

Bergen kommune PBE "Puddefjorden United"

► **Fremtidig havnivå, stormflo og bølgepåvirkning**

Anbefaling for planlegging av nye tiltak på Dokken og Laksevåg

Oppdragsnr.: 52405952 Dokumentnr.: KU006 Versjon: D04 Dato: 2026-02-02



Oppdragsgiver: Bergen kommune PBE "Puddefjorden United"
Oppdragsgivers kontaktperson: Knut Andreas Knutsen
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Øystein Skofteland
Fagansvarlig: Magnus Thorsen Bach-Gansmo
Andre nøkkelpersoner: Arne E. Lothe
Martin Tveit

D04	2026-02-02	Mindre språklige justeringer	MagBac		
D03	2026-01-13	Revidert sammendrag og kapittel 5	MagBac	MarTve	OYSKO
D02	2024-12-21	Revidert etter kommentarer fra oppdragsgiver	Magnus T. Bach-Gansmo	Martin Tveit	OYSKO
B01	2024-11-26	Til gjennomlesing hos oppdragsgiver	Magnus T. Bach-Gansmo	Arne E. Lothe	OYSKO
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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.

► Sammen drag

Det er utført en stormflo- og bølgeanalyse for Dokken og Laksevåg i Bergen. Rapporten konkluderer med anbefalte byggehøyder mot flom fra stormflo, bølger og økt havnivå iht. TEK17. Flom fra overvann, nedbør, vassdrag osv. er ikke vurdert.

Nye byggverk og tiltak på eksisterende bebyggelse må sikres mot flom slik at største nominelle sannsynlighet i tabell 1 ikke overskrides iht. TEK17 § 7-2 annet ledd. I denne rapporten er det antatt at områdene skal tilfredsstille sikkerhetsklasse F2. Dette innebærer at byggverk må sikres mot den samlede effekten fra stormflo- og bølgepåvirkning med 200-års returperiode.

Tabell 1 Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område (fra TEK17).

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

I tillegg anbefaler Direktoratet for samfunnsberedskap og sikkerhet (DSB) at man legger til et klimapåslag som følge av at havnivået stiger på global basis. Som et minimum skal det benyttes tall for havnivåstigning fra klimascenario SSP3-7.0 +83 prosentil fram til år 2100. Det tilsvarer +81 cm over dagens middelvannstand i år 2100 i Bergen kommune. I år 2150 er antatt havnivåstigning estimert til +138 cm over dagens middelvannstand, noe som tilsvarer 57 cm over minimumskravet (år 2100).

Stormflo

Kartverket utgir estimerer på ekstrem stormflo, som kan hentes fra for eksempel nettsiden «Se havnivå». Ved å sammenlikne estimerte ekstremverdier av stormflo med observerte hendelser i Bergen, mener Norconsult at de offisielle verdiene er for lave. For eksempel ser vi at estimert 200 års stormflo er oversteget 3 ganger i løpet av måleserie på bare 109 år.

Fram til ca. år 2008 utga Sjøkartverket tidevannstabeller med ekstremverdier av stormflo med gjentakintervall opp til 20 år. Norconsult har benyttet disse verdiene og ekstrapolert dem opp til høyere verdier. Ved å benytte tidligere publiserte ekstremverdier av stormflo (fra Sjøkartverket), ser vi at antall overskridelser av estimerte ekstremverdier samsvarer bedre med hva man kan forvente i løpet av måleperioden.

Norconsult anbefaler derfor at man legger til grunn et høyere stormflonivå i planleggingen sammenliknet med de offisielle tallene. I rapporten er estimerer og anbefalte byggehøyder basert på de offisielle tallene kalt for «minimumsnivået». Estimerer basert på Norconsults stormflo-beregninger er kalt for «anbefalt nivå». Merk at tall for havnivåstigning er identisk i begge alternativer.

Tabell 2 viser dimensjonerende stormfloverdier iht. TEK17 inkludert havnivåstigning, klimascenario SSP3.7-0, +83 prosentil. For sikkerhetsklasse F1 er det ikke krav om å legge til havnivåstigning, mens for sikkerhetsklasse F2 og F3 er det lagt til havnivåstigning fram til år 2100. Det skiller ca. 23 cm mellom Kartverkets og Norconsults beregninger av 200 års stormfloverdi.

Tabell 2 Dimensjonerende stormfloverdier iht. TEK17.

Sikkerhetsklasse	Gjentaksintervall	Kartverket (minimumsnivå)	Norconsult (anbefalt nivå)
Sikkerhetsklasse F1	20 år	+124 cm NN2000	+133 cm NN2000
Sikkerhetsklasse F2	200 år	+218 cm NN2000	+241 cm NN2000
Sikkerhetsklasse F3	1 000 år	+225 cm NN2000	+261 cm NN2000

Bølgepåvirkning

Bølger inn mot Laksevåg og Dokken er beregnet i et tidligere oppdrag for Bergen kommune [1], og analysen anses som god nok for planlagte reguleringsplaner i området. Bølgeanalysen konkluderte med at refleksjon fra kaifronter gir et urolig bølgebilde i Puddefjorden, og at områder som ligger i le for innkommende bølgeretning midtfjords fremdeles er eksponert mot bølger av en viss størrelse. I dette arbeidet er det antatt lik bølgehøyde for alle områder nord og sør for Puddefjordbrua, noe som medfører at noen områder blir lagt for høyt. For visse delprosjekter kan det være aktuelt å utføre separate vurderinger av bølgepåvirkning i byggesak. Dette vil kun være aktuelt dersom man ønsker å redusere tillegget for bølgepåvirkning (bølgeoppskylling).

Planområdene ligger eksponert mot bølgeretninger fra nordvest til nord. Vind fra denne sektoren er sjeldent forbundet med ekstrem høy vannstand i Bergen. Trygge kotehøyder er bestemt ved å vurdere mest ugunstig tilfellet av følgende:

- 200 års stormflo inkl. havnivåstigning fram til år 2100 kombinert med 5 års signifikant bølgehøyde, og
- 200 års signifikant bølgehøyde kombinert med høyeste astronomiske tidevann inkl. havnivåstigning fram til år 2100

Sikring mot stormflo og bølger

Det er foreslått to ulike strategier i tråd med DSBs veileder [2] for å sikre områdene mot den samlede effekten fra stormflo, bølger og økt havnivå:

1. **Beskytte.** Tilstrekkelig sikkerhet oppnås hovedsakelig ved å plassere byggverk på flomsikker byggegrunn. Dette innebærer enten å bygge vanntette flomvoller/-murer for å sikre lavtliggende områder, eller å heve terrenget over dimensjonerende stormflonivå. Begge alternativer forutsetter at områdene er tilstrekkelig sikret mot bølger.
2. **Tilpasse.** Der det ikke er praktisk mulig å plassere byggverk i flomsikkert område, åpner paragrafen for at byggverk kan dimensjoneres og utformes for å tåle oversvømmelse. I slike tilfeller må det ikke føre til fare for mennesker eller større materielle skader, og man må være oppmerksom på restrisiko. Dette vil i de fleste tilfeller gjelde utbygging av infrastruktur på eksisterende områder som ligger for lavt og/eller endringer på eksisterende byggverk. Dette gjelder også for konstruksjoner som av praktiske årsaker må ligge med nærhet til sjøen. Eksempler på slike konstruksjoner er pumpestasjoner og kaier.

Det anbefales at nye byggverk, som ikke av praktiske årsaker må ligge med nærhet til sjø, etableres på flomsikker byggegrunn iht. punkt 1. beskytte.

Ved å anta at områdene skal tilfredsstille TEK17 § 7-2 sikkerhetsklasse F2 må terrenget heves til minimum +2,41 m NN2000 (anbefalt nivå iht. Norconsults stormfloberegninger) for å anses som flomsikkert og

forutsetter tilstrekkelig sikring mot bølger. Alternativt kan lavtliggende områder sikres med permanente flomvern.

Med tanke på at planprosessene legger opp til utbygging fram mot år 2050 bør man vurdere muligheten for at bygninger kan ha en levetid som strekker seg fram mot år 2150. Ved å legge nytt terrengnivået på kote +3,0 m NN2000 vil områdene være godt sikret mot et økt havnivå fram til år 2150 samtidig som krav til kystveier i Statens vegvesen håndbok N100 er tilfredsstilt.

Det er vurdert at bølger med gjentaksintervall på 200 år kan skylle ca. 10 m inn på land forutsatt at terrenget ligger over kote +2,41 m NN2000 og ligger med fall mot sjøen. Denne 10 m brede sonen kalles heretter for oppskyllingssonen og kan ikke anses som flomsikker byggegrunn. Dersom det skal etableres nye byggverk og/eller infrastruktur i oppskyllingssonen må de sikres mot vanninntrengning og bølgelaster. Trygge kotehøyder mot effekten fra bølger er vist i Tabell 3. På nordsiden av Puddefjordsbrua skal flomsikre publikumsarealer, fasader og vei og bane sikres opp til +3,7 m NN2000. For hovedveier og kystveier skal det sikres mot bølger opp til +4,2 m og for sårbare elementer som vinduer, åpninger osv. er trygg kotehøyde beregnet til +5,4 m NN2000. Sør for Puddefjordsbrua er bølgene dempet og trygg kotehøyde mot effekten fra bølger kan senkes iht. Tabell 3.

Ved å etablere en 10 m bred kystpromenade som legges på minimum +2,41 m og med fall mot sjøen, vil området på landsiden av promenaden være flomsikker mot den samlede effekten av stormflo og bølger. Under visse forhold vil ferdsel for vanlig publikum ikke være anbefalt langs en slik kystpromenade og/eller eksisterende kaifronter som ligger under anbefalte byggehøyder. Det forutsettes da at det finnes trygge alternative ruter til flomsikker grunn, og at områdene utformes slik at publikum har god oversikt mot sjøen.

Tilstrekkelig sikring mot bølger kan også løses ved å heve terrenget eller ved å etablere forhøyninger opp +3,7 m. Slike forhøyninger kan bygges som en mur eller kamufleres som for eksempel sittekanter.

Planlagt sykehjem må tilfredstille kravene til sikkerhetsklasse F3, som innebærer at byggverk må sikres mot den samlede effekten fra stormflo- og bølgepåvirkning med 1 000-års returperiode. Det er antatt at tiltaket ikke er avgjørende for nasjonal eller regional beredskap og krisehåndtering slik at tiltaket faller utenfor TEK17 § 7-2 første ledd. Byggverket må sikres mot et statisk vann-nivå opp til +2.61 m NN2000, og bør legges minimum 15 m inn på land fra sjøen. Dersom sykehjemmet skal legges nærmere sjøen må det utføres separate vurderinger for nødvendig sikring mot bølger.

Der det ikke er praktisk mulig å legge byggverk på flomsikker byggegrunn, åpner forskriften for at byggverk kan dimensjoneres og utføres slik at materielle skader minimeres forutsatt at liv og helse er ivaretatt. Men Norconsults erfaring er at det kan være utfordrende å få godkjent. Dette vil først fremst være aktuelt for tiltak på eksisterende bygninger og etablering av infrastruktur i områder som ligger under anbefalte nivåer. Ved å tilpasse områder og tillate oversvømmelse skal restrisikoen vurderes nøye i hvert enkelt tilfelle.

I lavtliggende områder kan det være andre hensyn som krever at veier, gater og/eller bybanetraséen legges på et lavere nivå enn anbefalt. Slike hensyn kan gjelde tilpasning mot eksisterende områder med kulturarv, som for eksempel ved Bryggen. Og/eller at en heving av vegbanen/bybanen danner en barriere for eksisterende flomvannveier, som kan føre til ulempe for tilstøtende eiendommer. I slike tilfeller må det utføres egne særskilte vurderinger i samråd med Bergen kommune og Statsforvalteren, hvor man vurderer restrisikoen ved flom. Restrisiko kan omfatte blant annet nedetid på delstrekninger for Bybanen, utfordrende tilkomst for utrykningskjøretøyer og oversvømte evakueringsruter. Langs kystlinjen må man være spesielt oppmerksom på effekten fra bølger, også ved lavere vannstander.

Tabell 3 Anbefalte byggehøyder for tiltak i sikkerhetsklasse F2.

Område	Situasjon	Minimumsnivåer	Anbefalte nivåer
Generelt for alle områder	200 års stormflo i år 2100	+2.18 m over NN2000 (Kartverket)	+2.41 m NN2000 (Norconsult)
	Laveste underkant gulvhøyde, minimum terrengnivå for flomsikker byggegrunn, bybanetrasé og gater.		
	Anbefalt kotehøyde for kystveier og hovedveier som binder sammen bydeler.	+2,68 m NN2000	+2,91 m NN2000
Nord for Puddefjordsbrua Innenfor en sone på 10 m inn på land fra kaikant/kystlinje (oppskyllingssonen)	Trygg kotehøyde for hovedinnganger, vinduer, evakueringsruter og nødutganger. Overskylling = 1 l/(sm)	+5.4 m NN2000	+5.4 m NN2000
	Trygg kotehøyde for publikumsområder, vegger og fasader bygget for å tåle et vått klima. Overskylling = 10 l/(sm)	+3.7 m NN2000	+3.7 m NN2000
Sør for Puddefjordsbrua Innenfor en sone på 10 m inn på land fra kaikant/kystlinje (oppskyllingssonen)	Trygg kotehøyde for hovedinnganger, vinduer, evakueringsruter og nødutganger. Overskylling = 1 l/(sm)	+3.8 m NN2000	+3.9 m NN2000
	Trygg kotehøyde for publikumsområder, vegger og fasader bygget for å tåle et vått klima. Overskylling = 10 l/(sm)	+2.9 m NN2000	+3.1 m NN2000

Innhold

<u>1</u>	<u>INNLEDNING.....</u>	<u>8</u>
1.1	BAKGRUNN	8
1.2	FORMÅL	10
1.3	REGELVERK	10
1.4	DEFINISJON AV BEGREPER	11
<u>2</u>	<u>STORMFLO.....</u>	<u>12</u>
2.1	EKSTREMVERDIER AV HØY VANNSTAND 2024.....	12
2.1.1	OFFISIELLE EKSTREMVERDIER I BERGEN	12
2.1.2	NORCONSULTS EKSTREMVERDIESTIMATER	13
2.1.3	SAMMENLIKNING MELLOM VERDIER FRA KARTVERKET OG NORCONSULT	15
2.2	HAVNIVÅSTIGNING	16
<u>3</u>	<u>BØLGER.....</u>	<u>18</u>
<u>4</u>	<u>BØLGEOPPSKYLLING.....</u>	<u>21</u>
4.1	TILFELLER.....	21
4.2	TILLATT OVERSKYLLING	22
4.3	TRYGG AVSTAND INN PÅ LAND	23
4.4	TRYGG KOTEHØYDE I DE NÆRMESTE 10 M FRA KYSTLINJE	23
4.5	OPPSUMMERT.....	24
<u>5</u>	<u>SIKRING MOT BØLGER OG STORMFLO.....</u>	<u>25</u>
5.1	VEIER, GATER OG BYBANE	26
5.2	FORSLAG TIL NYTT TERRENGNIVÅ	26
5.3	FORSLAG TIL BØLGESIKRING	27
5.4	FLOMSIKRING AV EKSISTERENDE, LAVTLIGGENDE OMRÅDER	31
5.4.1	FLOMVERN	31
5.4.2	TILPASNING AV EKSISTERENDE BYGGVERK.....	32
<u>6</u>	<u>REFERANSER</u>	<u>33</u>

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Bergen kommune planlegger sammen med andre aktører å transformere områdene rundt Dokken, Puddefjorden og Laksevåg, som i dag benyttes til industri og havnevirksomhet. Ambisjonen er at områdene skal bli en utvidet del av Bergen sentrum med nye boliger, kontorer, fritidstilbud i tillegg til en utvidelse av bybanentraséen i retning Laksevåg. Figur 1 viser en oversikt over pågående reguleringsplaner ved Dokken, Puddefjorden og Laksevåg. Felles for planene er at de ligger med nærhet til sjø, og at ny bebyggelse og infrastruktur må sikres mot den samlede effekten fra bølger, stormflo og økt havnivå.

I forbindelse med planarbeidet vurderes også fyllinger i sjø nordvest for Dokken og på Laksevåg siden, se figur 2. Figur 3 viser foreløpig skisse av utfyllingen lengst vest på Laksevåg, mens figur 4 viser mulig utforming ved Dokken.

Norconsult leverte i 2021 en bølgeanalyse som konkluderte med trygge kotehøyder for en framtidig fylling i sjø nordvest for Dokken. Siden den gang har det kommet nye estimater og retningslinjer for framtidig havnivåstigning. I tillegg har flere planprosesser i området startet opp. Bergen kommune har i den forbindelse engasjert Norconsult for å oppdatere notatet fra 2021 med nye tall for havnivåstigning samt inkludere planområdene vist i figur 1.



Figur 1 Oversiktskart over Bergen sammen med pågående reguleringsplaner. Foto: Bergen kommune.



Figur 2 Planlagte utfyllinger er vist med grå skravur. Mottatt fra Bergen kommune.



Figur 3 Foreløpig skisse av fylling i sjø ved Laksevåg. Mottatt fra Bergen kommune.



Figur 4 Mulig utvikling av Dokken. Mad Arkitektur.

1.2 Formål

Formålet med denne rapporten er å etablere et felles grunnlag og konkludere med trygge kotenivå på ny bebyggelse og infrastruktur med hensyn til flom fra stormflo, økt havnivå og oppskylling fra bølger. Flom fra ekstrem nedbør, vassdrag osv. er ikke vurdert i denne rapporten.

Denne rapporten inneholder overordnede vurderinger knyttet til nødvendig sikring av byggverk iht. TEK17 ved Dokken og Laksevåg.

1.3 Regelverk

Byggteknisk forskrift (TEK17) fastsetter krav til sikkerhet mot flom og stormflo. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom slik at største nominelle sannsynlighet i tabell 4 ikke overskrides, jf. forskriftens § 7-2 andre ledd. I tillegg anbefaler Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) at man legger til grunn havnivåstigning fram til år 2100 planlegging [2]. Anbefalt klimascenario er SSP 3.7-0 +83 prosentil.

Tabell 4 Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område (fra TEK17)

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

Hvilken sikkerhetsklasse et byggverk tilhører er avhengig av konsekvensene ved oversvømmelse. Generelt vil byggverk med lite personopphold og små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser kunne plasseres i sikkerhetsklasse F1. Eksempler på dette er garasjer eller lagerbygninger med lite personopphold.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, som for eksempel bolig, fritidsbolig, campinghytte, garasjeanlegg, skole, barnehage, kontorbygning og industribygg.

Sikkerhetsklasse F3 omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene. Eksempler på dette er sykehjem, sykehus, brannstasjon, politistasjon, sivilforsvarsanlegg og avfallsdeponier.

Byggverk som er avgjørende for nasjonal eller regional beredskap og krisehåndtering skal iht. § 7-2 første ledd ikke plasseres i flomutsatt område, dersom konsekvensene av flom vil føre til at beredskapen svekkes. Slike byggverk skal legges over nivå for *øvre estimat vannstand* inkludert havnivåstigning fram til år 2100. Dette kan for eksempel gjelde for regionsykehus, regionale eller nasjonale beredskapsinstitusjoner og lignende [2].

1.4 Definisjon av begreper

Tabell 5 Definisjon av begreper

Begrep	Forkortelse	Enhet	Definisjon
Bølgehøyde	H	m	Vertikal avstand fra bølgetopp til den påfølgende bølgedal.
Signifikant bølgehøyde	H_{m0} H_s	m	Middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en måleserie. $H_{m0} \approx H_s$.
Bølgeperiode	T	s	Tiden mellom to påfølgende bølgetopper.
Spektral topp-periode	T_p	s	Perioden for den frekvenskomponenten i bølgespekteret som inneholder mest energi, og som normalt vil være den perioden som oppfattes som dominerende.
Bølgelengde	L	m	Lengden mellom to påfølgende bølgetopper.
Overskylling	q	l/(sm)	Gjennomsnittsmengden av vann som skyller over en kystkonstruksjon målt i liter per sekund per meter over en tidsperiode (storm). Normalt vil kun et fåtall bølger skylle over konstruksjonen, slik at liter per bølge er vesentlig høyere enn beregnet q .

2 Stormflo

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

1. astronomisk tidevann, spesielt rundt fullmåne og vår/høst-jevndøgn
2. lavt luft-trykk
3. langvarig pålandsvind.

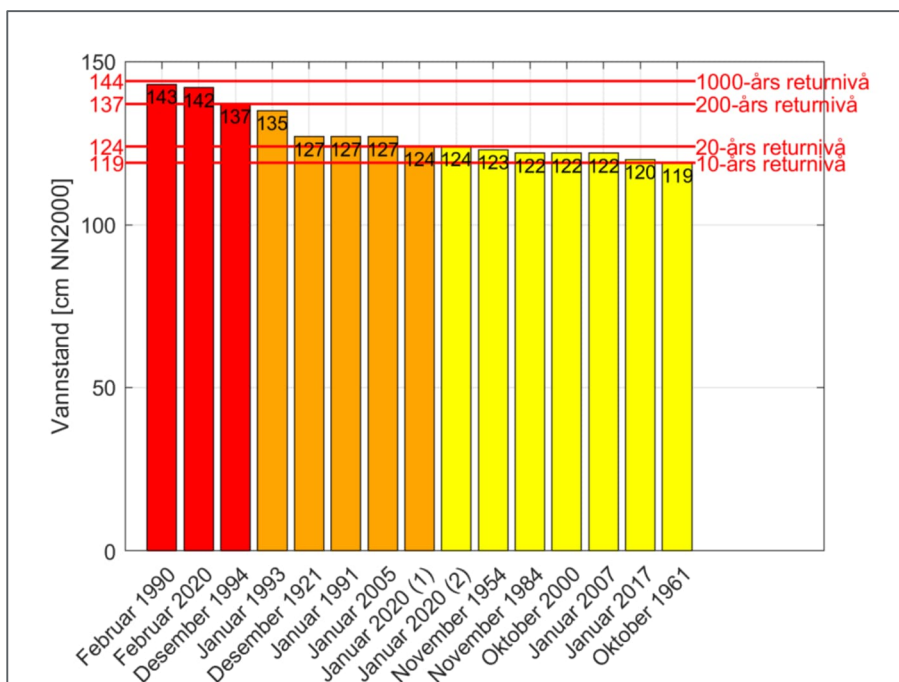
Merk at stormflo ikke inkluderer effekter med kort varighet, som vanlige stormbølger (5 – 20 s) eller svingninger i havnebassenger (1/2 – 5 minutter).

2.1 Ekstremverdier av høy vannstand 2024

2.1.1 Offisielle ekstremverdier i Bergen

Norsk klimaservicesenter (NCCS) har estimert ekstremverdier av stormflo i Bergen [3]. Disse verdiene kan hentes fra for eksempel nettsiden «Se havnivå» og er gjengitt i figur 5 sammen med observerte hendelser av høy vannstand i Bergen. I Bergen finnes det måledata fra år 1916, noe som tilsvarer en tidsserie på 109 år.

I løpet av en måleperiode på ca. 100 år, vil man forvente at beregnet 10 års verdi er oversteget ca. 10 ganger og at 20 års verdien er oversteget ca. 5 ganger osv. Fra figur 5 ser man imidlertid at 10 og 20 års verdien er oversteget henholdsvis 15 og 8 ganger. Videre ser man at beregnet 200 års verdi er oversteget hele 3 ganger i løpet av de siste 35 årene. Dette er ikke teoretisk umulig, men de offisielle tallene kan ikke anses som tilstrekkelig konservative til planlegging.



Figur 5 Observerte hendelser med høy vannstand og gjentakintervall for stormflo estimert av NCCS i Bergen. Figur: COWI [4].

2.1.2 *Norconsults ekstremverdiestimer*

Inntil år 2008 ga Sjøkartverket ut tidevannstabeller med oversikt over vasstandsnivåer i norske standardhavner. Typisk for en gitt havn:

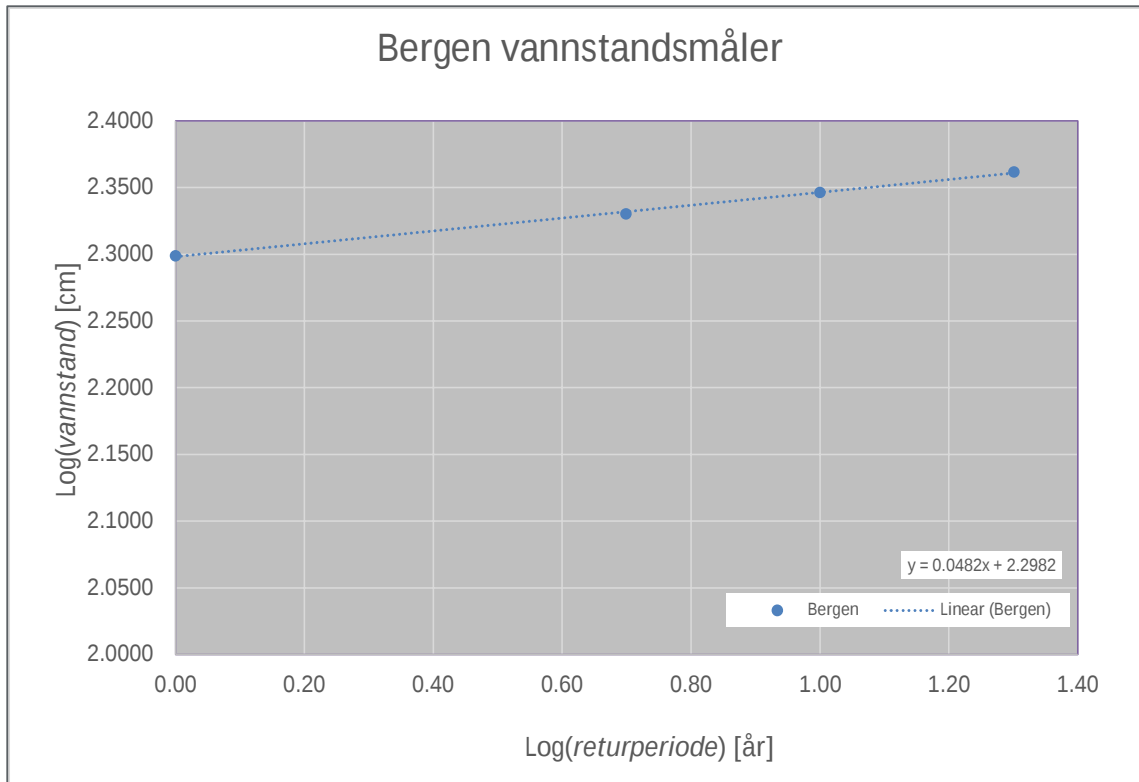
- Laveste observerte vannstand
- Høyeste observerte vannstand
- Middelvann
- Normalnull 1954
- Osv.

I tillegg ble det angitt ekstremverdier av vannstand med returperioder opp til 20 år. Norconsult har utarbeidet en database med ekstremverdier av stormflo for noen av de viktigste havnene, og ekstrapolert ekstremverdiene utgitt i tidligere tidevannstabeller til høyere returperioder.

I Bergen er ekstremverdier av stormflo med returperiode 1, 5, 10 og 20 år publisert i tidligere tidevannstabeller.

Vi benytter verdier for vannstand med returperiode 1, 5, 10 og 20 år og tilpasser en lineær linje i logaritmisk skala, se figur 6. Vi får da en funksjon med form $y = ax + b$. Deretter benytter vi denne funksjonen til å ekstrapolere til høyere gjentakintervall. Merk at vannstandsverdier i Figur 6 er referert til sjøkartnull.

Tabell 6 viser resultater fra tidligere tidevannstabeller og ekstrapolering av stormfloverdier uten tillegg for klimapåslag. Tabellen angir et 20 års gjentakintervall på 133 cm over NN2000, og vil ifølge figur 5 være oversteget ca. 4 ganger i løpet av de siste 100 årene. Videre er 10 års verdien oversteget 9 ganger. Høyeste observerte vannstand, som er +143 cm NN2000, tilsvarer et gjentakintervall på ca. 50 år i Norconsults beregninger.



Figur 6 Logaritmisk skala av angitte ekstremverdier av stormflo i Bergen utgitt av Sjøkartverket.

Tabell 6 Returperioder av stormflo i cm over sjøkartnull og NN2000.

Returperiode	Vannstand over sjøkartnull i cm over sjøkartnull	Vannstand over sjøkartnull i cm over NN2000	Kommentar
1 år	199 cm	102 cm	Fra tidevanstabell
5 år	214 cm	118 cm	Fra tidevanstabell
10 år	221 cm	124 cm	Fra tidevanstabell
20 år	230 cm	133 cm	Fra tidevanstabell
50 år	240 cm	143 cm	Ekstrapolert
100 år	248 cm	151 cm	Ekstrapolert
200 år	257 cm	160 cm	Ekstrapolert
1 000 år	277 cm	180 cm	Ekstrapolert

2.1.3 Sammenlikning mellom verdier fra Kartverket og Norconsult

Tabell 7 viser en sammenlikning mellom antall overstigninger av Kartverkets og Norconsults ekstremverdier av stormflo. Fra tabellen ser vi at Kartverkets estimer er oversteget vesentlig flere ganger enn hva man teoretisk ville forventet. Norconsult sine estimer ligger noe under forventet antall overstigninger, og kan sånn sett anses som noe konservative. Legg merke til at Kartverkets 200 års verdi er oversteget hele 3 ganger.

Norconsult sin oppfatning at de offisielle tallene ikke samsvarer med forventet antall overstigninger, og vi anbefaler derfor at man legger til grunn stormflonivåer som ligger høyere enn de offisielle tallene.

Tabell 7 Sammenlikning av antall overstigninger mellom Kartverkets og Norconsults ekstremverdi-resultater av stormflo.

Returperiode	Forventet antall overstigninger i løpet av måleserie på 109 år (teoretisk)	Faktisk antall overstigninger - Kartverket	Faktisk antall overstigninger - Norconsult
1 år	109	Ikke sjekket	Ikke sjekket
5 år	21 - 22	Ikke sjekket	Ikke sjekket
10 år	10 - 11	15	9
20 år	5 - 6	8	4
50 år	2	4	1
100 år	1	4	0
200 år	0 - 1	3	0
1 000 år	0	0	0

Andre vannstander uten klimapåslag:

- Høyeste astronomiske tidevann (HAT): +80 cm NN2000
- Middelvann: -7 cm NN2000
- Laveste astronomiske tidevann (LAT): -102 cm NN2000.

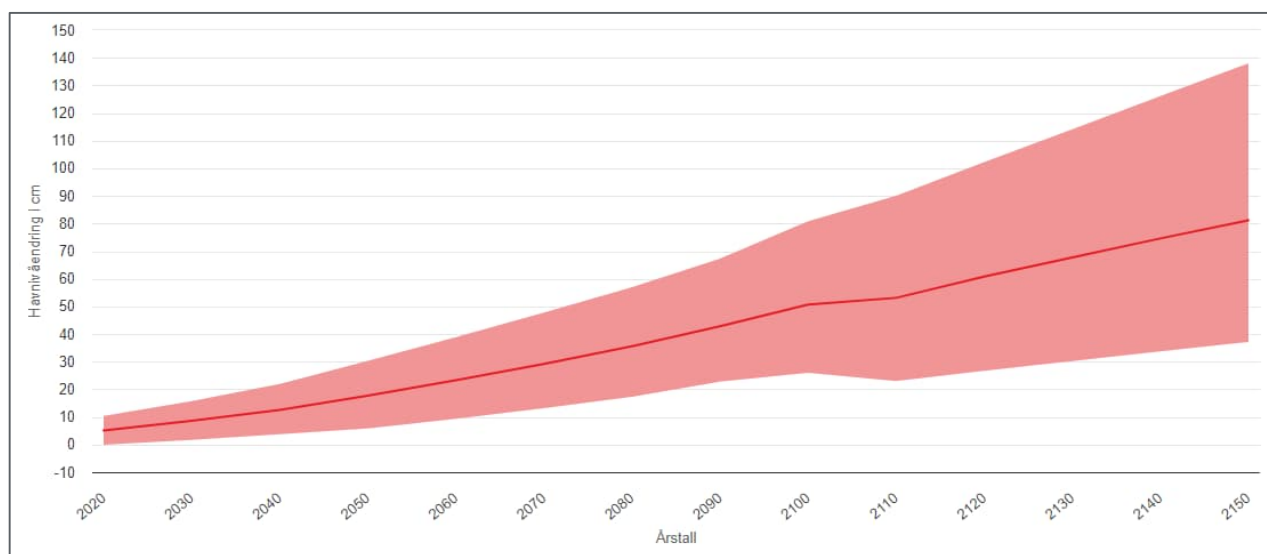
2.2 Havnivåstigning

De viktigste bidragene til økt middelvannstand i havet er knyttet til varmeutvidelse og økt tilførsel av smeltevann fra isbreer og iskapper som følge av global oppvarming. Det er knyttet usikkerhet til hvor mye havet faktisk vil stige, og FNs klimapanel (IPCC) har utført beregninger for ulike klimascenarier avhengig av kutt i «drivhusgasser» på global basis.

Figur 7 viser antatt framtidig havnivåstigning for klimascenario SSP3-7.0 fram til år 2150. Den heltrukne røde linjen viser median verdien i estimatene, mens den røde skravuren viser spredningen. Den øvre grensen representerer +83-prosentilen, mens den nederste linjen viser +17-prosentilen.

I Norge er det besluttet at man skal benytte klimascenario SSP3-7.0 +83-prosentilen (øverste linjen i figur 7) fram til år 2100 når man avgjør tillegget for havnivåstigning [2]. SSP3-7.0 forutsetter en dobling i utslipp av klimagasser fram mot år 2100, og anses som et føre var klimascenario.

Tabell 8 viser stormflo med gjentaksintervall på 20, 200 og 1000 år sammen med framtidig antatt havnivåstigning klimascenario SSP3-7.0 fram til år 2150. Gjentaksintervallene samsvarer med kravene til sikkerhetsklasse F1, F2 og F3. For sikkerhetsklasse F2 og F3 skal det som minimum benyttes klimapåslag fram til år 2100. For sikkerhetsklasse F1 er det ikke krav til klimapåslag. Dimensjonerende stormfloverdier i de ulike sikkerhetsklassene er vist i tabell 9. Merk at verdier benyttet til framtidig havnivåstigning er identisk for tall fra Kartverket og Norconsult.



Figur 7 Framskrivninger i havnivåstigning fram mot 2150 [5]. Klimascenario SSP3-7.0. Rød skravur representerer det sannsynlige utfallsrommet innenfor 17-prosentilen og 83-prosentilen. Rød heltrukken strek representerer medianverdien.

Tabell 8 Ekstremverdier av stormflo i Bergen kommune i cm over NN2000. Nærmeste standardhavn: Bergen vannstandsmåler. Klimascenario SSP3-7.0, spredning +83 prosentil. Rp = returperiode.

Returperiode	Metode	2025	2050	2100	2150
Rp = 20 år	Kartverket	+124 cm	+155 cm	+205 cm	+262 cm
	Norconsult	+133 cm	+164 cm	+214 cm	+272 cm
Rp = 200 år	Kartverket	+137 cm	+168 cm	+218 cm	+275 cm
	Norconsult	+160 cm	+191 cm	+241 cm	+299 cm
Rp = 1 000 år	Kartverket	+144 cm	+175 cm	+225 cm	+282 cm
	Norconsult	+180 cm	+211 cm	+261 cm	+319 cm

Tabell 9 Dimensjonerende stormflonivå iht. TEK17 § 7-2.

Sikkerhetsklasse	Kartverket	Norconsult
Sikkerhetsklasse F1	+124 cm NN2000	+133 cm NN2000
Sikkerhetsklasse F2	+218 cm NN2000	+241 cm NN2000
Sikkerhetsklasse F3	+225 cm NN2000	+261 cm NN2000
Øvre estimat vannstand ¹ Flomutsatt område iht. §7-2 første ledd	+280 cm NN2000	

¹ Øvre estimate vannstand er summen av høyeste mulige tidevann (HAT) pluss effekten fra værbidrag med gjentakintervall på 1 000 år.

3 Bølger

Bølger inn mot Laksevåg og Dokken er beregnet i et tidligere oppdrag for Bergen kommune [1], og analysen anses som god nok for planlagte reguleringsplaner i området. Analysen er basert på vinddata fra Flesland flyplass (1980-2011) og dybde data fra Byfjorden. Vindgenererte bølger fra Byfjorden er de eneste relevante bølgene, da havbølger fra åpent hav ikke kan nå området. Beregningene viser at de mest betydningsfulle bølgene kommer fra nordlig sektor (330° og 360°), med signifikante bølgehøyder (H_s) på 0.8 m for 1-års returperiode og 1.25 m for 200-års returperiode, observert i et punkt midt i Puddefjorden på høyde med en linje Laksevåg Nordnes.

Fordeling og bølgeform av 200 års bølgehøyde i et tilfelle med utfylling nord for Dokken er hentet fra bølgeanalysen [1] og vist i henholdsvis figur 8 og figur 9. Det ble konkludert med at refleksjon fra kaifronter gir et urolig bølgebilde, og at bølger forplanter seg inn i Puddefjorden med ulike bølgeretninger. Når bølgetoppene kolliderer med hverandre, fører det til en dobling av bølgehøyden (gitt at bølgene som kolliderer har samme innkommende bølgehøyde), noe som gir utslag i økt bølgehøyde lokalt. Vi ser også at reflekterte bølger forplanter seg inn i buktene på Laksevåg-siden. Altså vil områder som ligger i le for innkommende bølgeretning midtfjords, være eksponert mot reflekterte bølger. Til slutt ser vi også at bølgehøyden avtar sør for Puddefjordsbrua.

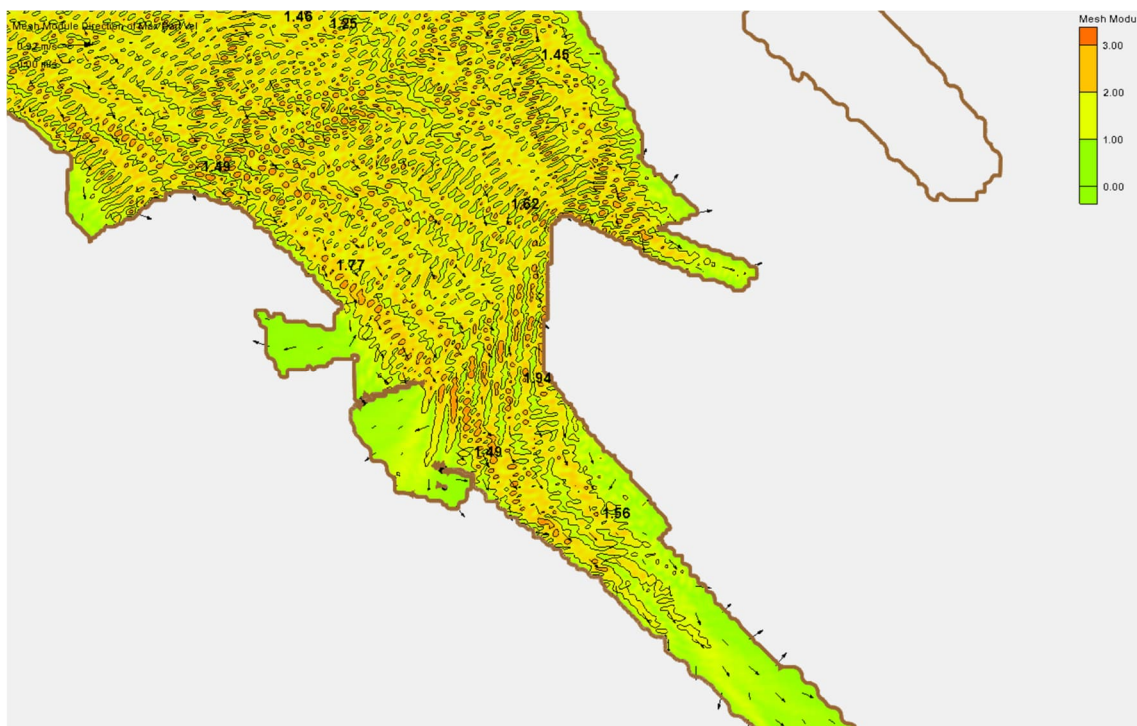
Bølgeanalysen har beregnet signifikant bølgehøyde i punkt A til I, se figur 10 og resultatene er vist i figur 11. Bølgene er beregnet i en før og en etter situasjon hvor området nord for Dokken er fylt ut. Det kan antas at bølgehøydene er tilnærmet like ved utfylling på Laksevåg siden også. Utfylling på Laksevåg-siden vil endre reflektert bølgeretning, men selve bølgehøydene vil forbli tilnærmet uendret.

Resultater vist i figur 11 må anses som resultant-høyden fra innkommende + reflektert bølgehøyde. Med tanke på at innkommende og reflektert bølge har ulike retninger (i noen tilfeller motsatt retning), anses det som for konservativt å benytte resultatene direkte i oppskyllingsberegninger. Det skyldes at oppskylling fra bølger er sterkt avhengig av bølgeretningen relativt til sjøfronten. Videre foreslås det å benytte samme bølgehøyde for alle områder nord for Puddefjordsbrua i overskyllingsberegner. Dette medfører at noen områder blir lagt «for høyt». Derimot viser bølgeanalysen at områder, som ligger i le for innkommende bølgeretninger, fremdeles er eksponert mot reflekterte bølger. Antagelsen om en felles bølgehøyde for hele området vil dermed ikke medføre for konservative verdier. Antatt lik bølgebelastning vil også forenkle prosessen med tilpasning av sjøfronter for alle parter.

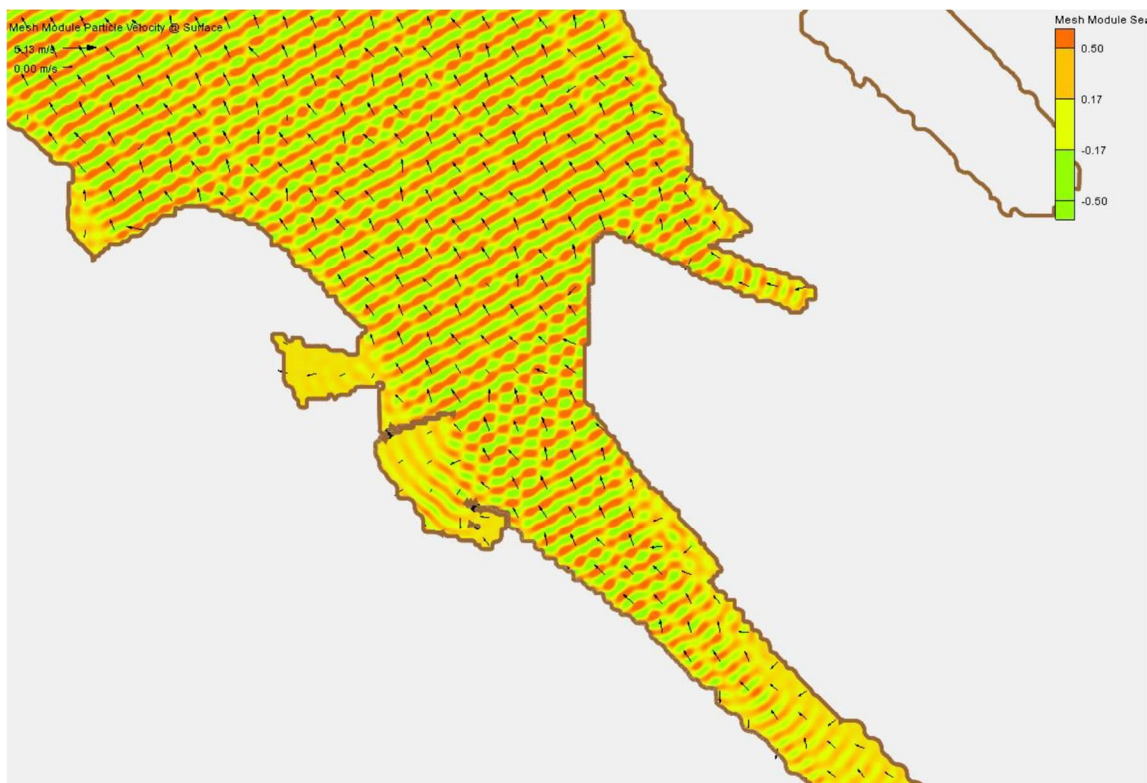
Tabell 10 viser foreslåtte dimensjonerende signifikante bølgehøyder til bruk i oppskyllingsberegninger nord og sør for Puddefjordsbrua. Det presenteres en verdi av H_s hvor bølger treffer rett på sjøfronten, og en verdi hvor bølgene treffer med en angrepsvinkel på 45°. Førstnevnte verdi tilsvarer innkommende bølgehøyder fra Byfjorden, mens sistnevnte verdi tilsvarer en resultant-bølgehøyde som følge av refleksjon. Sør for Puddefjordsbrua vil bølgehøyden være redusert og kun treffe skrått på sjøfronter, men her er også bølgebildet dominert av reflekterte bølger.

Tabell 10 Foreslåtte signifikante bølgehøyder til dimensjonering av sjøfronter i Puddefjorden, Bergen.

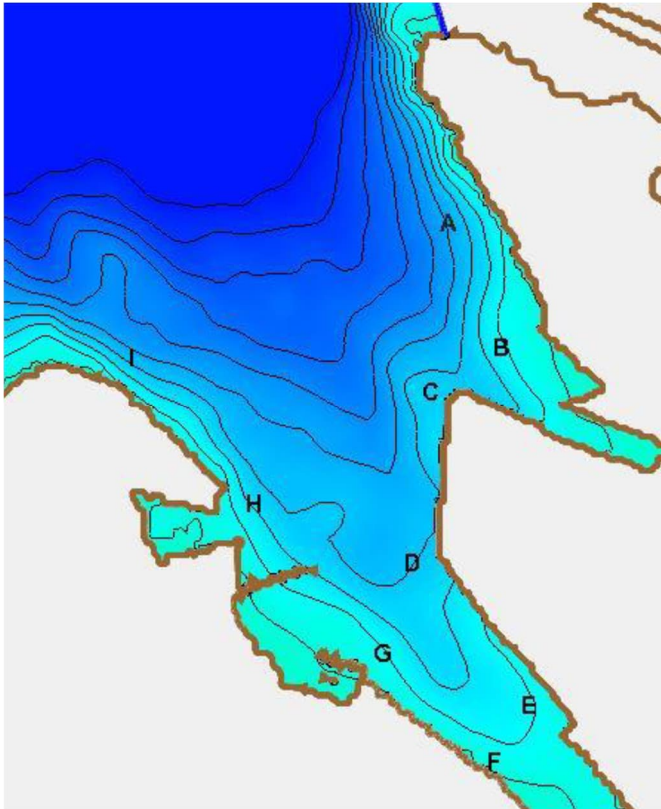
Område	Gjentaksintervall	Signifikant bølgehøyde, H_s Angrepsvinkel 0° relativt til sjøfront	Signifikant bølgehøyde, H_s Angrepsvinkel 45° relativt til sjøfront
Nord for Puddefjordsbrua	5 år	0.8 m	1.1 m
	200 år	1.3 m	1.6 m
Sør for Puddefjordsbrua	5 år	-	0.8 m
	200 år	-	1.0 m



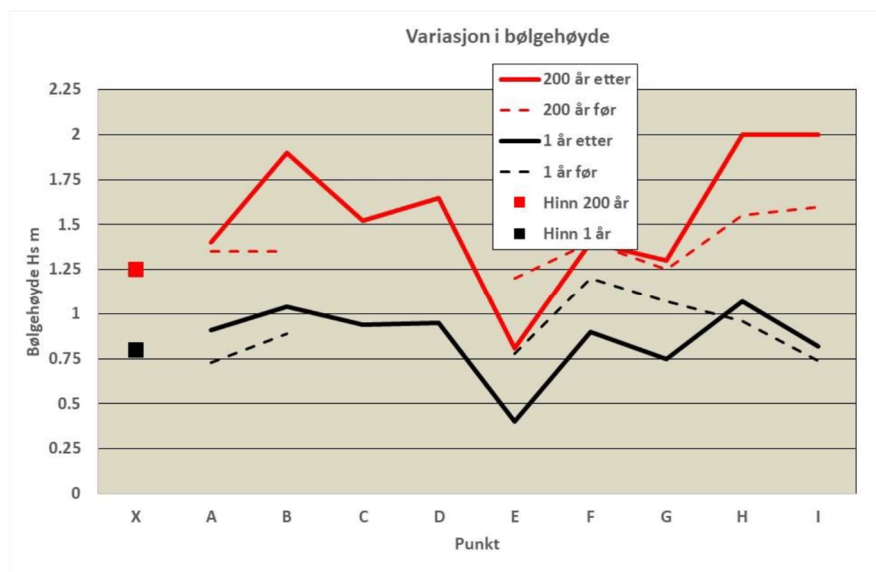
Figur 8 Fordeling av 200 års bølgehøyde. Hentet fra Norconsult, 2021 [1].



Figur 9 Overflateheving (bølgeform) av 200 års bølgehøyde. Hentet fra Norconsult, 2021 [1].



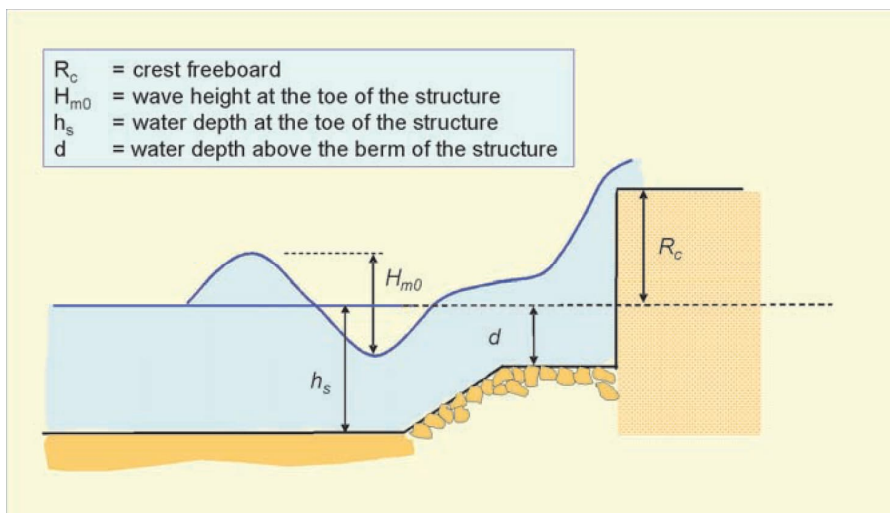
Figur 10 Bølger er beregnet i punkt A – I. Hentet fra Norconsult, 2021 [1].



Figur 11 Fordeling av signifikant bølgehøyde før og etter utfylling nordvest for Dokken. Hentet fra Norconsult, 2021 [1].

4 Bølgeoppskylling

Oppskylling fra bølger utgjør en trussel hvis bølgene blir så høye at de skyller over kaikanten og inn på land. Trygge kotehøyder beregnes ved hjelp av formelverk publisert i EurOtop Manual [6]. I beregningene er det antatt at sjøfrontene består av kaier, og at kaiene kan modelleres som en vertikal sjøfront som vist i figur 12. Der sjøfronten er utformet som en plastret skråning, vil bølgeoppskyllet være noe lavere.



Figur 12 Definisjons-skisse av beregningstilfelle. Hentet fra EurOtop Manual [6].

4.1 Tilfeller

Det anses som for konservativt å kombinere 200 års stormflo med 200 års signifikant bølgehøyde ved Dokken og Laksevåg når man fastsetter bølgens oppskyllingshøyde og trygg kotehøyde. Dette begrunnes i at stormflo opptrer samtidig med vindretninger fra sørvest / vest, og at de høyeste bølgene i Puddefjorden opptrer ved vindretninger fra nordvest. Trygg kotehøyde (for sikkerhetsklasse F2) bestemmes ved å undersøke verste tilfelle av følgende:

- 200 års stormflo inkl. havnivåstigning fram til år 2100 kombinert med 5 års signifikant bølgehøyde, og
- 200 års signifikant bølgehøyde kombinert med høyeste astronomiske tidevann inkl. havnivåstigning fram til år 2100

Det gir totalt 6 lasttilfeller. 4 for området nord for Puddefjordsbrua, og 2 tilfeller sør for Puddefjordsbrua, se tabell 11. I beregningene er det antatt at kaiene er vertikale og helt tette ned til sjøbunn. Det antas en sjødybde, h_s lik 4 m eller dypere (ingen bølgebrytning), og at det ikke eksisterer en fyllingsfot, $d = h_s$.

Tabell 11 Lasttilfeller bølgeoppskylling nord og sør for Puddefjordsbrua, sikkerhetsklasse F2.

Lasttilfelle	Vannstand	Signifikant bølgehøyde	Angrepsvinkel	Dybde til fot, d	Dybde til sjøbunn, h_s
Nord for Puddefjordsbrua					
1	200 års stormflo i år 2100	0.8 m (5 års)	0°	-	>4 m
2	200 års stormflo i år 2100	1.1 m (5 års)	45°	-	>4 m
3	+1.6 m (HAT)	1.3 m (200 års)	0°	-	>4 m
4	+1.6 m (HAT)	1.6 m (200 års)	45°	-	>4 m
Sør for Puddefjordsbrua					
5	200 års stormflo i år 2100	0.8 m (5 års)	45°	-	>4 m
6	+1.6 m (200 års)	1.0 m (200 års)	45°	-	>4 m

4.2 Tillatt overskylling

Mengden vann fra bølger som skyller over land/kai/sikringstiltaket angis som en overskyllingsrate målt i liter per sekund per meter. Det foreligger ingen forskriftskrav eller absolutte grenseverdier for hva som kan tillates av overskyllingsrater fra bølger, hverken mot byggverk eller utearealer hvor det må påregnes at folk oppholder seg. Hva som kan aksepteres av overskyllingsrater for ulike grupper må derfor baseres på anbefalinger. EurOtop's anbefalte verdier for akseptabel overskylling er gitt i tabell 12 nedenfor.

Tabell 12 EurOtop anbefalinger for akseptabel overskylling

Gruppe	Signifikant bølgehøyde	Akseptabel overskylling l/sm
Fotgjengere	$H_{m0} = 3$ m $H_{m0} = 2$ m $H_{m0} = 1$ m $H_{m0} = 0.5$ m	0.3 1 10-20 Ingen grense
Kjøretøy	$H_{m0} = 3$ m $H_{m0} = 2$ m $H_{m0} = 1$ m	<5 10-20 <75
Bygningselementer	$H_{m0} = 1-3$ m	≤ 1

EurOtop's anbefalinger for akseptabel overskyllingsrate varierer med signifikant bølgehøyde. Det skyldes at overskyllingsrater beregnes som gjennomsnittsverdier. Når det settes en grense for maks tillatt overskyllingsvolum per meter må gjennomsnittsraten være lavere ved høy signifikant bølgehøyde ettersom variasjoner i bølgespekteret og store enkeltbølger som skyller over vil gi større overskyllingsvolum sammenlignet med variasjoner i bølgespekteret for mindre bølger.

Ved Dokken og Puddefjorden ligger innkommende signifikant bølgehøyde på ca. 1.3 m. Følgende grenseverdier legges til grunn:

- 1 l/(sm) mot sårbare bygningselementer. Omfatter nødutganger, utganger, vinduer og andre åpninger til for eksempel garasjer og tunneler osv.

- 10 l/(sm) mot fasader som tåler et vått klima, bilveier og utearealer beregnet for personopphold. Forutsettes at personer er godt skodd og normalt fysisk friske.

Områder hvor overskylling overstiger anbefalte verdier anses ikke som trygge under storm, hverken for mennesker eller bygninger.

4.3 Trygg avstand inn på land

Bølger som skyller inn på land har en begrenset rekkevidde. På flatt terreng med svak helning mot sjøen kan man anta at effekten av bølger er lik null i en avstand på ca. $\frac{1}{2}$ bølgelengde fra kystlinjen. Beregnet bølgelengde ved Laksevåg/Dokken er ca. 25 m i en 200 års situasjon. Vi regner da med at områder som ligger 10.0 – 12.5 m inn på land er trygge. Ved Laksevåg og Dokken anses 10 m sikkerhetssone for bølgeoppskylt som tilstrekkelig ettersom innkommende signifikant bølgehøyde er moderat i størrelse ($H_s = 1.3$ m). Denne 10 m brede sonen kalles også for oppskyllingssonen, og anses ikke som flomsikker.

For tiltak i sikkerhetsklasse F2 settes oppskyllingssonen til 10 m og forutsetter at terrenget ligger med fall mot sjøen og ligger over 200 års stormflonivå i år 2100. I tilfeller der terrenget ligger for lavt, skal oppskyllingssonen trekkes 10 m inn på land fra kotelinjen som tilsvarer 200 års stormflonivå i år 2100.

For tiltak i sikkerhetsklasse F3 skal oppskyllingssonen økes til minimum 15 m og forutsetter at terrenget ligger med fall mot sjøen og over 1 000 års stormflonivå i år 2100.

4.4 Trygg kotehøyde i de nærmeste 10 m fra kystlinje

Trygge kotehøyder med grenseverdi for overskylling lik 1 og 10 l/(sm) er vist i for tiltak i sikkerhetsklasse F2 medregnet 200 års stormflo fra Kartverket og Norconsult. Fra resultatene ser vi at tilfellet med 200 års signifikant bølgehøyde kombinert med HAT gir høyest bølgeoppskylt nord for Puddefjordsbrua. Derav identiske verdier for Kartverket og Norconsult. Sør for Puddefjordsbrua er det tilfellet med 200 års stormflo og 5 års bølgehøyder som gir høyest bølgeoppskylt. Her vil trygg kotehøyde vil avhenge av om man benytter tall for stormflo utgitt av Kartverket eller Norconsult.

Tabell 13 Trygge kotehøyder inkludert tillegg for bølgepåvirkning for sikkerhetsklasse F2.

Område	Trygg kotehøyde, sikkerhetsklasse F2 inkludert havnnivåstigning fram til år 2100. Overskyllingsrate, $q = 1$ l/(sm)		Trygg kotehøyde, sikkerhetsklasse F2 inkludert havnnivåstigning fram til år 2100. Overskyllingsrate, $q = 10$ l/(sm)	
	Kartverket	Norconsult	Kartverket	Norconsult
Nord for Puddefjordsbrua	+5.4 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 3)		+3.7 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 3 og 4)	
Sør for Puddefjordsbrua	+3.8 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 6)	+3.9 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 5)	+2.9 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 5)	+3.1 m NN2000 (Lasttilfelle nr. 5)

Det er ikke utført egne oppskyllingsberegninger for sykehjemmet i sikkerhetsklasse F3. Norconsult foreslår at det utføres separate beregninger / vurderinger av nødvendig sikring av sykehjemmet når mer detaljerte tegninger foreligger. **Sykehjemmet kan sikres ved å heve terrenget over +2.61 m NN2000 og trekke bygget minimum 15 m inn på land.**

4.5 Oppsummert

Tabell 14 viser anbefalte byggehøyder for tiltak i sikkerhetsklasse F2 nord og sør for Puddefjordsbrua. Som et absolutt minimum må nye bygninger sikres mot et statisk vannstands nivå opp til +2.18 m over NN2000, noe som tilsvarer 200 års stormflo i år 2100 iht. Kartverket. Men det anbefales at man legger til grunn stormflonivåer utregnet av Norconsult hvor det er mulig. I tillegg må byggverk som legges innenfor den 10 m brede oppskyllingssonen sikres mot effekten fra bølger. Der terrenget ligger under dimensjonerende stormfloverdi må oppskyllingssonen trekkes 10 m inn på land fra kotelinjen som tilsvarer dimensjonerende stormfloverdi.

Tabell 14 Anbefalte byggehøyder for tiltak i sikkerhetsklasse F2.

Område	Situasjon	Minimumsnivåer	Anbefalte nivåer
Generelt for alle områder	200 års stormflo i år 2100	+2.18 m over NN2000 (Kartverket)	+2.41 m NN2000 (Norconsult)
	Laveste underkant gulvhøyde, minimum terrengnivå for flomsikker byggegrunn, bybanetrasé og gater.		
	Anbefalt kotehøyde for kystveier og hovedveier som binder sammen bydeler.	+2,68 m NN2000	+2,91 m NN2000
Nord for Puddefjordsbrua Innenfor en sone på 10 m inn på land fra kaikant/kystlinje (oppskyllingssonen)	Trygg kotehøyde for hovedinnganger, vinduer, evakueringsruter og nødutganger. Overskylling = 1 l/(sm)	+5.4 m NN2000	+5.4 m NN2000
	Trygg kotehøyde for publikumsområder, veger og fasader bygget for å tåle et vått klima. Overskylling = 10 l/(sm)	+3.7 m NN2000	+3.7 m NN2000
Sør for Puddefjordsbrua Innenfor en sone på 10 m inn på land fra kaikant/kystlinje (oppskyllingssonen)	Trygg kotehøyde for hovedinnganger, vinduer, evakueringsruter og nødutganger. Overskylling = 1 l/(sm)	+3.8 m NN2000	+3.9 m NN2000
	Trygg kotehøyde for publikumsområder, veger og fasader bygget for å tåle et vått klima. Overskylling = 10 l/(sm)	+2.9 m NN2000	+3.1 m NN2000

5 Sikring mot bølger og stormflo

Byggteknisk forskrift (TEK17) §7-2 fastsetter krav til sikkerhet mot flom fra bølger og stormflo for nye byggverk og eksisterende bygg som enten skal gjennomgå bruksendring eller hovedombygging. Paragrafen krever at byggverk plasseres, dimensjoneres eller sikres mot effekten fra stormflo og bølger.

I dette kapittelet er det forutsatt sikring iht. anbefalte nivåer i Tabell 14. Bruk av minimumsverdier skal avklares med Bergen kommune.

Det foreslås to ulike strategier i tråd med DSBs veileder [2] for å sikre områdene mot den samlede effekten fra stormflo, bølger og økt havnivå:

3. **Beskytte.** Tilstrekkelig sikkerhet oppnås hovedsakelig ved å plassere byggverk på flomsikker byggegrunn. Dette innebærer enten å bygge vanntette flomvoller/-murer for å sikre lavtliggende områder, eller å heve terrenget over dimensjonerende stormflonivå. Begge alternativer forutsetter at områdene er tilstrekkelig sikret mot bølger.
4. **Tilpasse.** Der det ikke er praktisk mulig å plassere byggverk i flomsikkert område, åpner paragrafen for at byggverk kan dimensjoneres og utformes for å tåle oversvømmelse. I slike tilfeller må det ikke føre til fare for mennesker eller større materielle skader, og man må være oppmerksom på restrisikoen. Dette vil i de fleste tilfeller gjelde utbygging av infrastruktur på eksisterende områder som ligger for lavt og/eller endringer på eksisterende byggverk. Dette gjelder også for konstruksjoner som av praktiske årsaker må ligge med nærhet til sjøen. Eksempler på slike konstruksjoner er pumpestasjoner og kaier.

Det anbefales at nye byggverk, som ikke av praktiske årsaker må ligge med nærhet til sjø, etableres på flomsikker grunn iht. punkt 1. beskytte.

De fleste byggverk som etableres innenfor planområdene vil falle under sikkerhetsklasse F2. Typiske byggverk i denne sikkerhetsklassen er skoler, kontorer og boliger. Unntaket er ved Laksevåg, hvor det planlegges et sykehjem. Det er antatt at sykehjemmet ikke er avgjørende for nasjonal eller regional beredskap og krisehåndtering slik at tiltaket faller utenfor TEK17 § 7-2 første ledd. Sykehjemmet må tilfredsstille sikkerhetsklasse F3, som innebærer at byggverk må sikres mot den samlede effekten fra stormflo- og bølgepåvirkning med 1 000-års returperiode.

For tiltak i sikkerhetsklasse F2 skal det sikres mot stormflo opp til minimum +2,41 m NN2000 + effekten fra bølger. I motsetning til bølger er det mer utfordrende å sikre mot stormflo som gir et permanent vanntrykk med stor evne til å trenge gjennom utilsiktede åpninger. Det anbefales derfor at underkant gulvhøyde legges på minimum +2,41 m NN2000 og forutsetter tilstrekkelig sikring mot bølger. Eventuelle kjelleranlegg under dette nivået må bygges vanntett. Alle vinduer og innganger inkludert nedkjøringsramper til kjelleranlegg bør legges over +2,41 m NN2000 og være tilstrekkelig sikret mot vanninntrengning fra bølger.

Eventuelle byggverk som faller under TEK17 § 7-2 første ledd må sikres mot et statisk vann-nivå opp til +2,8 m NN2000 (øvre estimat vannstand) pluss effekten fra bølger.

Det må sikres at alle nødutganger fører ut til flomsikker grunn.

I planleggingen må det antas at grunnvannstanden i permeabel grunn følger vann-nivået i sjøen med mindre det utføres egne beregninger på grunnvannstand. Dette vil ha påvirkning på dimensjonering av flomvern for lavtliggende områder. Videre må det tas høyde for oppdriftskrefter som kan oppstå ved økt grunnvannstand. For de lavere nivåene må det også sikres tiltak for å hindre tilbakeslag i avløp.

Det må sikres at vann ikke kan magasineres mot fasader, eksempelvis med drenering og/eller fall.

5.1 Veier, gater og bybane

Veier og gater skal utformes slik at konsekvenser fra bølger og stormflo begrenses. I henhold til kravene i håndbok N200 [7], skal veier og gater dimensjoneres for å tåle effekten fra 200-års stormflo i år 2100 i tillegg til påvirkningen fra bølger. I praksis betyr det at vegbanen skal legges over +2,41 m NN2000 i Bergen kommune forutsatt tilstrekkelig sikring mot bølger. Dette samsvarer med kravene til TEK17 sikkerhetsklasse F2.

Videre fremgår det i håndbok N100 [8] at kystveier skal etableres med et fribord på 0,5 meter over nivået for 200-års stormflo i år 2100, samt effekten fra bølger. Selv om håndbøkene ikke definerer hva som inngår i begrepet kystvei, er det i denne rapporten vurdert at kystveier omfatter hoved-transportårer.

Det anbefales at hovedveier, som knytter bydelene sammen, legges minimum 0,5 meter over nivået for 200-års stormflo i år 2100, og at det samtidig sikres mot bølger. Dette tilsvarer kote +2,91 pluss sikring mot bølger. Denne strategien vil sikre tilgang til bydelene for utrykningskjøretøy og lignende under ekstreme stormflosituasjoner.

I tidligere planarbeider for Bybanen er det lagt til grunn at banetraséen generelt skal tilfredsstille kravene til sikkerhetsklasse F2 [9]. Det vil si at bybanetraséen legges på minimum +2,41 m NN2000 og er tilstrekkelig sikret mot bølger. Dette kravet samsvarer med Statens vegvesens krav til veier og gater.

Sikring mot bølger er kun relevant når vegbanen eller bybanetraséen ligger 10 meter fra kystlinjen eller nærmere, forutsatt at terrenget mot sjøen ligger over +2,41 m NN2000. I slike tilfeller skal veier og bybanetraséen sikres opp til kote +3,7 m NN2000. Hovedveier og kystveier skal sikres opp til +4,2 m NN2000, noe som tilsvarer kote +3,7 m med et fribord på 0,5 meter. Sikring kan løses ved å for eksempel heve traséen eller etablere murer/voller for å redusere bølgeoverskyll.

I lavtliggende områder kan det være andre hensyn som krever at veier, gater og/eller bybanetraséen legges på et lavere nivå enn anbefalt. Slike hensyn kan gjelde tilpasning mot eksisterende områder med kulturarv, som for eksempel ved Bryggen. Og/eller at en heving av vegbanen/bybanen danner en barriere for eksisterende flomvannveier, som kan føre til ulempe for tilstøtende eiendommer. I slike tilfeller må det utføres egne særskilte vurderinger i samråd med Bergen kommune og Statsforvalteren. Restrisiko kan omfatte blant annet nedetid på delstrekninger for Bybanen, utfordrende tilkomst for utrykningskjøretøyer og oversvømte evakueringsruter. Langs kystlinjen må man være oppmerksom på effekten fra bølger, også ved lavere vannstander.

5.2 Forslag til nytt terrengnivå

I transformasjonsområder som Dokken og ved utfylling i sjø bør nytt terreng legges på et flomsikkert nivå i tråd med prinsippet om beskyttelse. Flomsikker byggegrunn oppnås ved å legge terrenget på eller over 200-års stormflonivå i år 2100 (kote +2,41 m NN2000) forutsatt tilstrekkelig sikring mot bølger.

Planprosessene omfatter større områder og legger opp til en gradvis utbygging fram mot 2050. Innen 2050 vil det komme nye krav til havnivåstigning, og man bør vurdere muligheten for at bygninger kan ha en levetid som strekker seg fram mot år 2150.

Ved å heve terrengnivået til kote +3,0 m NN2000 eller høyere, vil kravene til kystveier være ivaretatt, samtidig som områdene vil være godt sikret mot 200 års stormflo inkludert økt havnivå fram til år 2150 basert på dagens estimater, se Tabell 8.

Anbefalt terrengnivå for å oppnå flomsikker byggegrunn iht. TEK17 § 7-2 sikkerhetsklasse F2 settes til +2,41 m NN2000, men kan med fordel legges så høyt som +3,0 m NN2000 for å tilfredsstille krav til nye hovedveier og økt havnivå fram mot år 2150, se Tabell 8.

5.3 Forslag til bølgesikring

Bølgesikring av sjøfronter oppnås ved å etablere en forhøyning eller ved å trekke byggerk langt nok inn på land. Utfylling av moloer og andre installasjoner i sjøen er også et alternativ for å dempe bølger før de treffer sjøfrontene. Da vil det være mulig å senke kravet til bølgesikring lokalt, men slike alternativ er ikke videre vurdert.

Flere av dagens kaifronter ligger under anbefalte byggehøyder. Under visse forhold vil ferdsel for vanlig publikum ikke være anbefalt langs disse kaifrontene. Det forutsettes da at det finnes trygge alternative ruter til flomsikker grunn, og at områdene utformes slik at publikum har god oversikt mot sjøen og har retrett muligheter til flomsikkert område.

Figur 13 viser et eksempel på utforming av sjøfront hentet fra Stavanger. Her ligger boligblokkene på en høy og tett grunnmur av betong som strekker seg over flomsikkert nivå. Mot sjøen ligger turstien under anbefalte høyder, men spaserende kan benytte evakueringsruter opp til tørt land mellom byggene dersom det skulle bli behov.

Figur 14 viser et eksempel på tilpasning av sjøfronten i Molde. Her er det bygget en bølgesikring på landsiden av en eksisterende kai som ligger for lavt. Sikringen er bygget opp med granittblokker til trygg høyde med små passasjer for gående mellom blokkene. Langs landsiden av granittblokkene er det lagt inn dreneringsrenner for å hindre magasinerings av vann på landsiden. På sjøsiden kan blokkene for eksempel kamoufleres som sitteplasser til bruk under rolige forhold.



Figur 13 Tursti og boligbygg i Stavanger. Foto: Norconsult.



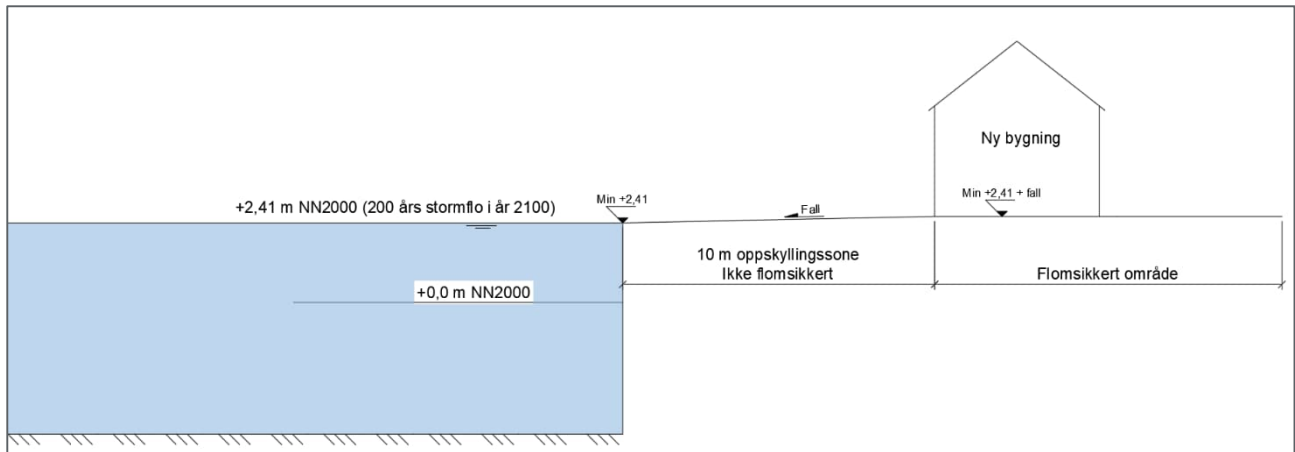
Figur 14 Sjøfronten i Molde. Foto: Norconsult.

Tabell 14 oppsummerer anbefalte byggehøyder mot stormflo og bølger for tiltak i sikkerhetsklasse F2. Videre foreslås det ulike tiltak for å oppnå flomsikker byggegrunn. I prinsippskissene er det skissert bygninger, men prisnippene gjelder også flomsikring for andre typer byggverk som gater, gang- og sykkelveier og bybanetraséen.

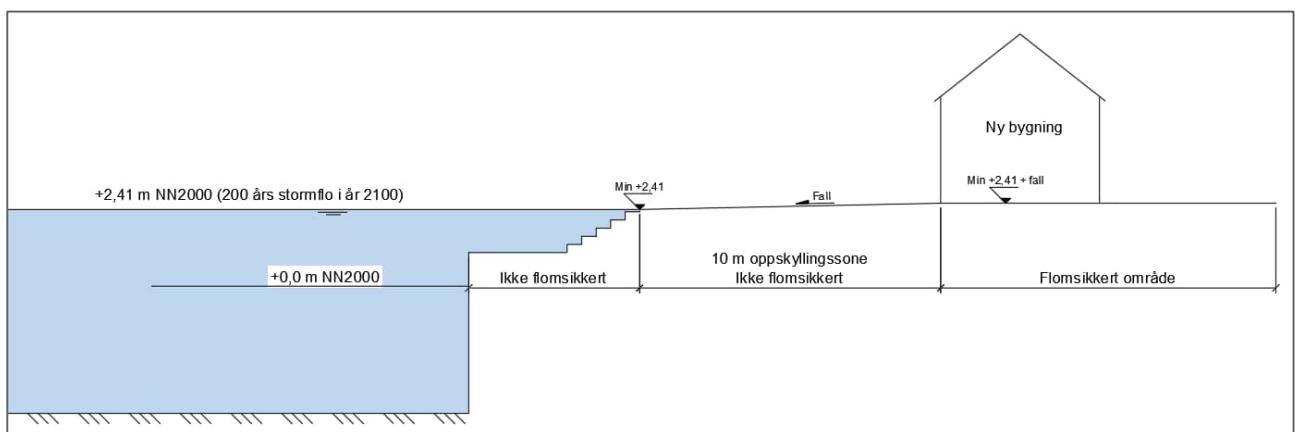
Trygg avstand inn på land for å unngå vanninntrenging fra bølger er vurdert til 10 m for tiltak i sikkerhetsklasse F2, og 15 m for tiltak i sikkerhetsklasse F3. Denne sonen refereres også til oppskyllingssonen og anses ikke som flomsikker. Det forutsettes at terrenget ligger over dimensjonerende stormflonivå og med fall mot sjøen. Se prinsipp i Figur 15. Den 10 m brede oppskyllingssonen kan kamoufleres som en kystpromenade forutsatt at det benyttes materialer som tåler vann og bølger. En slik promenade må formes slik at spaserende kan finne alternative ruter til flomsikkert område, og/eller at det bygges egne gang- og sykkelveger på landsiden av oppskyllingssonen som da anses som trygge.

Hvis sjøfronten eller terrenget ligger under dimensjonerende stormflonivå, skal oppskyllingssonen trekkes 10 m inn på land fra kotelinje +2,41 m NN2000, med mindre det foreligger stedsspesifikke bølgevurderinger. Se prinsipp i Figur 16.

Byggverk som plasseres innenfor den 10 m brede oppskyllingssonen må sikres opp til kote +3,7 m nord for Puddefjordsbrua. Sårbare elementer (vinduer og innganger osv.), som ligger utsatt mot bølgeoppskyll, må sikres opp til +5,4 m NN2000. Det gjelder først og fremst i situasjoner hvor bølger kan slå opp langs en fasade. På sørsiden av Puddefjordsbrua kan nivåer for bølgesikring senkes iht. Tabell 14 anbefalte nivåer.

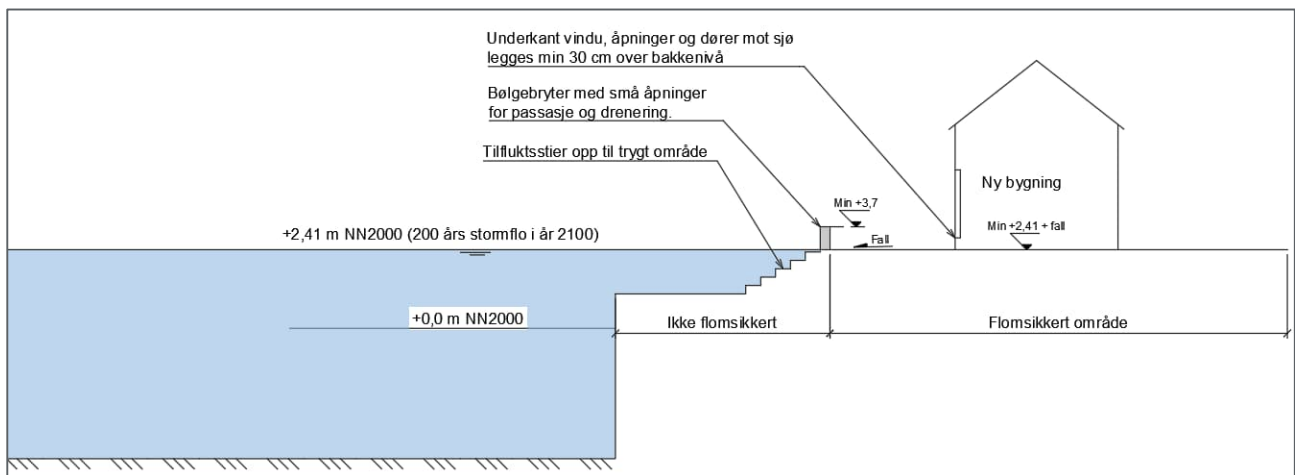


Figur 15 Definisjon av 10 m oppskyllingssone.



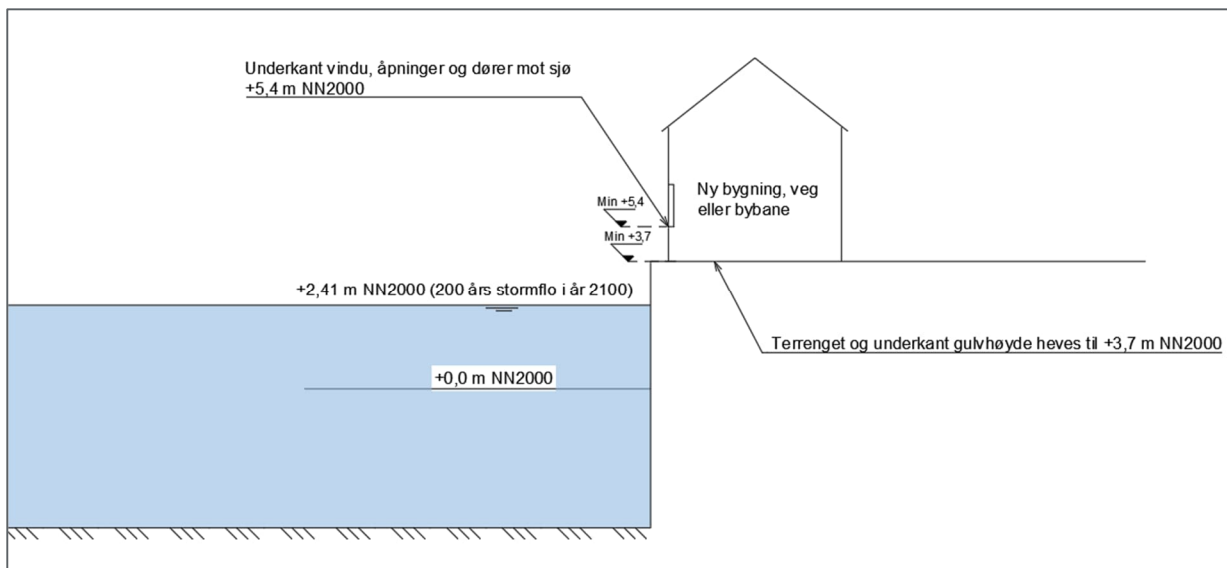
Figur 16 Definisjon av 10 m oppskyllingssone der terrenget nærmest sjøen ligger lavere enn dimensjonerende stormflonivå.

Figur 17 viser hvordan bebyggelse kan sikres mot stormflo og bølger ved å benytte løsningen fra sjøfronten i Molde i figur 14. Flomsikker byggegrunn oppnås ved å heve terrenget over kote +2,41 m NN2000 og sikre mot bølgeoverskyll med en forhøyning opp til kote +3,7 m NN2000. Man må regne med at noe vann kan skylle over bølgesikringen i ekstreme situasjoner, og det bør settes av minimum 2 m mellom bølgesikringen og ny bebyggelse. Dette arealet kan med fordel benyttes som flomsikker gang- og sykkelveg. Vinduer, innganger osv. mot sjøen bør avsluttes minimum 30 cm over bakkenivå. Det nedsenkede partiet nærmest sjøen kan for eksempel være en eksisterende sjøfront eller et område med nærhet til sjø.



Figur 17 Sikring mot bølger ved hjelp av en bølgebryter på land.

Dersom nye byggverk plasseres så nær kaifronten at det ikke er plass en separat bølgebryter mellom sjøen og bygget, bør terrenget/grunnmur og underkant gulvnivå heves til minimum +3,7 m NN2000. I eksterime situasjoner kan bølger skylle over dette nivået, og sårbare elementer mot sjøen bør derfor legges på eller over +5,4 m NN2000. Prinsippet er illustrert i Figur 18. Nødutganger kan ikke lede ut mot sjøen.



Figur 18 Sikring mot stormflo og bølger der nye bygninger legges nærmere sjøen enn 10 m uten separat bølgebryter.

5.4 Flomsikring av eksisterende, lavtliggende områder

Det er flere eksisterende bygninger innenfor planområdet som det er ønskelig å bevare. I tilfeller hvor det skal hjemles tiltak/ending på eksisterende byggverk stilles det samme krav til sikkerhet mot flom som for nye bygninger. For tiltak i sikkerhetsklasse F2 må det sikres opp til minimum +2.41 m NN2000 pluss effekten fra bølger.

Sikring av lavtliggende områder kan enten følge prinsippet om beksyttelse eller tilpasning. Beskyttelse av lavtliggende områder innebærer etablering av permanente flomvern eller heving av terrengnivå, mens tilpasning handler om å dimensjonere byggverket/veg/bane for å tåle oversvømmelse slik at større materielle skader unngås og ikke fører til fare for mennesker. Ved tilpasning av bygg og områder må restrisikoen ved oversvømmelse vurderes nøye. Norconsults erfaring er at slike tiltak er utfordrende å få godkjent.

5.4.1 Flomvern

Eksisterende områder som ligger for lavt kan sikres mot høy vannstand ved bruk av ulike flomvern. Tiltak må dimensjoneres for å tåle bølgekrefter bygges høye nok for å unngå bølgeoverskyll.

COWI har utført et godt stykke arbeid med forslag og traséer til avbøtende tiltak for de ulike områdene [4]. Rapporten nevner blant annet følgende alternativ:

- Bruk av mobile flomvern. For eksempel vannpølser og sandsekker.
- Oppgradering av eksisterende byggverk for å tåle oversvømmelse.
- Heving av eksisterende bygninger.
- Etablering av permanente flomvern. Murer kombinert med spunt ned til tette masser.

Det bør nevnes at bruk av mobile flomvern normalt ikke oppfyller kravene til flomsikkert område iht. TEK17. Mobile flomvern har også den ulempen at en aktør må stå ansvarlig for beredskapen og sikkerheten. Å pålegge framtidige brukere denne oppgaven anses som lite realistisk, og dette er en oppgave kommunen sannsynligvis må ha ansvaret for.

Mobile flomvern må lagres i nærheten av strekningene de er ment å beskytte, vedlikeholdes og testes minimum 1-2 ganger i året. Videre må det etableres egne beredskapsplaner for aktivisering av flomvernet. Mobilt flomvern kan være aktuelt som akutt sikringstiltak for eksisterende bebyggelse som ikke er planlagt transformert / endret. Ved bruk av mobile flomvern vises det også til NVEs veileder «Organisatoriske flomsikringstiltak» [10].

COWI foreslår også bruk av permanente flommurer kombinert med spunt ned til impermeabel grunn og gir forslag på mulige traséer. Et slikt system vil sikre større områder og kan tilpasses med arkitektoniske virkemidler. Murer / voller osv. må bygges høyt nok til å motstå bølgeoppskyll iht. tabell 14 eller trekkes langt nok inn på land. Et slikt system krever nærmere undersøkelse av grunnforhold, grunnvannsstrømninger, eksisterende infrastruktur og omlegging av tekniske anlegg (ledninger osv.). Det må også etableres drenasjeveger for overvann for å unngå magasinering av vann på landsiden. Stavanger kommune er i utredningsfasen av permanente flomvoller [11].

Der det er praktisk mulig bør heving av konstruksjoner og permanente flommurer prioriteres over bruk av mobile flomvern og/eller tilpasning av eksisterende byggverk. Dette er kostbare tiltak og krever god planlegging, men gir til gjengjeld lavere fare for oversvømmelse og materielle skader.

5.4.2 Tilpasning av eksisterende byggverk

TEK17 åpner for at byggverk kan utformes for å tåle en oversvømmelse. Ved oppgradering/tilpasning av bygninger som ligger for lavt kan man enten forsøke å bygge vanntett opp dimensjonerende nivå, eller tillate at bygget oversvømmes. Bygger man vanntett må det sikres at bygget tåler oppløftskreftene som oppstår. Ved å tillate at bygget oversvømmes vil oppløftskreftene utliknes. Under gis det generelle anbefalinger, men det vil være behov for individuelle vurderinger for hvert bygg.

Aktuelle avbøtende tiltak for oppgradering av bygninger:

- Skifte ut bygningsmaterialer med materialer som tåler vann og som lett kan tørkes (for eksempel betong/stål) for å minimere materielle skader.
- Heve det elektriske anlegget over dimensjonerende vannstand.
- Installere tilbakeslagsventiler på avløpsledninger.
- Det må påses at den bærende konstruksjonen tåler laster fra bølger og stormflo. Eventuelle skjevsetninger som følge av fukt må vurderes. Flom i byggverk må ikke føre til at dører og nødutganger går i lås.
- Etablere tilflukts arealer i flomsikre etasjer for brukere i flomutsatte etasjer. Forutsetter at bygget er dimensjonert for å tåle lastene.
- Etablere nye nødutganger og nødveger til tørt over dimensjonerende stormflo.
- Drivgods som dras inn fjorden ved storm og slås mot fasader kan utgjøre stor skade. Bygninger som ligger i nærhet til sjø bør sikres mot bølgeslag med en separat sikring tilsvarende sjøfronten i Molde i figur 14.
- Begrense bruken av 1. etasje til aktiviteter på dagtid (næring, garasje, lagring osv.). Varig opphold (sov) bør kun tillates i flomsikre etasjer.
- Bruk av spesialtilpassede, permanente eller mobile porter foran åpninger for å holde vannet ute. Det stilles krav til årlig testing og vedlikehold av utstyr. Samt at det foreligger en beredskapsplan og en oversikt over ansvarlige for aktivering av flomvern. Se eksempel fra Storbritannia og Flood Stop i figur 19 men tilsvarende produkter kan benyttes.
- Brukere av byggene må være klar over restrisikoen.
- Heving av eksisterende bygninger kan være aktuelt. COWI [4] har beskrevet alternativet mer i detalj.



Figur 19 Eksempel på barriere foran åpninger. Hentet fra nettsiden til Flood Stop men tilsvarende produkter kan benyttes. Merk at denne typen barriere vil hindre vann i å komme inn gjennom den aktuelle åpningen (døra)men for at det skal være tett må også de tilstøtende veggene være tette, og gulvet må tåle oppløftkrefter.

6 Referanser

- [1] Norconsult, «5207625/114 - Bølger og stormflo ved utbygging i Dokken,» 2021.
- [2] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), «Havnivåstigning og høye vannstander i samfunnsplanlegging,» 2024.
- [3] M. Simpson, A. Bonaduce, H. Borck, K. Breili, Ø. Breivik, O. Ravndal og K. Richter, «Sea-level rise and extremes in Norway: Observations and projections based on IPCC AR6,» Norsk klimaservicesenter, NCCS report 1/2024, 2024.
- [4] COWI, «Tiltak havnivåstigning Bergen sentrum,» 2024.
- [5] Kartverket, «Se havnivå,» [Internett]. Available: <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>.
- [6] T. Pullen, N. W. H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schuttrumpf og J. W. van der Meer, EurOtop Manual, 2007.
- [7] Statens vegvesen, «Håndbok N200 Vegbygging,» 2024.
- [8] Statens vegvesen, «N100 Veg- og gateutforming,» 2023.
- [9] Norconsult Norge AS, Asplan Viak, RA-DS0-011 Bybanen til Åsane - BT5. Reguleringsplan med teknisk forprosjekt, 2023.
- [10] NVE, «Rapport nr. 9/2023 - Organisatoriske flomsikringstiltak,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 2023.
- [11] Norconsult, «5202912 - Flomvern Holmen og Østre havn,» 2022.