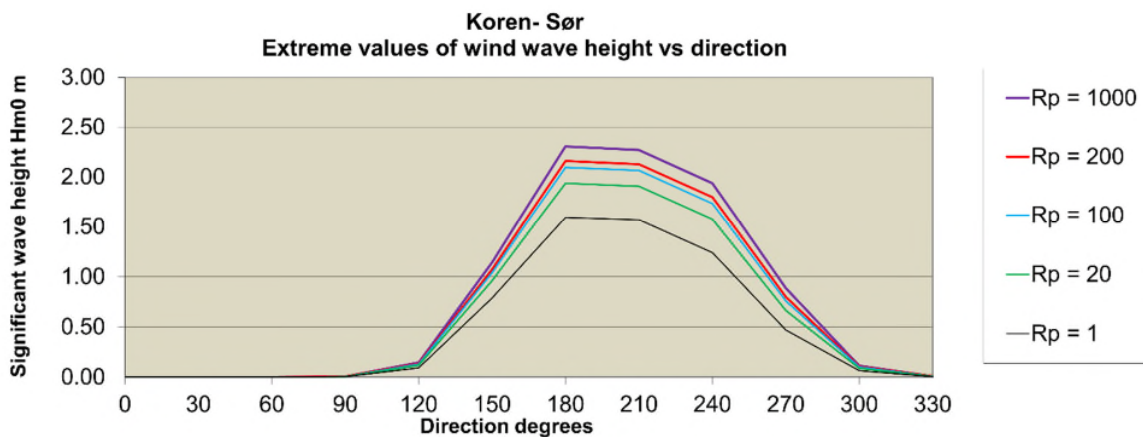
Figur 3 Ulike deler av planområder som er eksponert til ulike bølgeforhold. Området merket i rødt er referert som "Koren-sør" og området merket i gult er referert som "Koren-øst" i rapporten.

Figur 4 viser fordeling av ekstreme vindhastigheter over retninger basert på målinger i perioden 1980-2005.

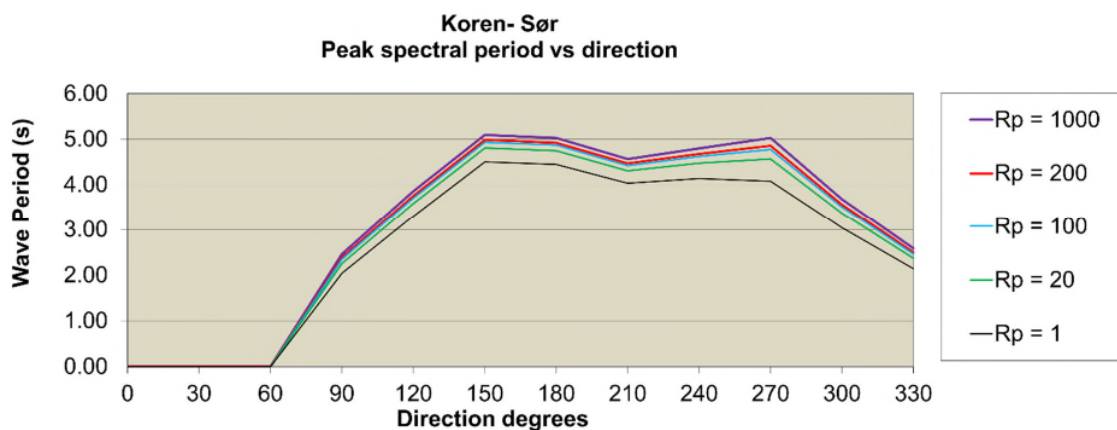
Strøklengdeanalyse er utført ved hjelp av HSCOMP, en programvare utviklet av SINTEF for å beregne vindsjøbølger. Fordeling av signifikant bølgehøyder ved den sørlige delen av planområdet er vist i Figur 5. Fordeling av tilhørende spektral topp-periode over retning er vist i Figur 6.



Figur 4 Fordeling av ekstreme vindhastigheter over retning for ulike returperioder. Rp er returperiode i år.



Figur 5 Fordeling av signifikant bølgehøyder over retning for ulike returperioder for den sørlige delen av planområdet. Rp er returperiode i år



Figur 6 Fordeling av spektral topp-periode som tilhører bølgehøyder vist i Figur 5. Rp er returperiode i år

Analysen viser den sørlige delen av planområdet får signifikant bølgehøyde med returperiode 200 år $H_{s,200} = 2,2$ m med tilhørende spektral topp-periode $T_p = 5,0$ s som kommer fra retning sør (180°). Beregningene også viser at bølger fra med $H_{s,200} = 2,2$ m med tilhørende spektral topp-periode $T_p = 4,5$ kan også komme fra retning sør-sørvest (210°).

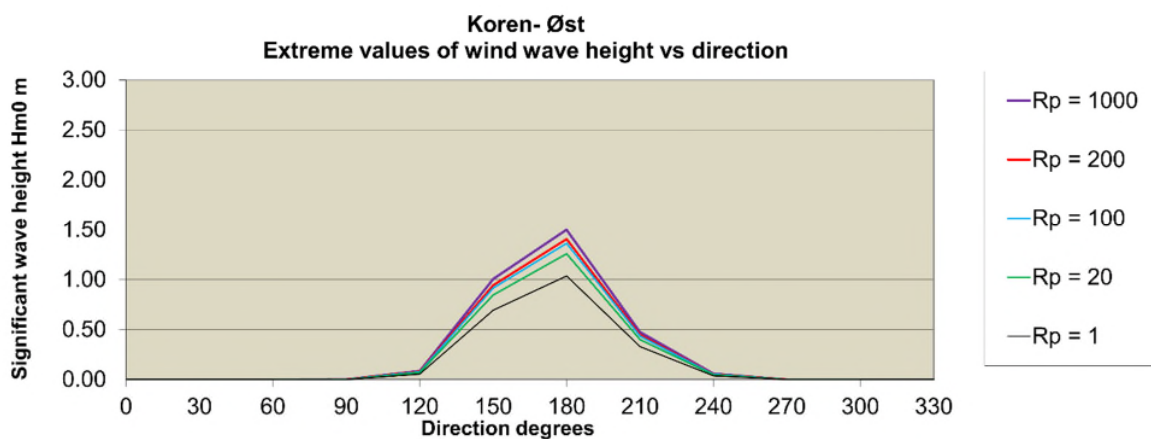
En skjermingsanalyse er utført for å estimere bølger som treffer den østlige delen av planområdet. Figur 7 viser fordeling av signifikant bølgehøyder ved den østlige delen av planområdet. Tilhørende spektral topp-periode er vist i Figur 8.

Analysen viser at dimensjonerende bølger for den østlige delen av planområdet har signifikant bølgehøyde $H_{s,200} = 1,4$ m med tilhørende spektral topp-periode $T_p = 5,0$ s og kommer fra retning sør (180°).

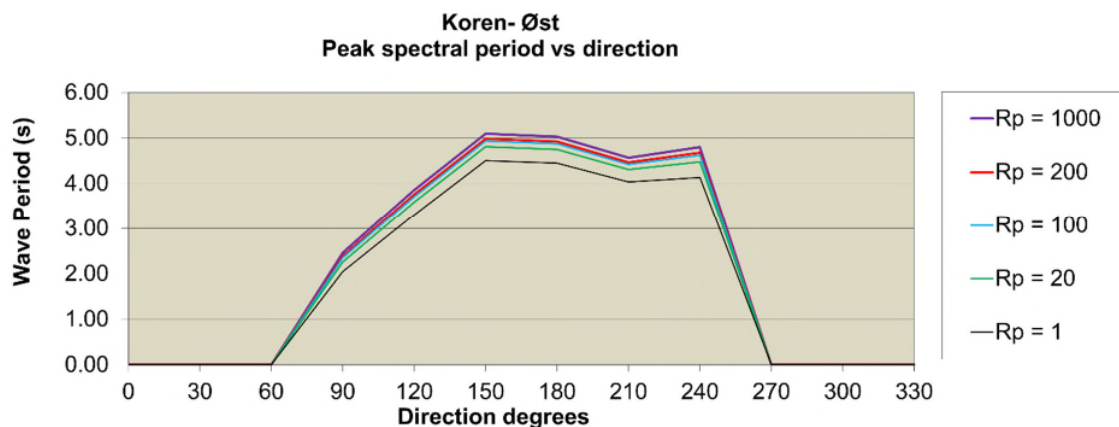
En oppsummering av bølgeberegningene for de to ulike deler av planområdet er vist i Figur 3 for returperiode 200 år og 1000 år er vist i Tabell 6.

Tabell 6 Oppsummering av signifikant bølgehøyder og tilhørende spektral topp-periode og retning for de to områdene vist i Figur 3

Område	Rp (år)	Hs (m)	Tp (s)	Retning (°)
Sør	20	2,0	4,8	180°
	200	2,2	5,0	
	1000	2,3	5,0	
Øst	20	1,3	4,8	180°
	200	1,4	5,0	
	1000	1,5	5,0	



Figur 7 Fordeling av signifikant bølgehøyde over retning for ulike returperioder for den østre delen av planområdet. Rp er returperiode i år.



Figur 8 Fordeling av spektral topp-periode som tilhører bølgehøyder vist i Figur 7

5 Samlet vurdering stormflo og bølger

For fleste byggverk som boliger og kontorbygg, gjelder sikkerhetsklasse F2, som betyr at alle beregningene er gjennomført med et gjentakintervall på 200 år. Stormflo-nivået inkluderer forventet havnivåstigning frem mot år 2100.

Figur 9 viser en oversikt over planområdet hvor terrenget under F2-nivå (2,55 m over NN2000) er merket med gul farge.



Figur 9 Oversikt over planområdet med terreng under F2 nivå merket i gult

5.1 Koren sør

Byggverk ved Koren sør merket som A, B og C i Figur 9 må sikres mot ekstrem vannstand ved å bygge med en minimumshøyde ved underkant golv på +2,55 m over NN2000.

I tillegg er det beregnet at området er eksponert mot vindsjøbølger med returperiode 200 år med signifikant bølgehøyde $H_{s, 200} = 2,2$ m og tilhørende spektral topp-periode $T_p = 5,0$ s. Det er rimelig å anta at dimensjonerende stormflo og bølger opptrer samtidig.

Bølger som treffer land medfører oppskylling og vann (flom) inn på land. Slik flom kan føre til skader på bygninger i form av vannskader, slagskader, og skader som følge av at flytende objekter kastes mot bygningene. Vannet utgjør også en fare for personer som befinner seg i området og for kjøretøy. For å unngå skader fra slike hendelser kan bygninger bli oppført i en sikker avstand fra vannkanten. Tilstrekkelige høyde og avstand er beregnet ved bruk av veiledende verdier for vannmengden som tillates å skylle over land.

Veiledende referanse EurOtop [6] anbefaler maksverdi på tillat bølgeoverskylling på 1 l/s/m for å unngå skader på uforberedte bygningsdeler. Vi mener likevel at enkle tiltak på bygningskroppen kan heve tålegrensen opp til 10 l/s/m. Derfor er 10 l/s/m brukt som overskyllingsgrense i beregningene.

Bygninger ved Koren sør oppføres på minimum høyde +2,55 m over NN2000 og med en minste avstand på 10 m fra vannkanten. Dette gjelder for byggverk omfattet av sikkerhetsklasse F2 og tar høyde for både 200-års stormflo (inkludert havnivåstigning i 2100) og overskylling fra bølger med en returperiode 200 år. Avbøtende tiltak som mur/ bølgevoll kan vurderes for bygninger som ikke kan flyttes/ plasseres på trygg avstand anbefalt over. Terrenget må ha fall eller andre dreneringsløsninger som hindrer at vann fra bølger magasinerer seg mot bygningene.

5.2 Koren øst

Byggverk ved Koren øst merket som D i Figur 9 må sikres mot ekstrem vannstand ved å bygge med en minimumshøyde ved underkant golv på +2,55 m over NN2000.

I tillegg er det beregnet at området er eksponert mot vindsjøbølger med returperiode 200 år med signifikant bølgehøyde $H_{s, 200} = 1,4$ m og tilhørende spektral topp-periode $T_p = 5,0$ s. Sikker avstand fra kystlinjen er anbefalt ved å bruke 10 l/s/m som overskyllingsgrense fra disse bølgene.

Bygninger ved Koren øst oppføres på minimum høyde +2,55 m over NN2000 og med en minste avstand på 5 m fra vannkanten. Dette gjelder for byggverk dekket av sikkerhetsklasse F2 og tar høyde for både 200-års stormflo (inkludert havnivåstigning i 2100) og overskylling fra bølger med en retur periode 200 år. Avbøtende tiltak som mur/ bølgevoll kan vurderes for bygninger som ikke kan flyttes/ plasseres på trygg avstand anbefalt over Terrenget må ha fall eller andre dreneringsløsninger som hindrer at vann fra bølger magasinerer seg mot bygningene.

5.3 Kaiområder

Kaier er ikke dekket av TEK17s flomklasser hvis det ikke står bygg på dem, og ei kai kan ha den høyden som den må ha for å tjene formålet. Høyde på kai bestemmes sammen med sluttbruker og/ eller basert på hvilke fartøy skal ligge fortøyd. **Kaiområde defineres som flomsone og må bygges for å tåle oversvømmelse og krefter fra bølger.** For byggverk omfattet av sikkerhetsklasse F2 og tilknyttet kaier må de plasseres i en trygg avstand og høyde som anbefalt i avsnitt 5.1 og 5.2 over.

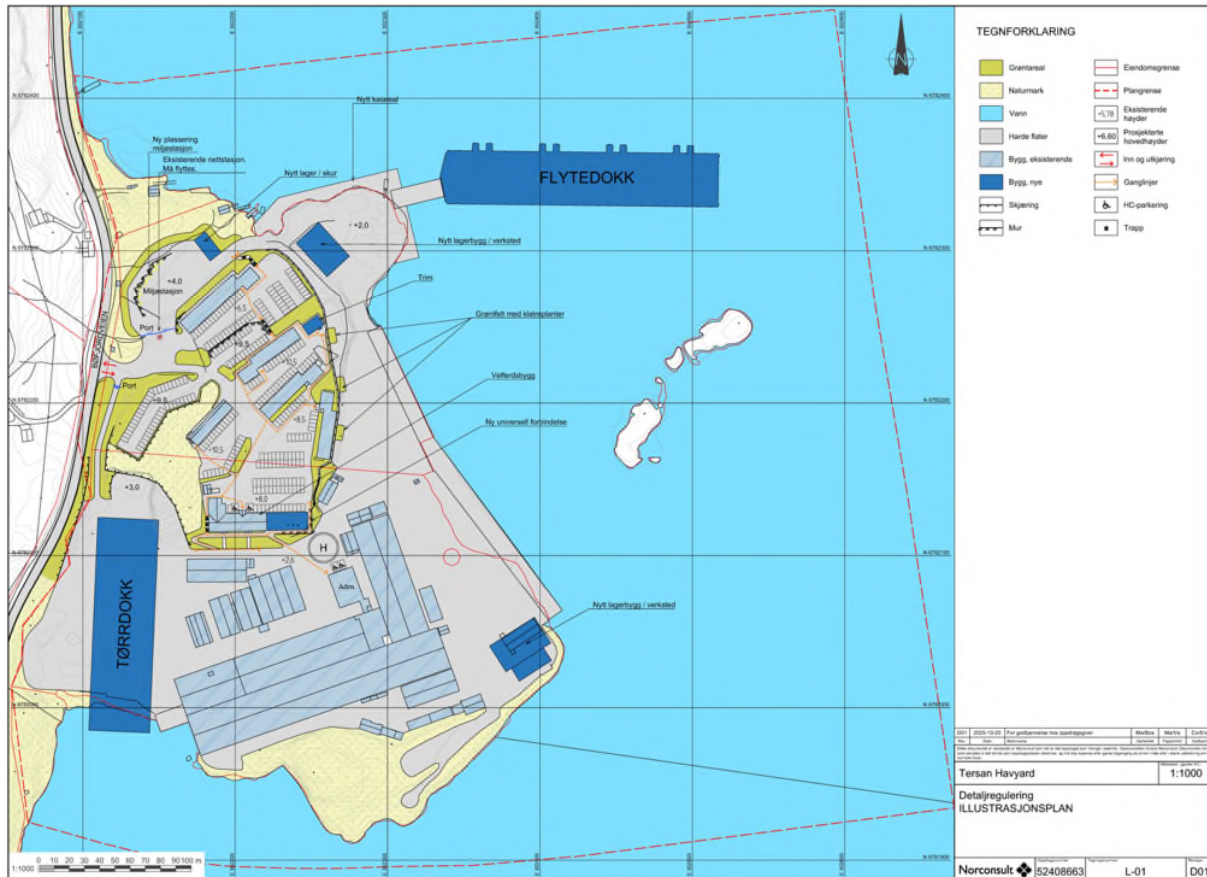
5.4 Mindre bygg i faresonen

Illustrasjonsplanen vist i Figur 10 viser at noen mindre bygg kan bli plassert i faresonen for stormflo beregnet for sikkerhetsklasse F2. Byggverk som tørrdokk er ikke dekket av TEK17s sikkerhetsklasser og plasseres slik at den kan tjene formålet. Byggverket skal dimensjoneres slik at den kan tåle oversvømmelse og bølgekrefter.

Lagerbygninger med lite personopphold inngår i sikkerhetsklasse F1. Bygninger sikres mot stormflo med returperiode 20 år uten klimapåslag. Slike bygninger kan oppføres på minst høyde +1,46 m over NN2000. Med utgangspunkt i 10 l/s/m som maksimalt tillat bølgeoverskylling, en sikker avstand på 5 m fra vannkanten og sikret mot bølge oppskyll opptil +2,6 m over NN2000 er anbefalt for slike bygg ved Koren - sør. Terrenget må ha et fall eller andre dreneringsløsninger slik at vann fra bølgeskylling ikke magasinerer mot bygget.

Ved Koren – øst er det anbefalt at slike bygninger oppføres på minst høyde 1,46 m over NN2000 og en sikker avstand på 5 m fra vannkanten. Bygningen skal sikres mot bølge oppskyll opptil +1,5 m over NN2000.

Om et bygg må plasseres nærmere vannkanten på grunn av sin funksjon kan andre avbøtende tiltak vurderes.



Figur 10 Illustrasjonsplan for planområdet

6 Referanser

- [1] Direktoratet for byggkvalitet, «Veiledning om tekniske krav til byggverk,» 2017.
- [2] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Havnivåstigning og høye vannstander i samfunnsplanlegging, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), 2024.
- [3] Kartverket, «Se havnivå i kart - en karttjeneste for stormflo og havnnivåstigning,» [Internett]. Available: <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>.
- [4] M. J. Simpson, J. E. Nilsen, O. R. Ravndal, K. Breilli, H. Sande, H. P. Kierulf og O. Vestøl, Sea level change for Norway: past and present observations and projections to 2100, Norwegian Centre for Climate Services, 2015.
- [5] N. Booij, L. H. Holtuisen og R. C. Ris, «The "SWAN" wave model for shallow water,» *Coastal Engineering*, pp. 668-676, 1996.
- [6] EurOtop, «Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual,» 2018.