

VEDLEGG

---

# Del av områdereguleringsplan for Kristiansholm, Sandvikstorget og Rosegrenden

---

NEUMANNTOMTEN

---

- Notat- Bølger og stormflo

Oppdragsgiver: **OBOS Nye Hjem**

Oppdragsnr.: **5209593** Dokumentnr.: **1**

Til: Kristine Lileng Holene

Fra: Arne E Lothe

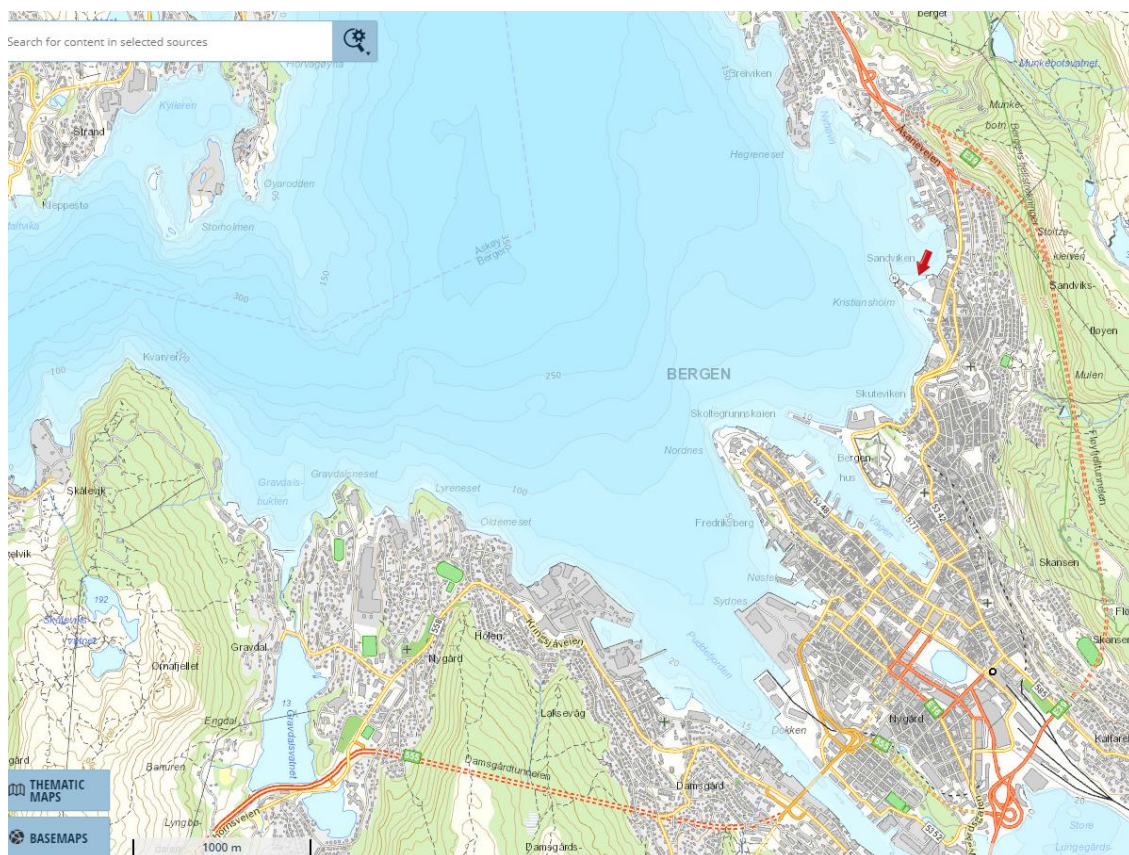
Dato: 2021-01-12

## ► Bølger og stormflo ved Kristiansholm, Bergen

### INNLEDNING

OBOS Nye Hjem AS prosjekterer en utbygging av boliger ved det området som kalles Kristiansholm i Sandviken i Bergen. Stedet var opprinnelig en holme som har vært befestet, men holmen er senere gjort landfast og det har vært drevet ulike former for industri og handel på tomta. Prosjektet er vist i Figur 1 - Figur 3.

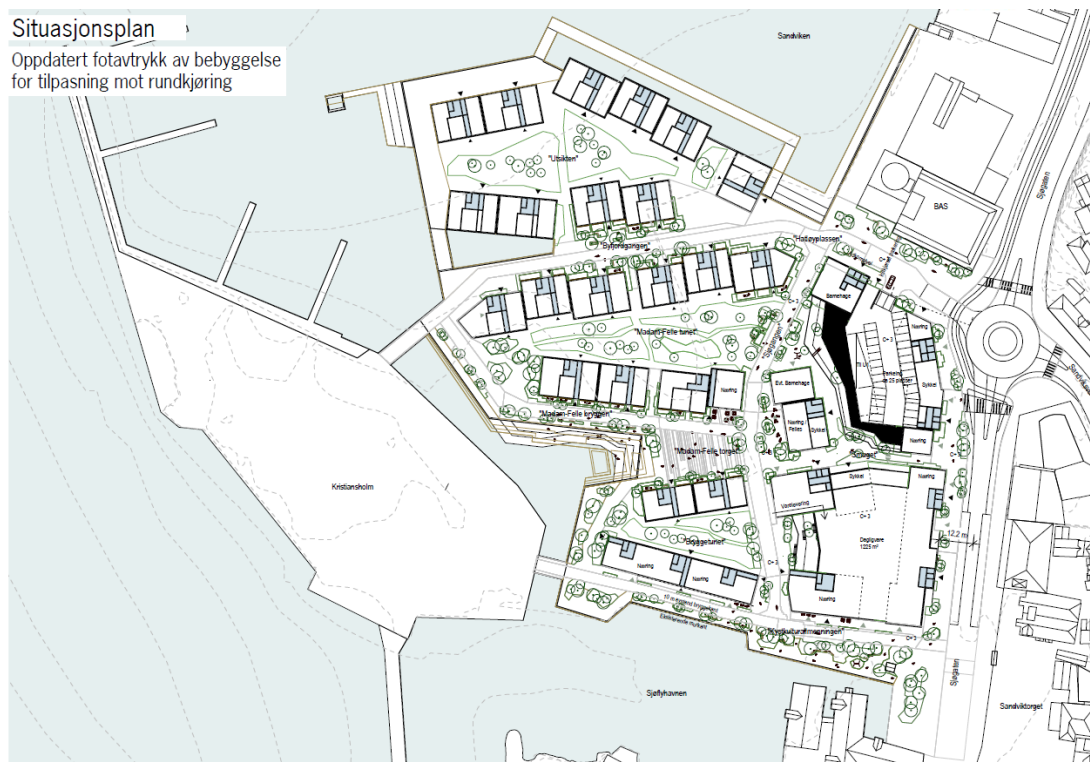
I dette notatet undersøkes stormflo og bølgebelastning mot området. Disse størrelsene skal brukes til å bestemme nødvendige byggehøyder på området. Vi antar at hele boligområdet er dekket av bestemmelsene i TEK17, Flomklasse F2. F2 gjelder alle bygg og områder med permanent menneskelig opphold.



Figur 1 Bergen sentrum med Sandviken og Kristiansholm markert



Figur 2 Skisse av områdeutbyggingen. Prosjektet omfatter bare halvøya og holmen, ref. Figur 3



Figur 3 Plan for utbygging av området. Kristiansholm som holme re-etableres ved at det graves ut en kanal mellom boligområdet og planlagt friområde på holmen.

## DATAGRUNNLAG

Datagrunnlaget for analysene i dette notatet er følgende.

1. Skisser, kart og planer som vist i plandokument levert av OBOS Nye Hjem, (1).
2. Dybdedata for Byfjorden - primærdata levert av Kartverket
3. Vindobservasjoner fra Flesland flyplass 1980 – 2011, hentet fra met.no
4. Vannstandsobservasjoner fra Bergen, tidevannstabeller, fra Kartverket

## METODE

### **Stormflo**

Stormflo er beregnet ved å hente inn data fra Bergen og ekstrapolere disse data opp til returperiode  $R_p = 200$  år som krevet i TEK17. Deretter er det lagt til forventet netto heving av middelvann i havet fram til 2090, med antatt klimagass-utslipp i hht utslippsscenario RCP8.5 (høyt utslipp) og ensemblespredning 95 % (ekstremverdi) (ref. 3).

### **Bølger**

Bølgene er beregnet ved å ta utgangspunkt i vind-data for Flesland flyplass. Det er laget statistikk for vind innenfor 30° sektorer, og bølgehøyder for hver sektor er beregnet.

Det er også utført kontroll-beregninger av bølgene med en numerisk modell.

### **Høydeberegninger**

Beregninger av nødvendig høyde tar utgangspunkt i en tilstand med ekstremt høy vannstand der det også forekommer ekstreme bølger. For hele Vestlandet må man regne med at det er sammenfall mellom sterk vind, høye bølger og høy vannstand.

Beregningen gir et estimat på overskyllingsrater, gitt som liter pr sekund pr lengdemeter kaifront (l/(sm)). Metoden og akseptkriterier er gitt i (ref. 4).

## ANALYSERESULTATER

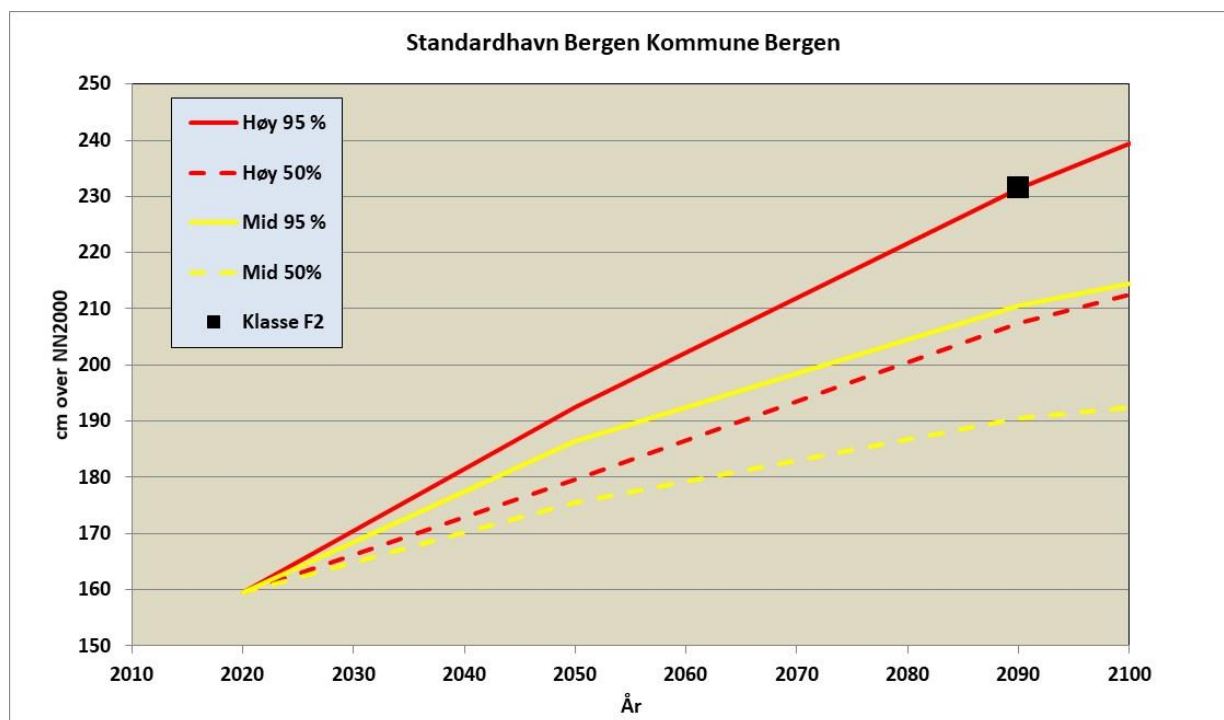
### Stormflo

Forventet utvikling av vann-nivå med 200 års returperiode i Bergen er vist i Figur 4. Ekstremverdien ved 200-års returperiode forventes å stige fra 160 cm NN2000 i 2020 til 193 cm NN2000 i 2050, og til 232 cm NN2000 i 2090.

Til sammenligning er høyeste observerte vannstand i Bergen 143 cm NN2000 fra 1990-02-27.

Merk at estimatet i Figur 4 (232 cm NN2000) er noe høyere enn det offisielle estimatet på 206 cm NN2000 fra [www.sehavnivaa.no](http://www.sehavnivaa.no). Det skyldes at estimatet i [www.sehavnivaa.no](http://www.sehavnivaa.no) for 200 års vannstand i 2020 er spesielt lavt på bare 135 cm NN2000, hvilket er 8 cm lavere enn høyeste målte verdi på 143 cm NN2000. Det er ikke teoretisk sett umulig, men svært urimelig at den høyeste målte verdien i løpet av ca. 100 år skal ha en returperiode på over 1000 år.

Vi velger derfor å anta at 200-års verdien i 2020 er 160 cm NN2000. Det antatte tillegget for klimaendringer fram til 2090 er det samme for begge metoder, og er gitt i (ref.25). Vår konklusjon er derfor at korrekt stormflohøyde for Klasse F2, Bergen kommune = 232 cm NN2000.



Figur 4 Forventet utvikling av vannstand for 200-års returperiode i Bergen. Estimater for Klasse F2 er vist med svart markør.



## Bølger

Det forekommer ikke havbølger (dønning) fra åpent hav på det aktuelle stedet. De bølgene som kan opptre, er vindgenererte bølger som er dannet av vind som blåser over Byfjorden fra krysset mellom Herdlefjorden, Salhusfjorden og Byfjorden i nord og fra Askøybrua i vest.

I analysen har vi antatt at vinden kan komme fra alle retninger, men at det ikke blir generert bølger av betydning i sektoren  $45^\circ - 165^\circ$ . Videre er beregningen basert på følgende.

- A. Vindhastigheten er uendret fra Flesland til Byfjorden. De to stedene har omtrent samme eksponering med hovedretning nord-sør. Denne antakelsen er svakt konservativ fordi Flesland ligger forholdsvis høyt i terrenget, og noe lenger ut mot åpent hav.
- B. Det er antatt at vindretningen kan endre seg med inntil én  $30^\circ$  sektor i ugunstig retning.
- C. Vinden som er beregnet, er den høyeste 10 min middelvind som vil forekomme under en storm med 3 timers varighet. Ved beregning av bølger, er vinden justert slik at den tilsvarer middelvinden over en så lang periode som er nødvendig for at den gitte bølgehøyden skal oppnås.
- D. Bølger fra nord og nordvest vil bare kunne komme inn mot Kristiansholm dersom de dreier rundt kystkonturen fra Helleneset til Hegreneset.

Resultat fra beregningene av vindhastighet for Flesland/Byfjorden, signifikant bølgehøyde<sup>1</sup> ved Kristiansholm og spektral topp-periode<sup>2</sup> ved Kristiansholm er vist i Figur 5, Figur 6 og Figur 7.

Figur 8 og Figur 9 viser resultat av den numeriske beregningen for området. Figurene viser bølgehøyder ved vind 25 m/s fra henholdsvis vest og  $330^\circ$  (NNV).

Bølger fra NV – N sektor er preget av skjermingen fra kystkonturen mellom Helleneset og Hegreneset. I tillegg vil moloen som er bygget fra nord-enden av holmen gi mye dekning til anleggets nordside.

På sørsiden er det en trang åpning som er åpen rett mot vest og som går inn til det som kalles Sjøflyhavna.

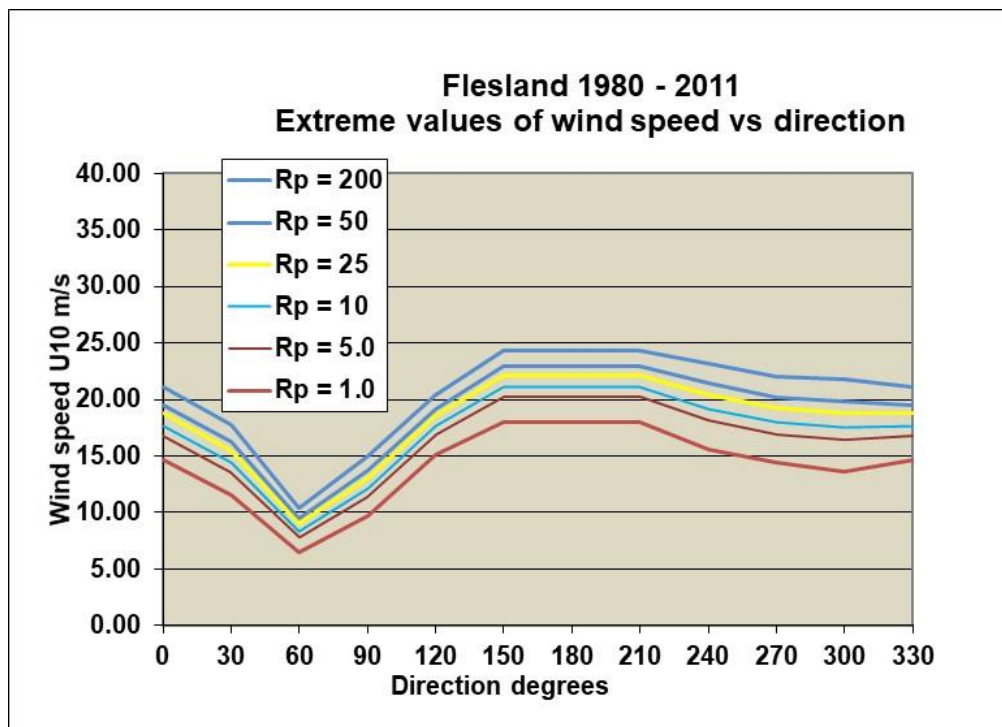
Den modellen som er vist i Figur 8 og Figur 9 er for grov ( $40 \times 40 \text{ m}^2$ ) til å gi et fullstendig bilde av forholdene rundt Kristiansholm. Den modellen er derfor komplettert med en mer detaljert modell over et mindre område, se Figur 10 og Figur 11. Denne modellen har en oppløsning på 4.0 i de grunneste områdene, og er derfor bedre egnet til å analysere bølger på små områder i trange farvann.

Ve henter nå bølgene fra den forrige modellen i et punkt midtfjords (Figur 6), og sender disse bølgene videre inn i neste modell. Resultatet er vist i Tabell 1. Tabellen viser følgende parametere:

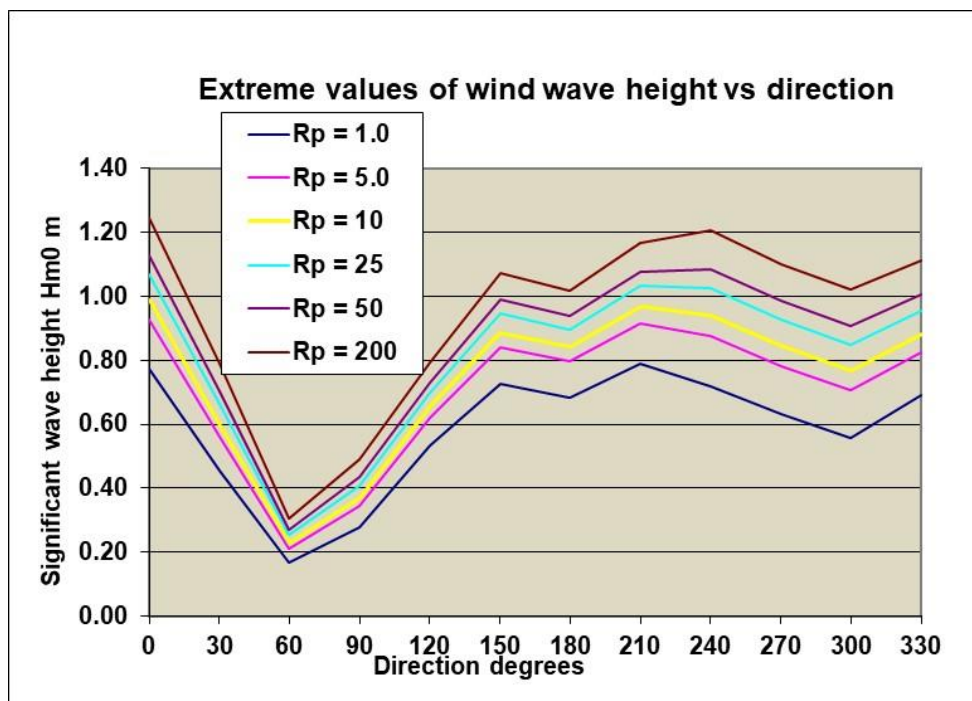
- Signifikant bølgehøyde  $H_{m0}$ , middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en storm eller registrering. Den høyeste enkeltbølgen innenfor en slik storm er ca  $2.0 H_{m0}$ .
- Spektral topp-periode  $T_p$ , perioden i et bølgespektrum der det finnes mest energi

<sup>1</sup> Signifikant bølgehøyde ( $H_s$  eller  $H_{m0}$ ) er definert som middelverdien av den høyeste 1/3 av alle bølger i en registrering. Innenfor en slik registrering vil den høyeste bølgen være  $H_{\max} \approx 2H_s$ .

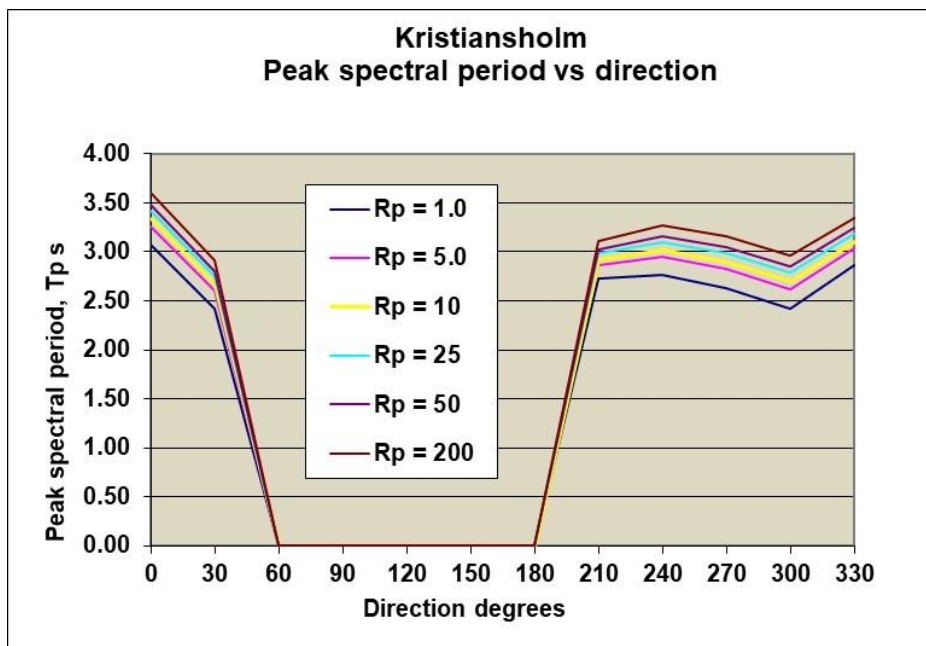
<sup>2</sup> Spektral topp-periode er den bølgeperioden i spekteret der man finner mest bølge-energi, og den vil oppfattes som den dominerende perioden.



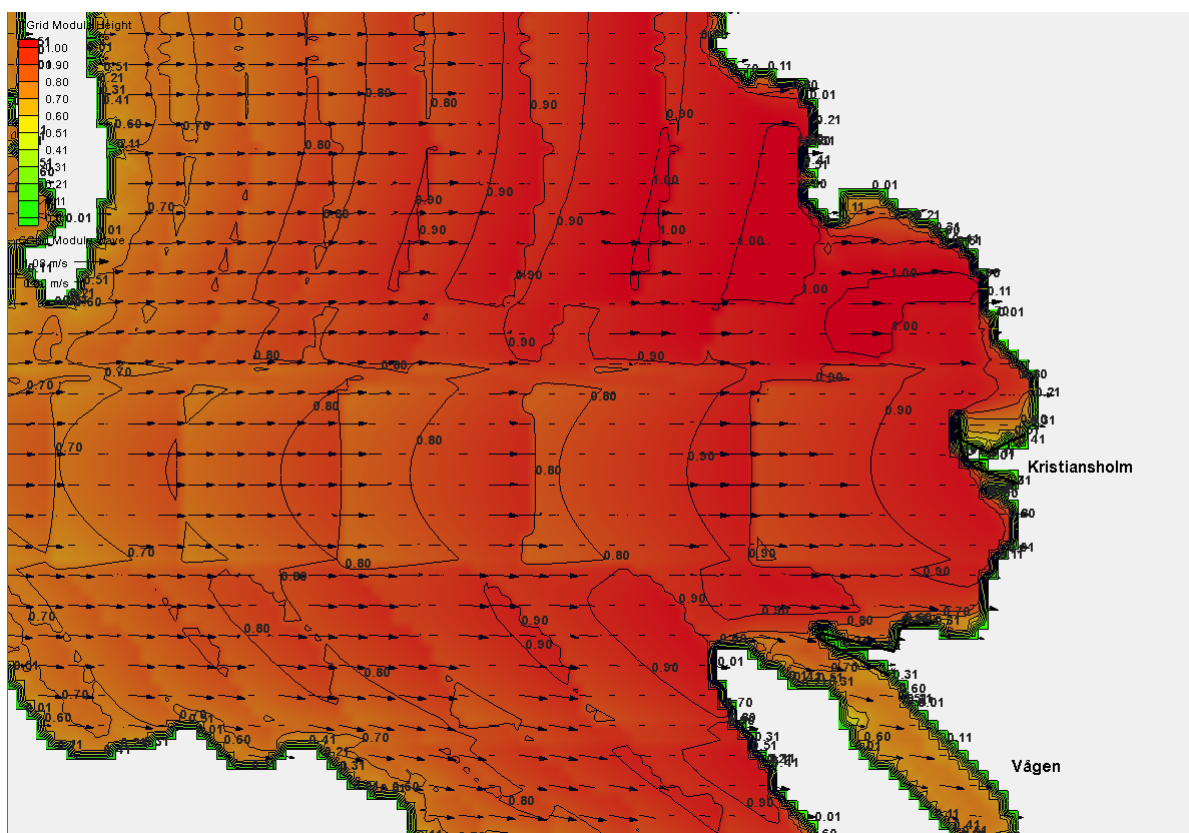
Figur 5 Fordeling av ekstreme vindhastigheter ved Flesland 1980 – 2011. Rp er returperiode i år. Den angitte vindhastigheten er den høyeste 10 min middelvind som kan forekomme under en storm av 3 timers varighet. Retningen er retningen som vinden (og bølgene) kommer fra, der 0° = nord, 90° = øst, osv.



Figur 6 Fordeling av ekstrem signifikant bølgehøyde i et punkt midtfjords rett vest for Kristiansholm

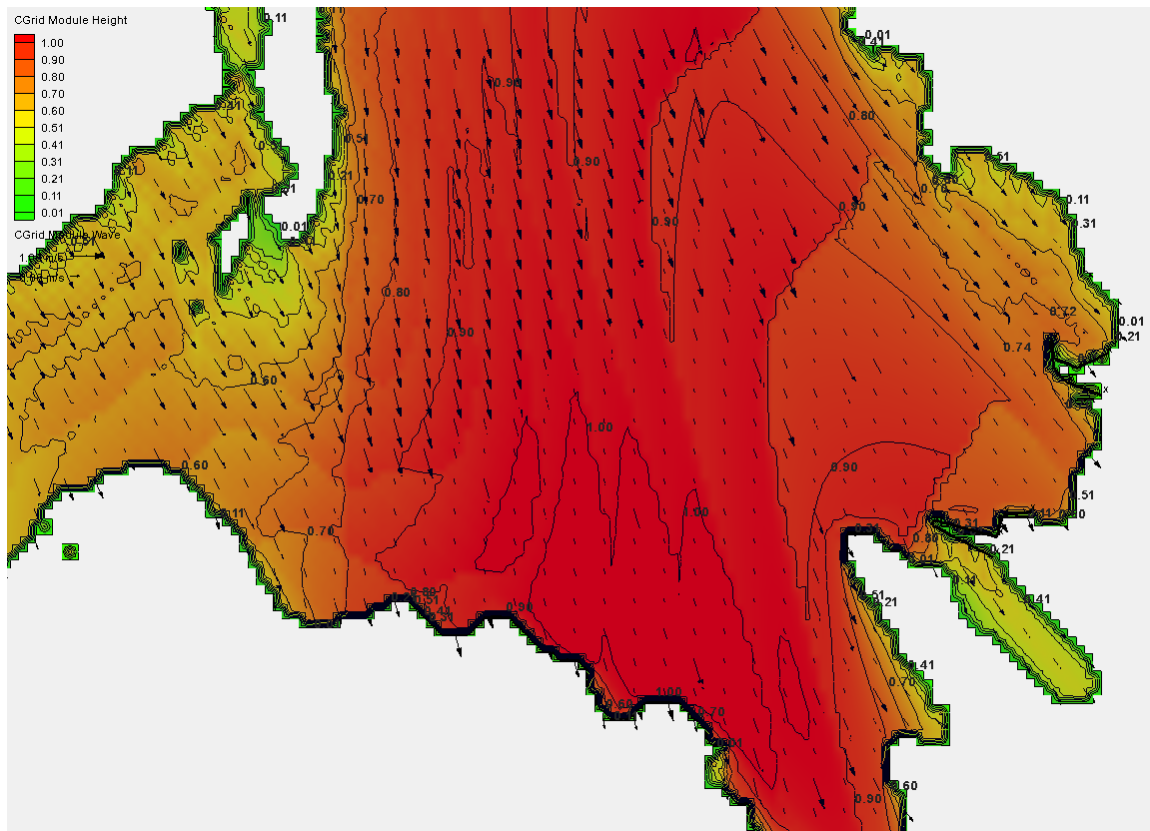


Figur 7 Fordeling av spektral topp-periode assosiert med ekstremverdier av signifikant bølgehøyde (Figur 6)

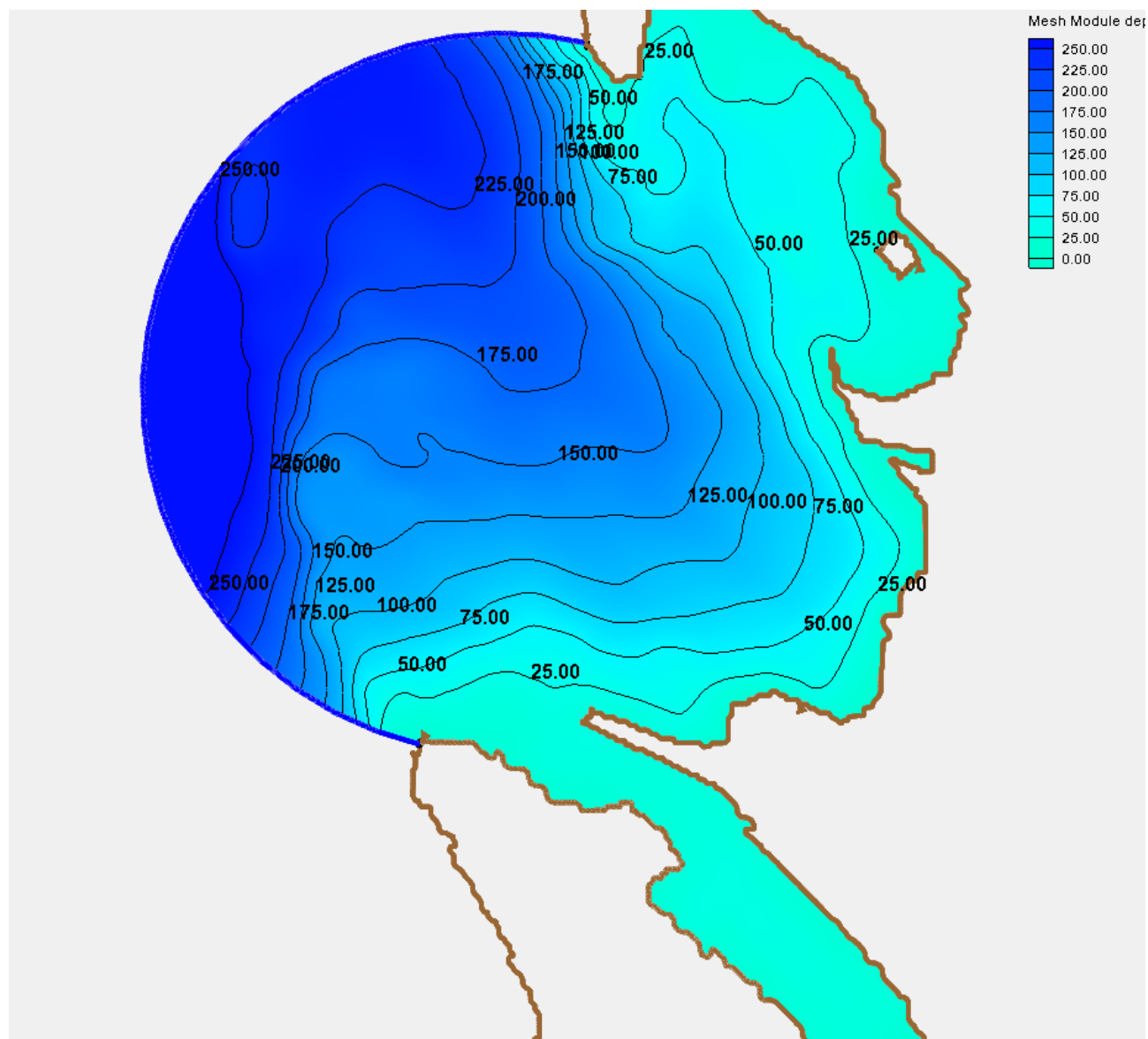


Figur 8 Figur som viser fordelingen av signifikant bølgehøyde og bølgeretning ved vind 25 m/s fra vest

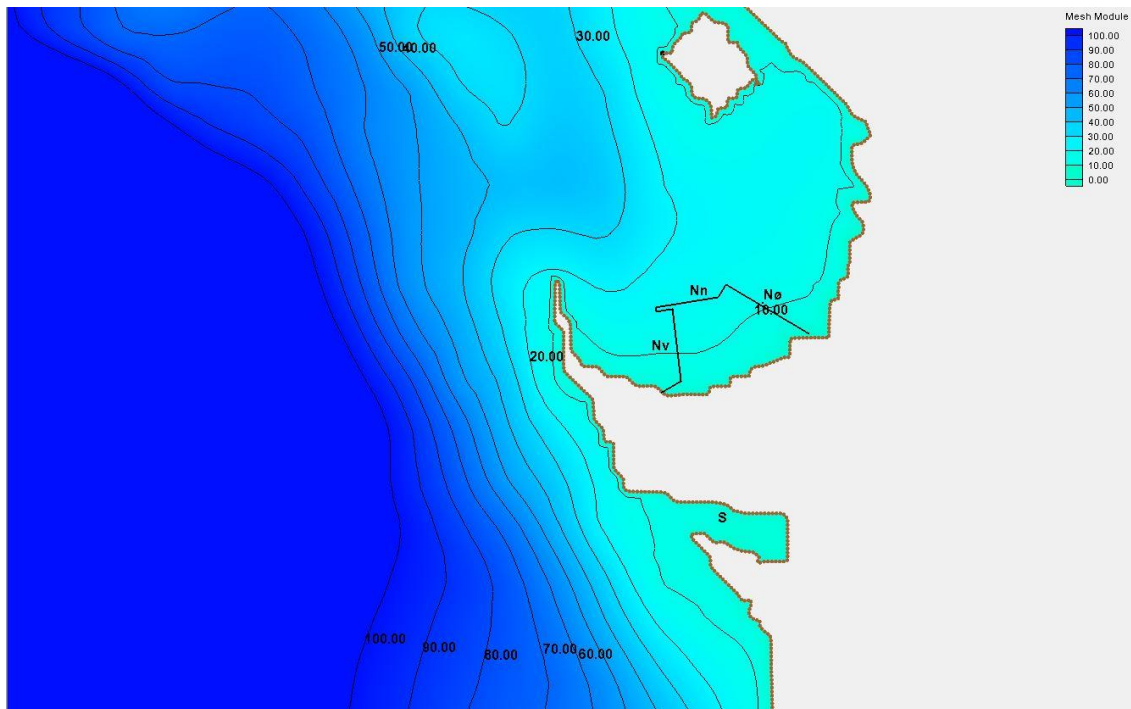




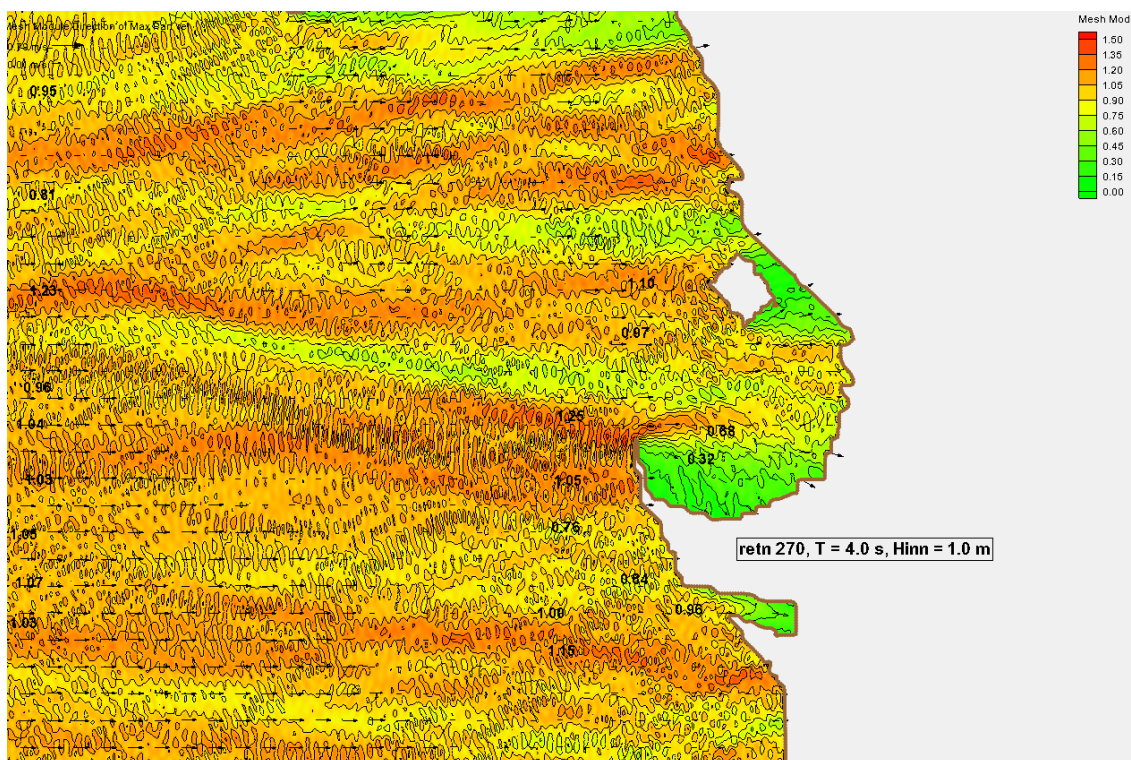
Figur 9      Figur som viser fordelingen av signifikant bølgehøyde og bølgeretning ved vind 25 m/s fra 330°



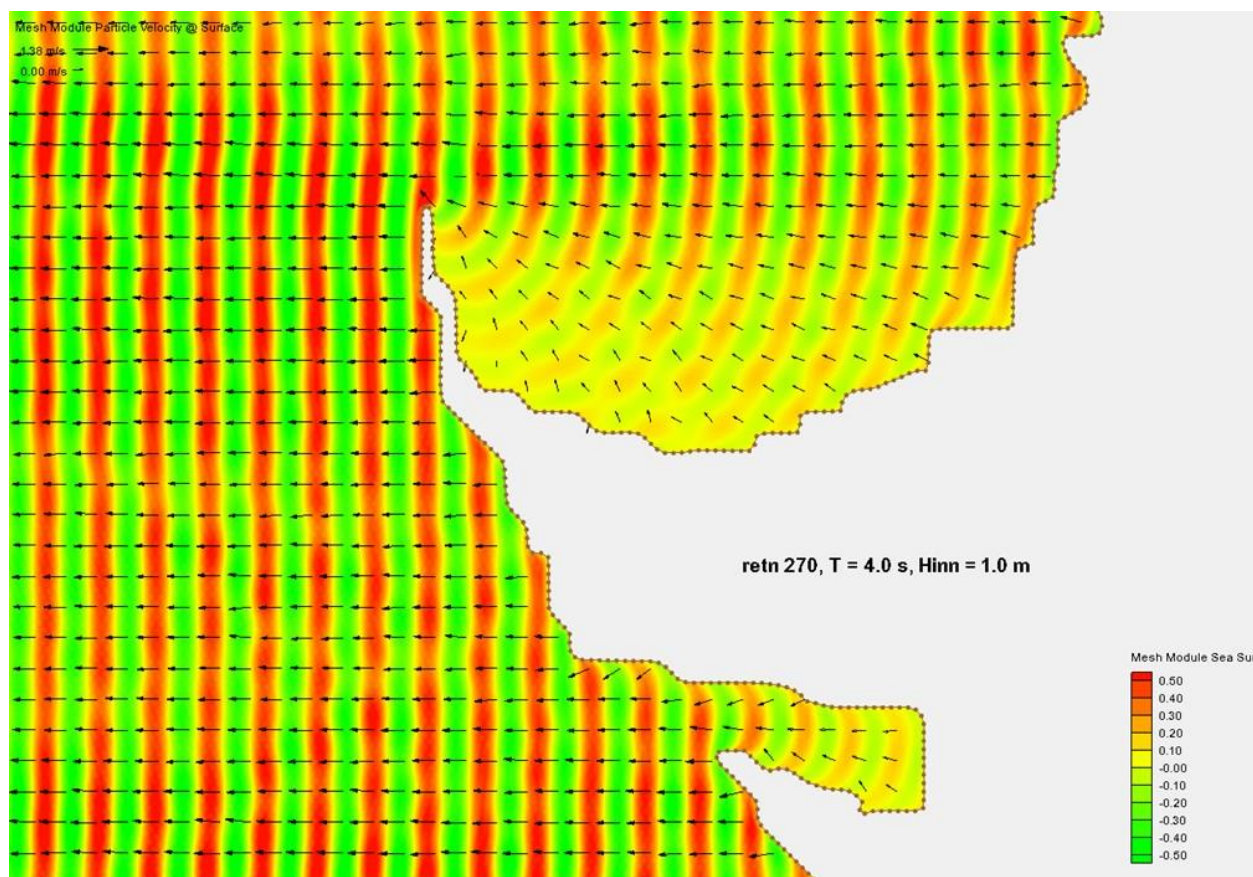
Figur 10 Detaljert dybdemodell av området rundt Sandviken. Modellen er en oppløsning på 4.0 m i de grunneste områdene



Figur 11 Området rundt Kristiansholm i detaljert modell. Omriss av foreslått utbygging er vist med svart strek, punktene S, Nv (=Nordvest), Nn og Nø er markert.



Figur 12 Bilde av fordeling av bølge høyde ved innkommende bølger fra vest med høyde 1.0 m og periode 4.0 s



Figur 13 Bilde av bølgeformen ved innkommende bølger fra vest med høyde 1.0 m og periode 4.0 s: Bølgetopp er rød, og bølgedal er grønn.

Tabell 1 Bølgedata ved 200 års returperiode for punktene S, Nv og Nn (Figur 11)

| Sted | Signifikant bølgehøyde Hmo m | Spektral topp-periode Tp s | Vindretning ° |
|------|------------------------------|----------------------------|---------------|
| S    | 0.89                         | 3.3                        | 240           |
| Nv   | 0.27                         | 3.0                        | 300           |
| Nn   | 0.87                         | 3.0                        | 300           |

### Nødvendige byggehøyder

Nødvendige byggehøyder baseres på metoder og kriterier i publikasjonen EurOtop Manual (ref. 4). Vi antar at alle kaifronter vil bestå av vertikale vegger, enten som spuntvegg eller betongkasser.

Alle bygg og installasjoner må ha høyde fastsatt etter prinsippet i Tabell 2

Tabell 2 Prinsipp for bestemmelse av byggehøyde

| Parameter                    |                            |                                       |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 200 år stormflo              | 2.32 m NN2000              | Konstant verdi i hele prosjektet      |
| + Tillegg for bølger         | y m                        | Varierer med sted og bruk av anlegget |
| <b>= Sum nødvendig høyde</b> | <b>(2.32 m + y) NN2000</b> |                                       |

Overvann fra kombinasjonen av stormflo og bølger fører til flere negative konsekvenser. Noen av disse er:

1. Innstrømming av vann i kjellere og lave etasjer i bygg
2. Skader på bygningsdeler ved at bølgene slår mot bygget
3. Skade på bygningsdeler ved at (harde) objekter kastes mot bygget
4. Stenging av veger på grunn av vann og fare for vannplaning
5. Fotgjengere og publikum blir berørt av flom. Hindringen kan variere fra at man blir våt på beina, at publikum snur og benytter en annen veg (dersom det er mulig), til at vannstrømmen eller kraften i en bølge blir så sterk at personer kan falle eller bli ført inn på land eller ut i sjøen.

Figur 14 og Figur 15 viser skader etter flom (Trondheim), og vannstrøm fra overskylling som hindrer ferdsel (Hirtshals).

EurOtop Manual (ref. 4) har en tabell over hva som ansees som akseptable overskyllingsrater angitt i liter per sekund per lengdemeter (l/(sm)). Tabellen er rimelig streng i de nederste klassene, og de er neppe representative for norske eller bergenske forhold. I norsk oversettelse er tabellen vist i Tabell 3.

Vårt forslag til akseptgrenser for Kristiansholm er vist i Tabell 4.

Figur 16 viser beregnet overskyllingsrate for Nord og Sør mot valgt fribord. Fribordet er i denne sammenhengen avstanden fra stille vann ved aktuell stormflo til toppen av kaikanten. Vi ser at for et gitt fribord er overskyllingsraten (for 200 års sjøtilstand) høyere i sør enn i nord fordi bølgehøyden er større i sør.





Figur 14 Skader etter storm ved Pirsenteret i Trondheim. Asfaltdekket er revet opp slik at grusdekket under er eksponert. Bølgene har løftet steiner opp og kastet dem mot glassfasaden.



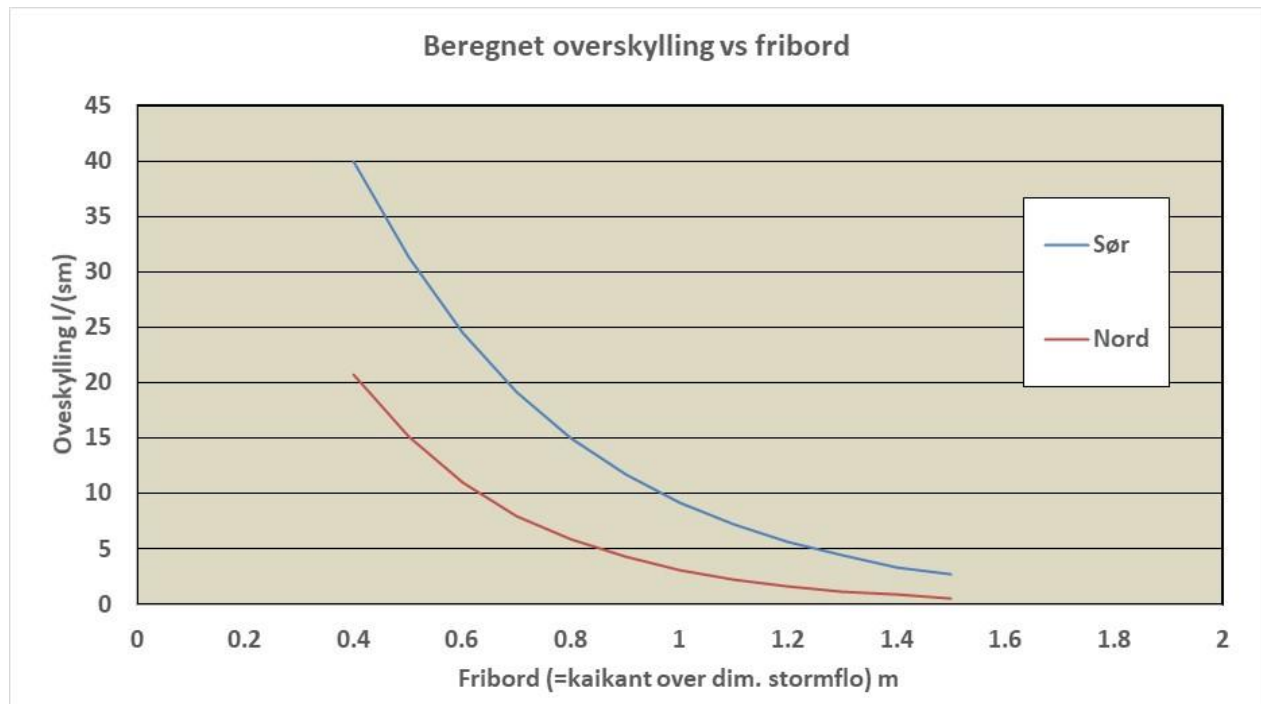
Figur 15 Vannstrøm som følge av bølgeoverskylling (Hirtshals). Vannmengden er stor nok til at uforberedt publikum vil oppfatte den som et vesentlig hinder. Godt utstyrte personer kan fortsatt ferdes på stedet. Antatt vannføring er 5 - 10 l/(sm)

Tabell 3 Akseptkriterier for overskylling fra EurOtop

|                              |                                     | Akseptabel overskylling l/(sm) |        |      |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------|------|
|                              |                                     | min                            | middel | maks |
| Fotgjengere                  | Alminnelig publikum                 |                                | 0.03   |      |
|                              | Oppmerksomt publikum                |                                | 0.1    |      |
|                              | Yrkesutøvere med trening og uts     | 1                              |        | 10   |
| Kjøretøy                     | Lav hastighet                       | 10                             |        | 50   |
|                              | Moderat til høy hastighet           | 0.01                           |        | 0.05 |
| Bygninger og konstruksjoner  | Skade på utstyr innenfor 5 - 10 m   |                                | 0.4    |      |
|                              | Skade på bygningsdeler              |                                | 1      |      |
|                              | Mindre fartøyer senkes              |                                | 10     |      |
|                              | Større skader, middels båter senkes |                                | 50     |      |
| Moloer og forbygninger       | Ingen skade på ubeskyttet område    |                                | 0.1    |      |
|                              | Ingen skade på gress og løsmas      | 1                              |        | 10   |
|                              | Grense for skade på steinsatt on    | 50                             |        | 200  |
| Promenader og trafikkområder | Skade på betongdekke                |                                | 200    |      |
|                              | Skade på asfalt og tredekker        |                                | 50     |      |

Tabell 4 Forslag til akseptkriterier for Kristiansholm

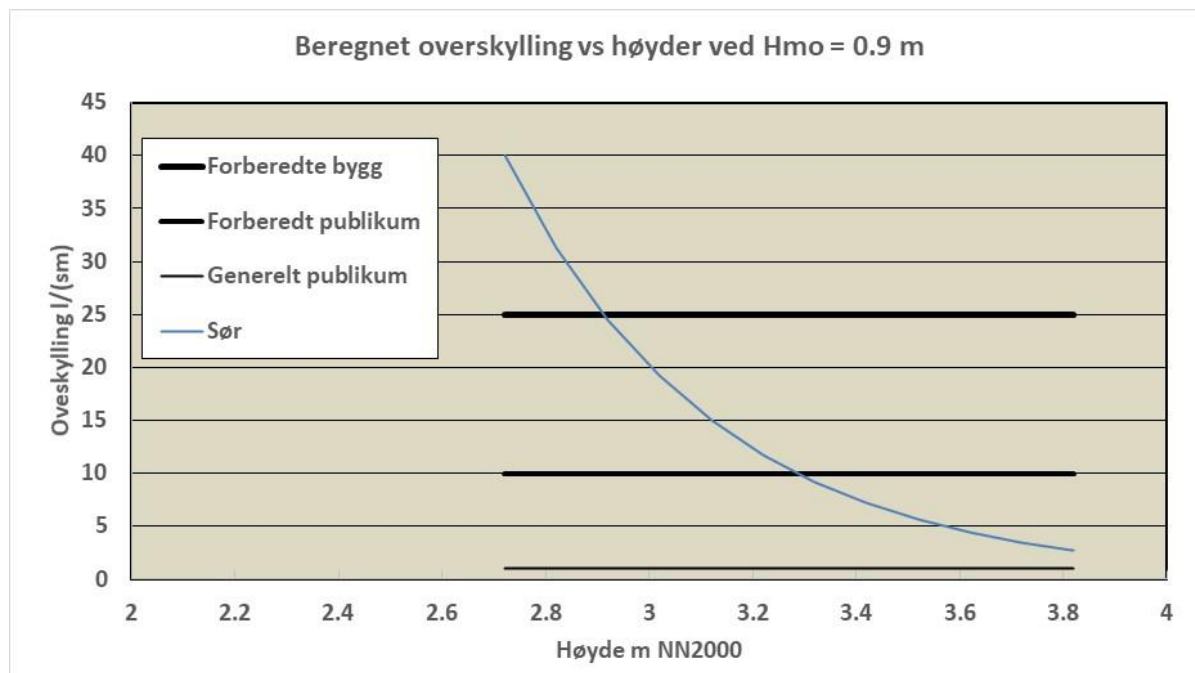
| Forhold og brukergruppe                                                                                                                                                                                                                                                                          | Maksimal tillatt overskylling l/(sm) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Uspesifisert publikum;</b><br>omfatter f eks evakueringsruter, nødutganger, utganger fra forsamlingslokaler og institusjoner                                                                                                                                                                  | 1.0                                  |
| <b>Forberedt publikum;</b> omfatter f eks turgåere og syklister med bevissthet om omgivelsene, arbeidere og innsatspersonell, og personer som har muligheter til retrett til tryggere områder                                                                                                    | 10.0                                 |
| <b>Forberedte bygg;</b> bygg nær sjøen som er forberedt for mulig påvirkning av vann, f eks ved vanntett betong i kjeller, alminnelig høy grunnmur, ikke dører eller vinduer i bakkeplan, og fuktsikret kledning. Terrengnet må være drenert slik at man unngår magasinering av vann mot bygget. | 25.0                                 |



Figur 16 Overskyllingsrater for Punkt N og S ved varierende fribord

## OPPSUMMERING AV BEREGNINGER

Tallene fra Figur 16 og Tabell 4 kan nå kombineres med beregnet stormflohøyde for å angi nødvendige byggehøyder. Dette er vist i Figur 17 og i Tabell 5.



Figur 17 Oversikt over overskyllingsrater for Punkt N og S vs høyde på kaikant i NN2000. Foreslåtte akseptkriterier er vist med rett, svart strek.

Tabell 5 Forslag til byggehøyder Kristiansholm

| Forhold og brukergruppe                                                                                                                                                                                                                                                                         | Maksimal tillatt overskylling l/(sm) | Nødvendig høyde Nord og sør m NN2000 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Uspesifisert publikum;</b> omfatter f eks evakueringsruter, nødutganger, utganger fra forsamlingslokaler og institusjoner                                                                                                                                                                    | 1.0                                  | 4.22                                 |
| <b>Forberedt publikum;</b> omfatter f eks turgåere og syklister med bevissthet om omgivelsene, arbeidere og innsatspersonell, og personer som har muligheter til retrett til tryggere områder                                                                                                   | 10.0                                 | 3.32                                 |
| <b>Forberedte bygg;</b> bygg nær sjøen som er forberedt for mulig påvirkning av vann, f eks ved vanntett betong i kjeller, alminnelig høy grunnmur, ikke dører eller vinduer i bakkeplan, og fuktsikret kledning. Terrenget må være drenert slik at man unngår magasinering av vann mot bygget. | 25.0                                 | 2.92                                 |

Verdiene i Tabell 5 gjelder konstruksjoner og bygg på eller nær kaikanten. Dersom bygget trekkes bort fra kaikanten vil nødvendig høyde reduseres. I en avstand på  $\frac{1}{2}$  bølgelengde fra kaikanten kan man regne med at effekten av bølge-overskylling er borte. Bølgelengden ved periode  $T = 3.5$  s er ca. 20 m på dypt vann, som gir at bølge-effekten er borte i en avstand på ca. 10 m fra kaikanten, *under forutsetning av at terrenget heller svakt mot sjøen eller bort fra bygget*. For bygg i trygg avstand fra kaikanten gjelder at byggehøyden må være minimum 2.32 m NN2000 for å unngå statisk stormflo.

## PRAKTISK TILPASNING AV BYGNINGER OG AREALER

Kravene som er formulert i Tabell 5 (med tilleggskrav i avsnittet under) er forholdsvis strenge, og skal sikre sikkerhet for publikum, beboere og bygninger i et langsiktig perspektiv.

### Basiskrav

Basiskravet for alle bygninger og konstruksjoner som ligger mer enn 10 m fra kaikanten er at de må ligge høyere enn 2.32 m NN2000 for å unngå å bli berørt av vanlig, statisk stormflo. For vanlige bygg betyr det at eksempelvis kjellere eller parkeringsanlegg under dette nivået må utføres i vanntett betong, og at bygget må dimensjoneres for eksternt vanntrykk. Bygget må ha tilstrekkelig tyngde til å hindre at det flyter opp, og bunnplata må ha styrke til å tåle vanntrykket under plata. Videre må alle avløp sikres mot tilbakeslag i rørene, noe som kan gjøres ved manuelt opererte ventiler eller ved at vann fra sluk og avløp under dette nivået pumpes opp til sikkert nivå.

### Anlegg nær sjøen

For anlegg innenfor 10 m fra kaikant eller sjøen gjelder spesielle krav. Her må man ta hensyn til den tilleggsbelastning som kommer fra bølger som slår mot kaikanten og kan gi vann inn på kaiplanet. I de tilfeller der kaiplanet går rett ut og møter kaifronten i en rett vinkel gjelder verdiene fra Tabell 5.

Vanlige bygg og konstruksjoner for opphold av mennesker må rustes for en høyde av flommen på 2.92 m NN2000 (Forberedte bygg, Tabell 5). Tiltak for å sikre bygget i denne sonen kan være ingen vinduer eller dører under nivå 2.92 m NN2000, og heller ingen lufteventiler eller andre åpne gjennomføringer. Selv om bygget unngår direkte vannpress over nivå 2.92 m, må bygget likevel utrustes for å kunne tåle sjøsprøyt og vindbårent vann på den siden som vender mot sjøen. Det må sikres at overskyllende vann som transporteres inn mot bygget har fri dreneringsveg bort fra bygget slik at vannet ikke magasineres.

### Publikumsarealer nær sjøen

#### Forberedt publikum

For utendørs anlegg til anvendelse for forberedt publikum gjelder en grense på 3.32 m NN2000 innenfor en sone på 10 m fra kaikanten. Forberedt publikum betyr i denne sammenheng:

- Personer som ikke er tvunget til å oppholde seg på stedet, og som oppsøker stedet av fri vilje, eller kan forlate stedet dersom de finner det utrygt
- Personer som er utrustet for lokalt vær og vind (alt fra regntøy og støvler til redningsvest), og som er oppmerksomme på de rådende forhold
- Personer som har tydelige rettemuligheter dersom de finner ut at de har feilvurdert forholdene
- Personer med alminnelig god førlighet
- Voksne personer

Eksempler på denne typen publikum er turgåere, naturfotografer, vedlikeholdsarbeidere, brann-mannskaper. Personer med begrenset førlighet er ikke i denne gruppen.



Se også nedenfor under Avbøtende tiltak.

## Uspesifisert publikum

Uspesifisert publikum vil gjelde der vi ikke kan stille noen krav til publikum eller brukere, der vedkommende personer er nødt til å oppholde seg eller ferdes på stedet, og ikke har en realistisk mulighet til å unngå stedet. Det vil gjelde eksempelvis for rullestolbrukere, barnehager, bevegelseshemmede generelt der arealet er for eksempel utgang fra en institusjon, en nødutgang, eller en rømningsveg.

For disse gjelder at man må opp til en høyde på 4.22 m NN2000 for å unngå farlig flom (men man vil fortsatt bli våt).

## **Avbøtende tiltak**

Det finnes muligheter for avbøtende tiltak for å hindre skadelig flom dersom man ønsker å redusere byggehøyden. Den statiske stormfloa (2.32 m NN2000) er svært vanskelig å gjøre noe med, men det er mulig å beskytte seg mot bølger. Det kan gjøres tiltak på kaiplanet eller foran kaifronten.

## Tiltak på kaiplanet

Tiltak på kaiplanet vil si å sette opp skjermer eller hindere som skal hindre bølgene i å skylle inn over kaiplanet. Eksempler på dette er vist i Figur 18, Figur 19 og Figur 20 som er hentet fra Molde.

Figur 18 viser mindre område for publikum der man har ønsket å skape en nærhet til sjøen. Ved ekstrem flom står hele anlegget under vann, og bølgene slår inn over kaiarealet. Men man har bedømt at området er oversiktlig og ikke representerer en fare for publikum under ekstreme hendelser, både fordi området har enkle retrettmuligheter, og fordi flommen vil være åpenbar for alle som nærmer seg.

Figur 19 og Figur 20 er et annet tiltak, også fra Molde. Her vil tredekket til venstre i bildet stå under vann ved ekstreme flommer, og bølgene vil slå inn mellom granittblokkene som beskytter mot sjøen. Det finnes åpninger mellom granittblokkene (til trapper for publikum), men den begrensede bredden av åpningene sørger for at vann-mengden på øverste plan er akseptabel. Merk rennene («ACO-renner») foran granittblokkene som skal drenere bort vannet. Man skal løpende vurdere behovet for mobile stengsler mellom granittblokkene dersom havnivåstigningen gjør at ekstremflommen når over øverste trinn i trappa.

For denne typen tiltak må man sørge for at de delene som kan komme under vann ved ekstremflo er sikret mot skader. Granittblokkene må sikres mot bølgekrefter, og tredekket må sikres mot oppdrift og bølgeslag. I tillegg må eventuelle elektriske anlegg sikres mot vann-inntrenging.

Dersom man gjennomfører slike tiltak, så er det høyden på den faste konstruksjonen eller skjermen som avgjør overskyllingsmengden eller farenivået.

For Kristiansholm betyr det eksempelvis at man kan legge en promenade eller gangveg på nivå 2.4 m NNN2000 langs sjøen på sørsiden, også innenfor 10 m fra sjøen, dersom man bygget opp en tilsvarende granittskjerm som vist på Figur 19. Granittskjermen må i så fall gå opp til nivå ca 3.32 m (Tabell 5).



*Figur 18 Fra Sjøfronten i Molde: nedsenket publikumsanlegg som ikke er flomsikkert selv ved moderate stormflo-nivå*





*Figur 19 Sjøfronten i Molde: granittblokker som skiller den flomutsatte delen til venstre fra gangveien til høyre. Dreneringsrenner ved granittblokkene hindre magasinering av vann på gangveien.*



Figur 20 Trappekonstruksjon mellom granittblokkene for ferdsel mellom nivåene. Det er beregnet at den vannmengden som slipper inn mellom blokkene er liten nok til at totalbelastningen på gangveien er akseptabel.

## Tiltak foran kaifronten

Et annet avbøtende tiltak kan være å redusere bølgehøyden før den når fram til kaifronten. Figur 22 og Figur 23 viser eksempler på slike tiltak hentet fra Larvik. Her er det plassert ut grove steinblokker foran kaifronten. Ruheten av blokkene og hulrommene mellom dem sørger for å dempe bølgene før de treffer kaifronten, og dermed blir det mindre bølge-energi som treffer kaifronten og mindre overskylling. Det første nivået over steinmuren (med tredekke) er bedømt å være sikkert for forberedt publikum, mens neste nivå skal være sikkert for generelt publikum.

En variant er vist i Figur 22, der det er satt opp en enkelt betongmur for å hindre bølgene i å komme inn på gangstien bak. Dette tiltaket er noe provisorisk, blant annet fordi betongkanten er for lav, og fordi vann fortsatt kan komme inn gjennom grunnen under betongmuren.





*Figur 21 Larvik/Sanden: grove steinblokker demper bølgene og reduserer oppskyllingen på gangveien*





*Figur 22 Larvik/Sanden: bølgeskjerm av betong sammen med grove steinblokker beskytter gangveien (i dette tilfellet ikke tilstrekkelig høyde på betongmur)*

Det siste eksempelet som også er hentet fra Larvik viser sikring av en boligblokk. Her er det bygget trapper i avsatser ned til sjøen slik at man kan komme nær sjøen ved varierende vannstand. Gangveien av betong er lagt på nivå for forberedt publikum. For boligene på gateplan i bakgrunnen blir det stilt sterkere krav, bl. a fordi man må regne med at dette skal bygges for uspesifisert publikum. Derfor er det satt opp betongskiller som skal sørge for at mengden vann som kommer inn mot leilighetene er akseptabel.



*Figur 23 Larvik/Sanden: avtrapping ned mot sjøen. Trekonstruksjonene blir oversvømt ved ekstrem flo, mens det vil komme noe vann inn på gangveien. Byggene og leilighetene er tilnærmet helt beskyttet mot vann.*

## KONKLUSJONER

Det er gjennomført beregninger av flomfare fra stormflo og bølger ved Kristiansholm i Sandviken i Bergen .

Flomfaren består i en kombinasjon av stormflo (Klasse F2 fra TEK17) og lokale bølger i Byfjorden fra vestlig og nordlig retning.

Generelt må alle bygg og konstruksjoner ligge over eller sikres opp til et nivå på 2.32 m NN2000, med en tilleggshøyde for alle konstruksjoner som ligger nærmere sjøen enn 10 m.

Tilleggshøyden for å sikre mot bølger kan reduseres ved avbøtende tiltak som bølgeskjermer på land eller dempende tiltak i sjøen. Eksempler på slike tiltak er gitt i kapittel *Avbøtende tiltak*. Slike tiltak bør integreres i byrommet og i den øvrige arkitektur og funksjon.

## REFERANSER

1. Kristiansholm, Illustrasjonsprosjekt som underlag for områderegulering for Bergen kommune. Høyder og volum. Møte Bergen kommune 25.11.2020 (.pdf-dokument)
2. Risiko- og sårbarhetsanalyse, Norconsult-rapport datert 2017-02-06, oppdragsnummer 5124522
3. M.J.R. Simpson, J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015): Sea Level Change for Norway NCCS report no. 1/2015
4. EurOtop Wave overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual 2007, 2016
- 5.

| 02      | 2021-01-12 | Rapport for oversendelse | Arne E Lothe | Synne H. Nybø  | Arne E. Lothe |
|---------|------------|--------------------------|--------------|----------------|---------------|
| 1       | 2020-12-18 | Utkast                   | Arne E Lothe |                |               |
| Versjon | Dato       | Beskrivelse              | Utarbeidet   | Fagkontrollert | Godkjent      |

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. 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.