

AUGUST 2024 A288718
BERGEN KOMMUNE

TILTAK HAVNIVÅSTIGNING BERGEN SENTRUM



AUGUST 2024
BERGEN KOMMUNE

TILTAK HAVNIVÅSTIGNING BERGEN SENTRUM

OPPDRAGSNR.

A268217

DOKUMENTNR.

01

VERSJON

3

UTGIVELSESDATO

30. august 2024

BESKRIVELSE

RAPPORT

UTARBEIDET

GEDM, MGGR,
OADO, JIJ

KONTROLLERT

JIJ, SVO

GODKJENT

BCKV

INNHold

Sammendrag	9
Forord	10
1 Innledning	11
1.1 Introduksjon	11
1.2 Avgrensing av rapporten	12
1.3 Havnivåstigning	12
1.4 Inndeling av tiltaksområder i Bergen sentrum	16
2 Skade på bygg i Bergen sentrum på grunn av stormflo, historisk og fremtidig havnivåstigning	19
2.1 Tidevann og stormflo	19
2.2 Høyeste observerte vannstander i Bergen	20
2.3 Effekten av beregnet havnivåstigning på frekvensen av opplevde oversvømmelser	21
2.4 Historiske skader på grunn av stormflo i Hordaland og Bergen	22
2.5 Skade på bygg på grunn av stormflohendelser med havnivåstigning	24
2.6 GPS innmålinger	24
2.7 Oversvømmelsesanalyse Bergen sentrum	26
3 Bakgrunn og metode for nytte-kostnadsanalyse	30
3.1 Teoretisk bakgrunn	30
3.2 Metode for å finne konsekvensen av havnivåstigning	31

4	Metode for vurdering av tiltak; DAPP og multikriterieanalyse	38
5	Etablering av nullalternativ for Bergen sentrum	40
5.1	Prissatte virkninger	40
5.2	Ikke-prissatte virkninger	44
5.3	Andre effekter	46
5.4	Vurdering av usikkerhet	47
6	Løsningsretninger	51
6.1	Innledning	51
6.2	Gi opp områder (Ikke gjør noe)	52
6.3	Mobile flomvern (hold linjen)	52
6.4	Permanente flomvern (hold linjen)	54
6.5	Spuntning av kaier (hold linjen)	55
6.6	Sluser/Stormflobarrierer (flytte sjøen utover)	55
6.7	Utfylling (flytte sjøen utover)	59
6.8	Heving av historiske bygninger (hold linjen)	60
6.9	Tiltak for å gjøre bygninger og infrastruktur mer robuste	61
6.10	Usikkerhet: Endringer i kostnadene ved innføring av tiltak mot havnivåstigning.	62
7	Sandviken	63
7.1	Introduksjon	63
7.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	64
7.3	Etablering av nullalternativet	66
7.4	Vurdering av tiltak	69
7.5	DAPP	74
7.6	Samlet vurdering for Sandviken (DAPP)	75
8	Vågen	77
8.1	Introduksjon	77
8.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	78
8.3	Turisme	80
8.4	Etablering av nullalternativ	81
8.5	Vurdering av tiltak	83
8.6	DAPP	88
8.7	Samlet vurdering	89
9	Dokken	90
9.1	Introduksjon	90
9.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	90
9.3	Etablering av nullalternativet	93
9.4	Vurdering av tiltak	95

9.5	DAPP	100
9.6	Samlet vurdering	101
10	Damsgårdssundet	102
10.1	Introduksjon	102
10.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	102
10.3	Etablering av nullalternativet	104
10.4	Vurdering av tiltak	106
10.5	DAPP	111
10.6	Samlet vurdering	112
11	Store Lungegårdsvannet	113
11.1	Introduksjon	113
11.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	114
11.3	Etablering av nullalternativet	116
11.4	Vurdering av tiltak	119
11.5	DAPP	124
11.6	Samlet vurdering	125
12	Laksevåg	126
12.1	Introduksjon	126
12.2	Utsatte bygninger og infrastruktur	126
12.3	Etablering av nullalternativet	128
12.4	Vurdering av tiltak	130
12.5	DAPP	135
12.6	Samlet vurdering	136
13	Diskusjon	137
13.1	Fordeler og ulemper med de ulike tiltakene	137
13.2	Samlet samfunnsøkonomisk lønnsomhet	138
13.3	Problemstillinger og avgrensinger	141
13.4	Utarbeiding av tiltak i planlegging	141
14	Anbefalinger	143
14.1	Forslag til videre arbeid	144

15	Referanser	145
16	Vedlegg A: Oversvømmelseskart	146
17	Vedlegg B: Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang i året per utslippsscenario	155
18	Vedlegg C: Sannsynligheten for ulike havnivå	160
19	Vedlegg D: Ulike typer stormflobarrierer	162
20	Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser	164
20.1	Sandviken	164
20.2	Vågen	165
20.3	Dokken	166
20.4	Damsgårdssundet	167
20.5	Store Lungegårdsvannet	167
20.6	Laksevåg	168
21	Vedlegg F: Usikkerhetstabeller	170
21.1	Sandviken	170
21.2	Vågen	171
21.3	Dokken	171
21.4	Damsgårdssundet	172
21.5	Store Lungegårdsvannet	173
21.6	Laksevåg	174

Sammendrag

Kystlinjen i Bergen sentrum er utsatt for stormflo og havnivåstigning. Klimaendringene vil føre til økte utfordringer med oversvømmelser av bygninger og veier langs kystlinjen i fremtiden. Havstigning vil føre til en betydelig økning i flomfrekvensen, der en 10 cm havnivåstigning vil føre til en tredobling av flomrisikoen på mange steder. Dette betyr at hvis ikke mindre tilpasningstiltak blir tatt i tide, vil oversvømmelse utvikle seg til et kronisk problem. Dette gjelder både historiske bygg i Sandviken og på Bryggen, og moderne bygg langs sørlige Vågen, Dokken, Damsgårdssundet, Laksevåg og Store Lungegårdsvannet.

I denne rapporten ser vi på hvilke tiltak er best egnet for å redusere konsekvenser av havnivåstigning i kombinasjon med stormflobølger. Dette vil bli omtalt som konsekvenser for havnivåstigning heretter. Vi vil se på konsekvensen av havnivåstigning på bygg og infrastruktur innenfor analyseområdet (Bergen sentrum) ved ulike havnivå. Denne rapporten tar utgangspunkt i DSB sitt anbefalte klimascenario SSP 3-7-0, med øvre 83% usikkerhetsintervall for kommunal planlegging. For Bergen betyr dette at vi må ta hensyn til en havnivåstigning på 81 cm år 2100.

Det er vurdert forskjellige tiltak for å håndtere havnivåstigningsproblemet, inkludert mobilt flomvern, permanente flomvern (mur), utfyllinger i sjøen og barrierer/sluser for å stenge vågene. Kostnadene for disse tiltakene må veies opp mot nytten, dette gjøres gjennom en samfunnsøkonomisk analyse. Analysene viser at både mobile flomvern og permanente flomvern kan være samfunnsøkonomisk lønnsomme. I tillegg til de prissatte vurderingene er det gjort en vurdering av de ikke-prissatt konsekvensene. Det mest kostnadseffektive tiltaket for de neste tiårene er det relativt rimelige mobile flomvernet for å sikre mot stormflohendelser. Når vi ser på hvert område hver for seg kommer dette godt ut i en samfunnsøkonomisk vurdering, men når vi ser på hele området under et kan det bli krevende å skulle sette ut mobile flomvern langs så store deler av kystlinjen. Det bør derfor vurderes permanente flomvern (mur) som mulighet selv om dette er mer kostnadsfullt. Dette tiltaket krever ingen innsats under en stormflohendelse.

Det er planlagt store utfyllinger i sjøen i Bergen sentrum (for eksempel Dokken, Laksevågneset, Laksevåg verft, Damsgårdssundet). Om de prosjektene gjennomføres vil det kunne bidra til å beskytte dagens kystlinje fra oversvømmelser, spesielt på Laksevåg. Vi anbefaler derfor at planer om utfyllinger integreres i håndteringen av havnivåproblematikken i Bergen. Barrierer eller sluser kan etableres for å midlertidig stenge Vågen og området Damsgårdssundet - Store Lungegårdsvannet under framtidige situasjoner med stormflo og havnivåstigning. På lang sikt, når havnivået har steget, er sluser/barrierer i Vågen den beste løsningen for å beskytte området og samtidig ta vare på landskapet/verdensarvområdet på best mulig måte. Når det gjelder å sikre området Damsgårdssundet og Store Lungegårdsvann, er det ikke like klart om sluser er den beste løsningen. Området preges av moderne bygg og mur kan integreres i landskap som foreløpig vil beskytte godt. Ved reetablering av bygninger i disse områdene anbefales det å heve terrenget mest mulig (for eksempel ved transformasjon fra gammel industri til moderne boliger).

Jekking er et tiltak som kan benyttes på individuelle trebygg for å heve dem opp mot flomsikkert nivå. Erfaring med dette tiltaket finnes allerede på steder som Bryggen. Selv om jekking kan være kostbart, kan det tilpasses for å bevare bygninger med høye kulturminneverdier, spesielt i områdene langs Sandviken.

Forord

Denne rapporten er et resultat av oppdraget gitt av Bergen kommune til COWI for å undersøke tiltak for å håndtere stormflo og havnivåstigning i Bergen sentrum. Prosjektet ble ledet av Bjørn Christian Kvisvik og Gerard Dam fra COWI, i samarbeid med Jakob Grandin, Sofie Jordheim, Hogne Hjelle og Marit Aase fra Bergen kommune.

En rekke fagpersoner fra COWI har bidratt til rapporten. Merete Grøtt Grinde og Oskar Arnesen Dønnum har bidratt innen samfunnsøkonomi, Jeppe Sikker Jensen innen DAPP, Petter Jacob Fredriksen innen bygg, Karsten Gaborg og Hanne Svensen med kostnadsanalyser, Sanne Loven Damgaard innen landskapsarkitektur, og Bengt Zseni-Clausen innen vann- og avløpssystemer (VA).

Prosjektet er finansiert av Miljødirektoratets tilskudd til klimatilpasning og Bergen kommune

Vi ønsker å takke alle involverte for deres bidrag og engasjement i prosjektet. Deres ekspertise og innsats har vært avgjørende for den omfattende analysen og anbefalingene som presenteres i denne rapporten.

Bjørn Christian Kvisvik.
Prosjektleder, COWI

1 Innledning

1.1 Introduksjon

På grunn av global oppvarming er det globale havnivået forventet å stige i fremtiden. For Norge er det særlig Vest- og Sørlandet som er utsatt (NCCS, 2024). Jo høyere oppvarming desto raskere havnivåstigningen. På Vestlandet viser målinger at havnivåstigningen allerede påvirker sjøvannstanden (NCCS, 2024).

I Bergen er det mange bygninger, veier og store områder som vil bli oversvømt dersom stormflo inntreffer i kombinasjon med fremskrevet havnivåstigning. De mest sårbare områdene ligger i hovedsak rundt Bryggen som er UNESCO verdensarvområde. Det er derfor nødvendig å se på tiltak for å begrense skade som følge av havnivåstigning på både kort og lang sikt.

Det er tidligere vurdert tiltak som ytre barrierer i fjordarmene rundt Bergen, indre barrierer i Vågen, Damsgårdssundet og Store Lungegårdsvann, og spunting av kaiene rundt Vågen (Grieg Foundation, Visjon Vest og GC Rieber Fondene, 2009).

Bergen kommune ønsker å sette i gang videre planlegging med risikoreducerende tiltak (f.eks. indre barrierer) og har gitt oppdraget «Utredning av tiltak for å håndtere havnivåstigning» til COWI.

Det sentrale spørsmålet er:

Hvilke tiltak er best egnet for å redusere konsekvenser av havnivåstigning i kombinasjon med stormflobølger (omtalt som konsekvenser for havnivåstigning heretter) på bygg og infrastruktur innenfor analyseområdet (Bergen sentrum) ved ulike havnivå.

1.2 Avgrensning av rapporten

Denne rapporten tar for seg konsekvensene av havnivåstigning frem til år 2100 for sjøområder i Bergen sentrum. Hovedfokus er utfordringene knyttet til oversvømmelser som kan oppstå som en følge av økt havnivå og stormflohendelser. Det er mange andre problemer forbundet med generell havnivåstigning og klimaendringer. Det gjelder for eksempel VA-infrastruktur, maritime problemer med høyder på kaier som blir for lave, endringer i grunnvannstand, overvann og flom fra land. Dette er konsekvenser som ikke blir vurdert i denne rapporten.

Målet med denne rapporten er å forstå og ta tak i utfordringene oversvømmelser utgjør for kystområder, samt anbefale effektive tiltak for å beskytte samfunnet og infrastrukturen mot fremtidig havnivåstigning i Bergen sentrum.

Vurderingene er knyttet til klimascenarier som definert i siste IPCC rapporten og bearbeidet i NCCS (2024) for Norge. Vi tar hensyn til DSB sine utgangspunkt for arealplanlegging knyttet til NCCS (2024) tallene (DSB, 2024). I rapporten brukes NN2000 som vertikalt referansenivå og alle henvisninger i høyde og vannstand er knyttet til det.

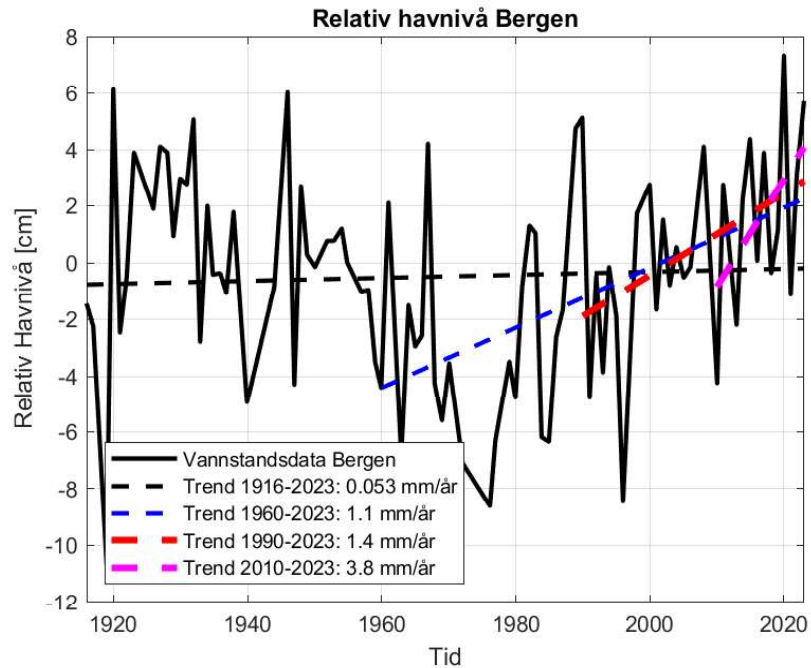
1.3 Havnivåstigning

Det er utslipp av klimagasser fra menneskelig aktivitet, hovedsakelig forbrenning av fossile brensler, som fører til global oppvarming og stigende havnivåer. Dette representerer en økende risiko som kystnasjoner, inkludert Norge, må tilpasse seg til. Konsekvensene av klimagassutslippene, den globale oppvarmingen, og dermed havnivåstigning vil skje over flere hundre år. Dette er på grunn av at det er lang responstid i havet og isbreene. Havnivåstigning er dermed en langsiktig utfordring som vil kreve håndtering over flere generasjoner. Forebygging av utslipp er først og fremst nødvendig for å redusere de langsiktige risikoene knyttet til oversvømming. Det er også nødvendig å se på tiltak for å begrense skade som følge av havnivåstigning på både kort og lang sikt.

Betydelige utslippskutt vil bidra til å begrense ytterligere akselerasjon av havnivået. Det vil også redusere risikoen for at terskler for stabiliteten til store isbreer på Grønland og Antarktis overskrides, noe som ville resultere i flere meters havnivåstigning. Det er viktig å være klar over at en slik havnivåstigning vil være permanent og irreversibel på menneskelig tidsskala og vil utgjøre betydelige utfordringer for tilpasning (NCCS, 2024)

På grunn av global oppvarming går Norge fra å ha generelt fallende eller stabile havnivåer til stigende havnivåer. Med økende oppvarming vil havnivåstigningen bli raskere, og større deler av landet vil oppleve stigende havnivåer. Havnivåstigning vil føre til økte oversvømmelser som når høyere og lenger innover i landet. Selv om stormflo ofte er svært lokale på grunn av bratt topografi, betyr den lange og komplekse kystlinjen at store områder kan bli utsatt. Kystbyer, infrastruktur og mange kystområder vil være i faresonen. Havstigning vil også føre til en betydelig økning i flomfrekvensen, der en 10 cm havnivåstigning vil føre til en tredobling av stormflomrisikoen på mange steder. Dette betyr at hvis ikke tilpasningstiltak blir tatt i tide, vil stormflo utvikle seg til et kronisk problem.

Norsk klimaservicesenter (NCCS) har i 2024 kommet med oppdaterte tall for fremtidig havnivåstigning i Norge (NCCS, 2024). NCCS (2024) rapporten viser at havnivåstigning allerede har begynt å påvirke deler av Norge, spesielt i Vest- og Sør-Norge. (NCCS, 2024) viser at relativ havnivåstigning i Bergen har vært 0 +/- 0,2 mm/år over periode 1916-2022, 1,0 +/- 0,3 mm/år i periode 1960-2022, men at havnivåstigning var 1,5 +/- 0,8 mm/år fra 1993-2022. Dette vises visuelt i figur 1-1 hvor fra ca. 1960 havnivået har steget i Bergen. Trendlinjene i figur 1-1 viser at havnivåstigning i Bergen er allerede pågående og at det ser ut til å ha akselerert de siste tiårene.



Figur 1-1 Relativ havnivå i Bergen 1916-2023 (Kilde: sehavnivå.no). Trendlinjer beregnet av COWI.

NCCS (2024) tallene er basert på IPCCs (Intergovernmental Panel on Climate Change) sjette rapport om klimaendringer (AR6 – Assessment Report 6). IPCC rapporten har definert forskjellige klimascenarioer for fremtidig klimagassutslipp. Økte mengder klimagasser i atmosfæren vil føre til at mer varme blir fanget i klimasystemet. Fremtidige utslippsscenarioer kalles for Shared Socioeconomic Pathways (SSP) og projiserer alternative globale sosioøkonomiske endringer frem mot år 2100 (Tabell 1-1).

Tabell 1-1: Definerte klimagassutslippsscenarioer (Shared Socioeconomic Pathways -SSP) ifølge IPCC (AR6)

SSP	Scenario	Forventet temperaturøkning (2081- 2100)
SSP1-1.9	Veldig lave klimagassutslipp; CO ₂ utslipp kuttet til netto 0 i ca 2050	1,0 – 1,8 °C
SSP1-2.6	Lave klimagassutslipp; CO ₂ utslipp kuttet til netto 0 i ca 2075	1,3 – 2,4 °C
SSP2-4.5	Mellomstort klimagassutslipp; CO ₂ utslipp blir ca som i dag til 2050. Etter det kutt av utslipp, men ikke helt 0 i 2100	2,1 – 3,5 °C
SSP3-7.0	Høye klimagassutslipp; CO ₂ utslipp doubles i 2100	2,8 – 4,6 °C
SSP5-8.5	Veldig høye klimagassutslipp; CO ₂ utslipp triplet i 2100	3,3 – 5,7 °C

Havnivåstigningstallene for Bergen som NNCS har kommet frem til presenteres i Tabell 1-2. (NCCS, 2024) For hvert scenario presenteres en medianverdi (50%) og en 13 og 83% utfallsrom i usikkerhetsintervallet.

Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) anbefaler scenarioet SSP 3-7.0 i kommunal planlegging i Norge (DSB, 2024). Videre anbefaler DSB å bruke den øvre 83% usikkerhetsintervall i planleggingen som føre-var prinsippet. **For Bergen betyr dette at en havnivåstigning på 81 cm må tas i betraktning ved kommunal planlegging for år 2100** (Tabell 1-2). Dette scenarioet er også hovedalternativet og vil ha hovedfokus i denne rapporten. De andre scenarioene blir vurdert for å se på usikkerhet.

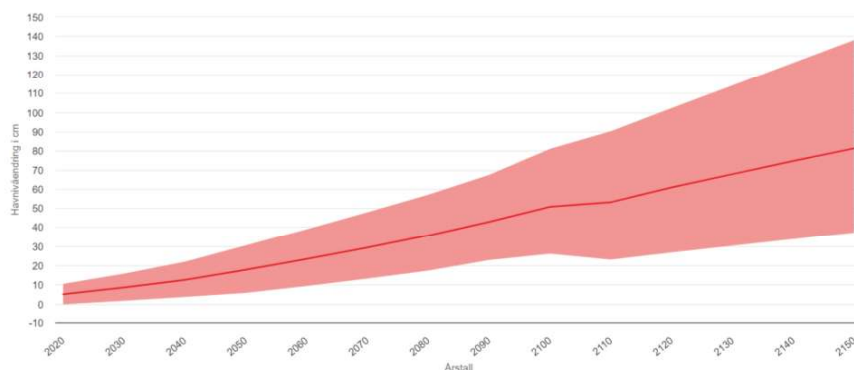
Tabell 1-2 viser medianverdien (50%) og sannsynlig utfallsrom i parentes (17-83%); det vil si de midtre to tredjedeler av utfallsrommet. For det svært høye SSP5-8.5 scenario vises også tall for et utfall med lav sannsynlighet, men stor konsekvens, som innebærer raskere istapp fra innlandsisen i Antarktis. Tallene fra (NCCS, 2024).

Tabell 1-2: Framskrevet relativ havnivåendring i Bergen fram mot 2100 og 2150 i forhold til perioden 1995-2014.

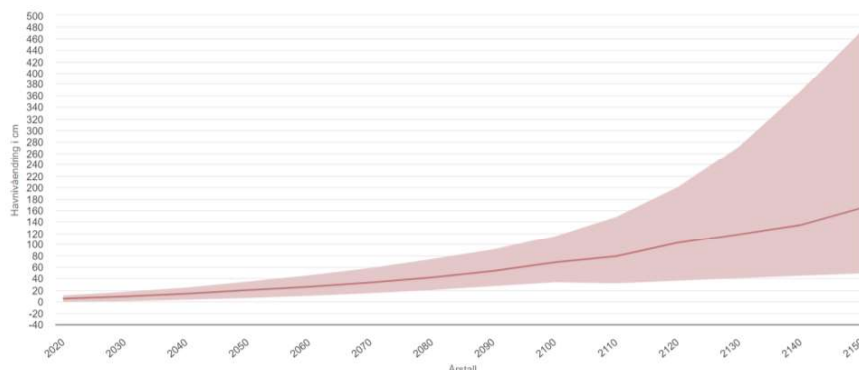
Scenarioer	År 2100	År 2150
SSP1-1.9 (Middels faglig sikkerhet)	25 cm (-1 til 53 cm)	34 cm (-8 til 81 cm)
SSP1-2.6 (Middels faglig sikkerhet)	30 cm (8 til 56 cm)	37 cm (2 til 80 cm)
SSP3-7.0 (Middels faglig sikkerhet)	51 cm (26 til 81 cm)	81 cm (37 til 138 cm)
SSP5-8.5 (Middels faglig sikkerhet)	61 cm (35 til 94 cm)	100 cm (49 til 163 cm)
SSP5-8.5 Lav sannsynlig – stor konsekvens (LSSK)	68 cm (33 til 114 cm)	164 cm (49 til 474 cm)

Figur 1-2 viser havnivåendringer i Bergen over tid i henhold til scenario SSP 3-7.0. Det vises at havnivå også kommer til å stige etter 2100. Forventet utfallsrom i 2150 ligger mellom 38 cm og 138 cm, med en medianverdi på 81 cm (Tabell 1-2)

I det mest ekstreme utslippsscenarioet, SSP 5-8.5 med lav sannsynlig – høy konsekvens er tallene enda høyere (se Figur 1-3). For 2100 er havnivåstigningen sannsynlig mellom 33 og 114 cm med en median verdi på 68cm. For 2150 øker disse tallene til mellom 49 og 474 cm, med en medianverdi på 164 cm (Tabell 1-2).



Figur 1-2 Endring i havnivå i Bergen ifølge klimautslippsscenario SSP 3-7.0. Heltrukken linje viser medianverdien for framskrivningen, mens det fargete området viser det sannsynlige utfallsrommet for havnivåendringen. Fra: sehavniva.no



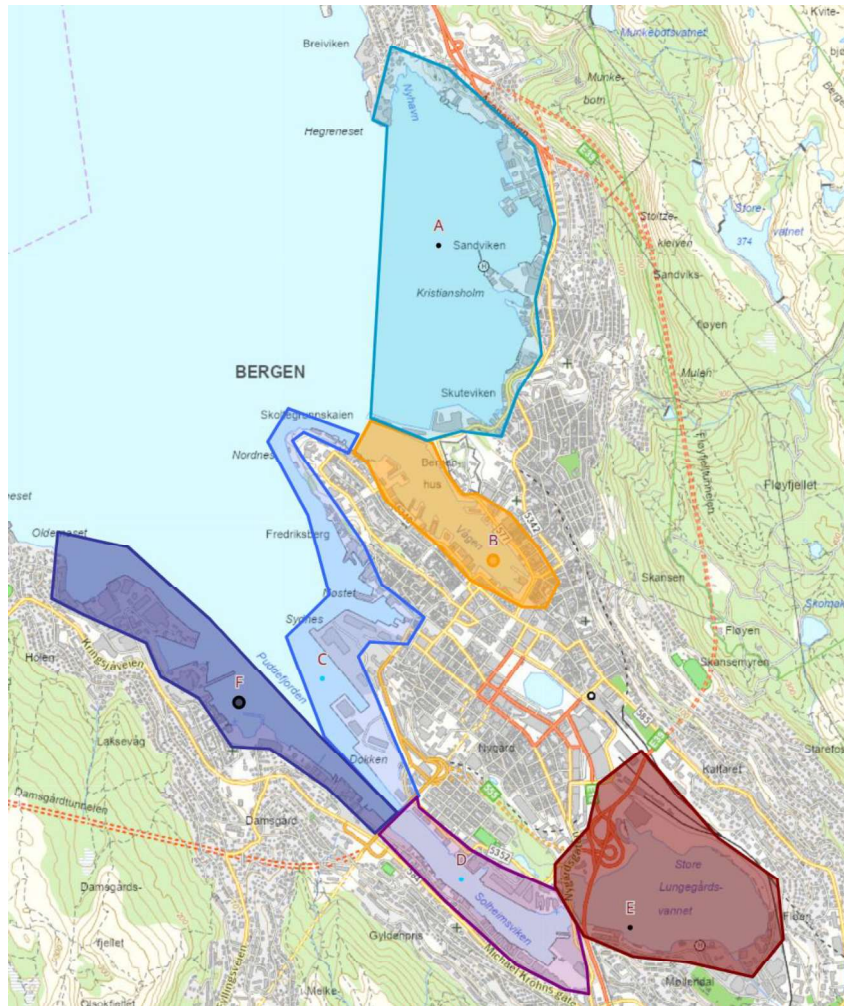
Figur 1-3 Endringer i havnivå i Bergen ifølge klimautslippsscenario SSP 5-8.5 (lav sannsynlig – stor konsekvens). Heltrukken linje viser medianverdien for framskrivingen, mens det fargete området viser det sannsynlige utfallsrommet for havnivåendringen. Fra: sehavniva.no

1.4 Inndeling av tiltaksområder i Bergen sentrum

Bergen sentrum er i denne rapporten inndelt i ulike tiltaksområder basert på naturgitte forutsetninger, utførte tiltak, og fremtidig planer for områdene (figur 1-4). Det er vurdert som hensiktsmessig at tiltaksområdene har en del fellesfaktorer for å kunne gi tilpassende råd om tiltak for hvert enkelt område. Dette vil gi mer målrettede tiltak for de utvalgte områdene, og det vil være lettere å velge ut de mest effektive og lønnsomme tiltakene for området.

Følgende delområdene blir definert (Figur 1-4):

- > Delområde A: Sandviken
- > Delområde B: Vågen
- > Delområde C: Dokken
- > Delområde D: Damsgårdssundet
- > Delområde E: Store Lundegårdsvannet
- > Delområde F: Laksevåg



Figur 1-4 Inndeling i områder

Tabell 1-3 oppsummerer egenskapene for de forskjellige delområdene.

Tabell 1-3: Egenskaper for de forskjellige områdene

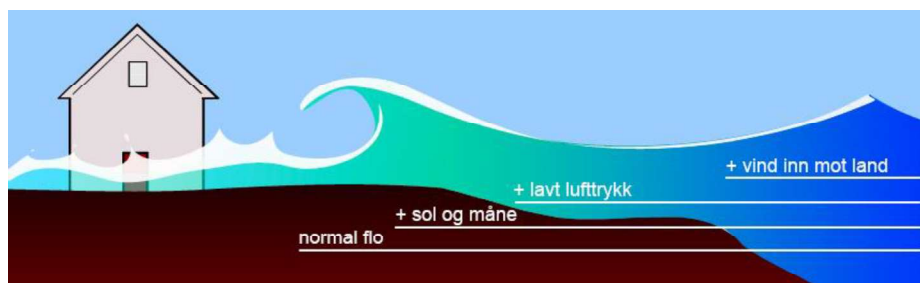
Område	Navn	Bølge eksponert 1)	Kulturminne-verdi 2)	Området kan stenges av 3)	Planlagte nye utfyllinger mot sjø 4)
A	Sandviken	Ja	Ja	Nei	Små lokale utfyllinger
B	Vågen	Nei	Ja	Ja	Nei
C	Dokken	Begrenset	Delvis	Nei	Ja
D	Damsgårds-sundet	Nei	Nei	Ja	Nei
E	Store Lunge gårds vannet	Nei	Nei	Ja	Nei
F	Laksevåg	Ja	Nei	Nei	Ja

- 1) Bølge eksponert: Det ligger mot åpent hav (Byfjorden). Særlig områder som ligger eksponert mot nordvest ligger utsatt. Strøklengden over Byfjorden er lengst og gir potensiale for størst bølger.
- 2) Områder som har bygninger med høye kulturminneverdier, spesielt i områdene langs Sandviken og Vågen (Bryggen).
- 3) Området kan stenges av: Det er mulig å bruke sluser for å stenge inne området under stormflo, siden området har relativ trang åpning mot sjø.
- 4) Planlagte fyllinger: Rundt Laksevåg er det planlagt nye fyllinger i sjø. Høyden av disse fyllingene blir planlagt på stormflosikkert nivå. Fordelen med disse fyllingene er at de også beskytter området bak som ligger utsatt i dag, se videre Kapittel 6.7.

2 Skade på bygg i Bergen sentrum på grunn av stormflo, historisk og fremtidig havnivåstigning

2.1 Tidevann og stormflo

Mange ulike prosesser spiller en rolle ved stormflo i dag (Figur 2-1). Det er hovedsakelig to faktorer som påvirker vannstanden i havet: astronomisk tidevann og værvirkninger.



Figur 2-1 Prosesser som bidrar til en stormflohendelse (Ronald Toppe / Scary Weather)

Astronomisk tidevann er en naturlig endring i vannstanden forårsaket av tyngdekrefter fra månen og solen. Dette har en periodisk tidsvariasjon på 12 timer og 25 minutter. I Bergen er gjennomsnittlig forskjell mellom høyvann og lavvann 90 cm. Under nymåne og fullmåne forsterkes tyngdekraftene fra solen og månen, og dermed blir tidevannet ekstra høyt og lavt. Den gjennomsnittlige forskjellen mellom høyvann og lavvann blir da 122 cm, noe som kalles for springflo og springfjære. Ved halvmåne er forskjellen mindre enn vanlig, og dette kalles nippflo og nippfjære. Gjennomsnittlig forskjell mellom høyvann og lavvann under halvmåne er 58 cm. En full syklus av springflo og nippflo har en periode på 14 dager. Siden bevegelsene fra solen og månen er godt kjent, kan vi forutsi astronomisk tidevann ved hjelp av tidevanntabeller.

For ekstrem stormflo er forutsetningen at det er springflo, det vil si enten nymåne eller fullmåne, da høyvannet er ekstra høyt.

Stormflo oppstår når vannstanden er høyere enn forventet ut fra det astronomiske tidevannet. Dette skyldes værforholdenes påvirkning på tidevannet. Lavt lufttrykk og vind resulterer i at vann blir presset inn mot kysten. Lufttrykkforskjeller over havet forskyver vannmasser og dermed vannstander. Som en generell tommelfingerregel kan vi si at en reduksjon i lufttrykket med 1 hPa medfører en økning i havnivået med 1 cm.

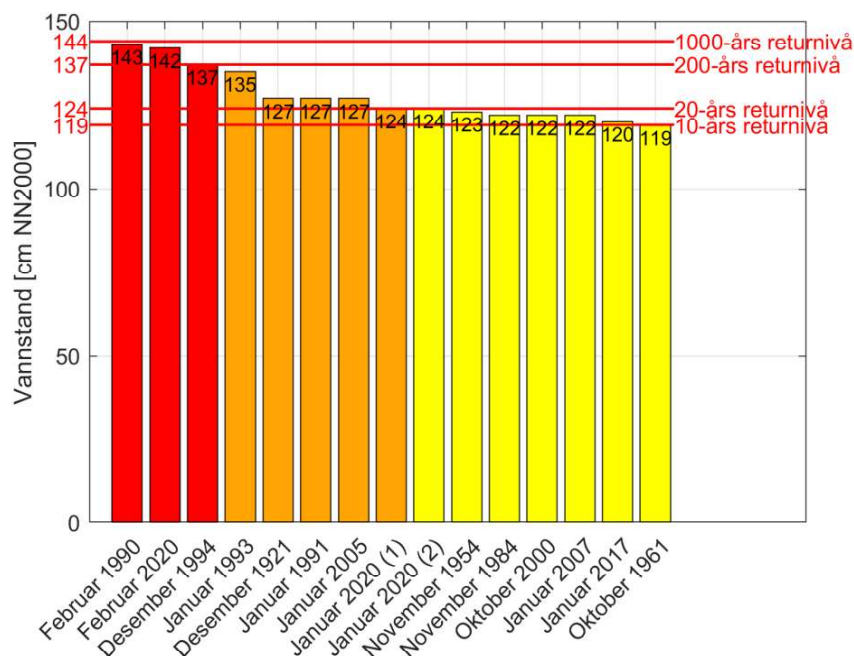
Vind som blåser fra havet mot kysten, også kjent som pålandsvind, kan også påvirke vannstanden. Effekten av vindens økning av vannstanden avhenger av dybden på havområdet. Vestlandet har dypere sjøområder utenfor kysten, noe som begrenser vindens effekt på vannstanden. Andre steder med grunnere havområder, som Nederland og Tyskland, kan oppleve at vind er den dominerende faktoren ved stormflo, og vannstanden kan være 200-300 cm høyere enn det astronomiske tidevannet. Den maksimale målte værinduserte vannstanden i Bergen var 95 cm under den høye floen den 12. januar 2007. Det er også verdt å merke seg at den dominerende vindretningen langs norskekysten kommer fra sørvest. På grunn av jordens rotasjon vil vannet forskyves mot

kysten når det blåser sørvestlig vind. Dette fenomenet kalles Ekman-transport (Richter, Nilsen, & Drange, 2012).

Lavtrykk dominerer over vind når det gjelder høye vannstander under en stormflo i Bergen (Norconsult/Asplan Viak, 2019). De siste betydelige stormflodene fra 1990-tallet har forekommet uten betydelig vind (og dermed bølger) når vannstanden er på sitt høyeste (Norconsult/Asplan Viak, 2019).

2.2 Høyeste observerte vannstander i Bergen

Bergen har opplevd flere kraftige stormflohendelser som har ført til oversvømmelse av deler av Bryggen ved Dreggekaien. Den høyeste registrerte stormfloen skjedde den 27. februar 1990 og nådde en rekordvannstand på 143 cm NN2000 (Figur 2-2). Det var under denne hendelsen en kombinasjon av astronomisk springflo med nymåne (Gjevik, 2009) og en ekstra vannstand på ca. 75 cm som kom på grunn av et lavtrykksystem som var i nærheten av byen (950 hPa). Det var ikke merkbar vind under selve hendelsen. Det skjedde noe lignende februar 2020, da var det stormflo som ga en vannstand på 142 cm. Dette er den nest høyeste registeret stormfloen som er registret i Bergen. De nevnte stormflohendelsene ble klassifisert mellom en 200 og 1000-års hendelse ifølge statistikken fra NCCS (2024), se Tabell 2-1.



Figur 2-2 De 15 høyeste observerte stormflohendelser i Bergen (Returperioder definert i NCCS, 2024)

NCCS (2024) har sett på historiske observerte vannstander i Bergen og har gjort en ekstremver dianalyse basert på denne langvarige tidsserien. Tabell 2-1 viser disse ekstremverdier i vannstand i Bergen under dagens forhold og for fremtidig havnivåstigning.

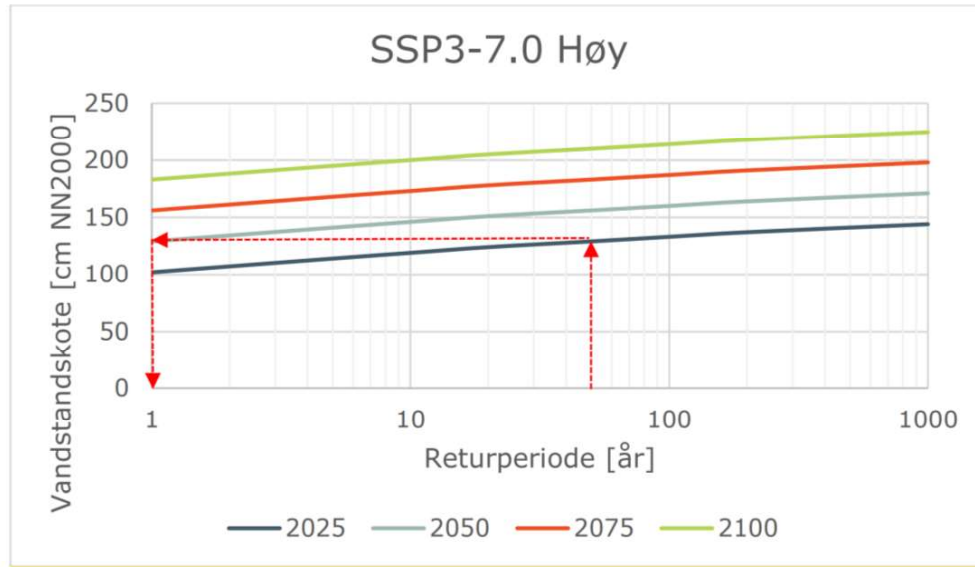
Tabell 2-1: Ekstremverdier vannstand i Bergen med returperioder (NCCS, 2024) i dag uten og med havnivåstigning

Returperioder	Vannstand i dagens situasjon (cm NN2000)	Vannstand i fremtiden med 81 cm havnivåstigning (SSP3-7-0, øvre 83% intervall, cm NN2000)
Årlig høyvann (stormflo)	102 cm	183 cm
5-års høyvann (stormflo)	114 cm	195 cm
10-års høyvann (stormflo)	119 cm	200 cm
20-års høyvann (stormflo)	124 cm (F1)	205 cm
50-års høyvann (stormflo)	129 cm	210 cm
100-års høyvann (stormflo)	133 cm	214 cm
200-års høyvann (stormflo)	137 cm	218 cm (F2)
1000-års høyvann (stormflo)	144 cm	225 cm (F3)

2.3 Effekten av beregnet havnivåstigning på frekvensen av opplevde oversvømmelser

Statistikken for dagens høyvann i Bergen viser en "flat struktur" med liten forskjell mellom en hendelse med 1-årsfrekvens og en hendelse med 1000-årsfrekvens (42 cm, se Tabell 2-1). Dette betyr at med den økende havnivåstigningen vil situasjoner som i dag sjelden skaper store problemer, bli mer vanlige. I denne rapporten regner vi med en havnivåstigning på 81 cm i år 2100.

Figur 2-3 viser hvordan returperioden til en spesifikk vannstand endres i takt med økningen i havnivået. Som vi kan se på figuren vil havnivået som tilsvarer 50-års hendelse i dag, oppleves en gang årlig innen 2050 med den forventede havnivåstigningen. Derfor vil havnivåstigningen ha en avgjørende betydning for de tiltakene som må bli gjort for å beskytte Bergen mot oversvømmelser.

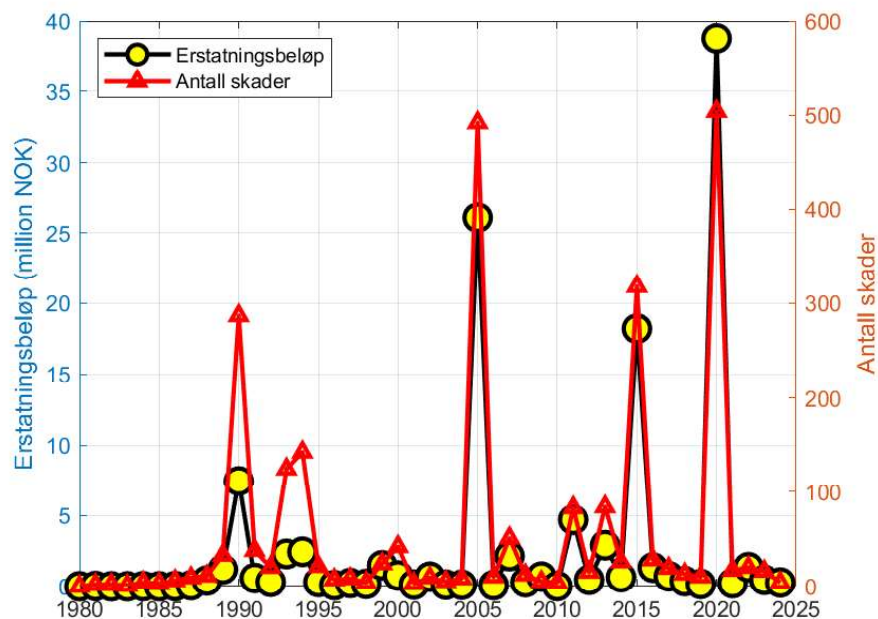


Figur 2-3 Høyvannstatistikk for år 2025, 2050 2075 og 2100 for Bergen ved utslippsscenario SSP3-7.0 83 % (NCCS, 2024).

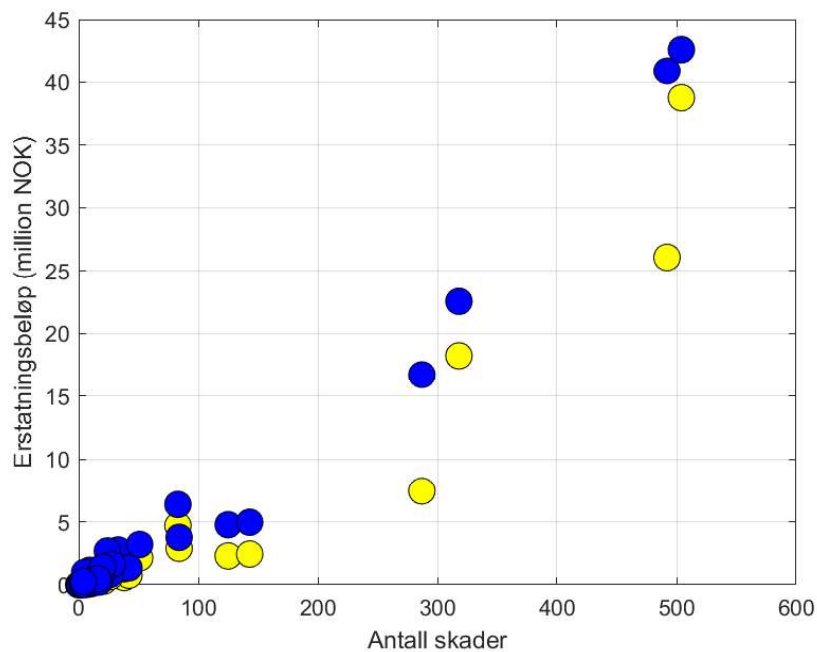
2.4 Historiske skader på grunn av stormflo i Hordaland og Bergen

Norsk naturskadepool (NASK) registrerer skade på bygninger som følge av naturskade, som stormflo. Datagrunnlag er hente fra Norsk naturskadepool som oversikt over registrerte skader (NASK, 2024). Skadetallene er bare private skader, offentlige bygninger registreres ikke i NASK.

Figur 2-4 viser erstatningsbeløp og antall skade i Hordaland som følge av stormflo. Siste store stormflo i 2020 kommer ut som den med høyeste skade og antall skader.



Figur 2-4: Erstatningsbeløp og antall skader i Hordaland fra private skader (NASK, 2024)



Skadetallene spesifisert for Bergen kommune ble etterspurt ved NASK og presentert i Tabell 2-2. Ved den høye stormflo i 2020 var høyeste stormfloskade naturligvis. Også her finner vi et gjennomsnitt erstatningsbeløp på rundt 80.000 kr per skade.

Tabell 2-2: Erstatningsbeløp private stormfloskader i Bergen kommune (kilde: NASK)

År	Kommune	Antall skader	Beløp (kr)	Gjennomsnitt per skade (kr)
2023	Bergen	5	67 067	13 413
2022	Bergen	3	52 646	17 549
2021	Bergen	4	45 000	11 250
2020	Bergen	62	5 038 426	81 265
2019	Bergen	1	57 526	57 526
2018	Bergen	5	223 904	44 781
2017	Bergen	3	177 413	59 138
2016	Bergen	3	93 193	31 064

2.5 Skade på bygg på grunn av stormflohendelser med havnivåstigning

Det vil ved stormflohendelser være ulik grad av vanninntrengning i bygninger, som avhenger av høyde av bygningen og vannstand. Det er i hovedsak første etasje og eventuelle kjellere som vil bli berørt. Som grunnlag for beregning av skadepotensialet er det gjort en simulering som beregner hvor store arealer som vil bli berørt ved ulike vannstander. Vi har hentet grunnlaget for kostnadene ved stormflo fra stormen Bodil i 2013 i Danmark (Stormrådet, 2017). Der ble det registrert skader på totalt 2195 bygninger, med en samlet bygningsskade på 803 millioner danske kroner og en løssreskade på 95 millioner danske kroner i ny verdi. Med en gjennomsnittlig bygningstørrelse på 125 m² tilsvarer dette en skade på 3275 DKK/m² i 2014-kroner. Indeksjustert (Byggeprisindeks: 33%) til 2024 tilsvarer dette: 4350 millioner danske kroner i 2024-kroner eller ca. 6600 norske kroner. På grunn av usikkerhet og ulikheter i grunnlaget er det anslått en kostnad på 6000 NOK/m² etter stormflohendelsen i denne rapporten. Som en forutsetning for beregningen er det tatt utgangspunkt i at hele bygningsarealet blir skadet, selv om det er bare en del av bygningen som blir oversvømt.

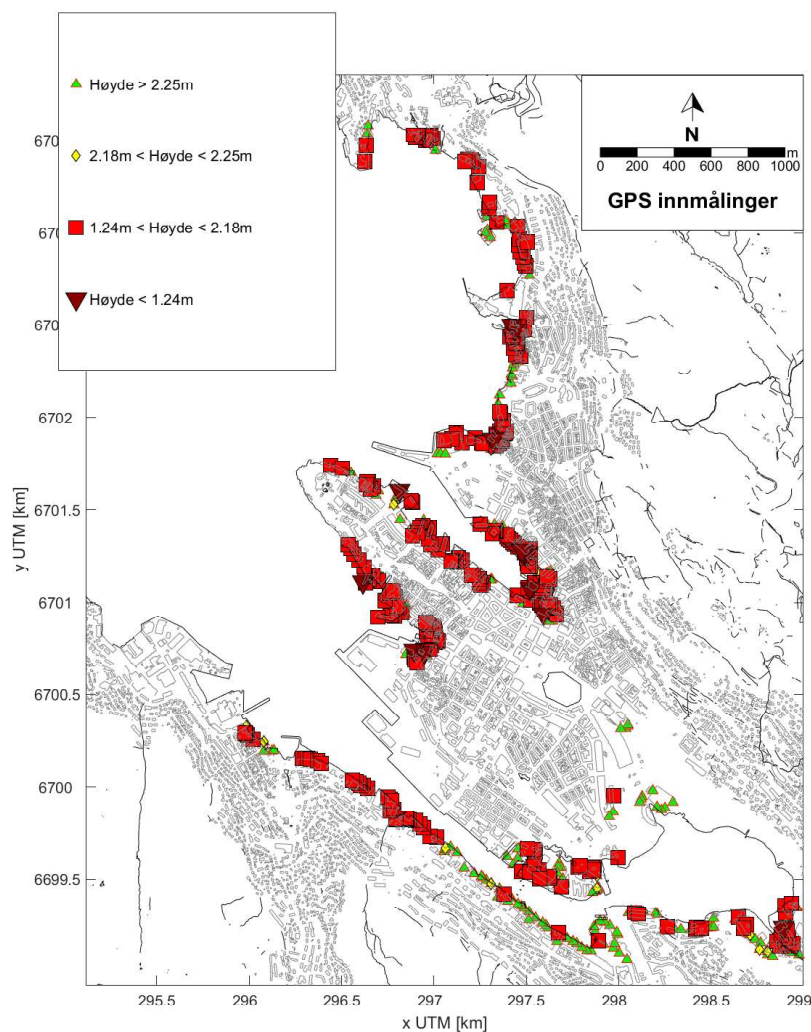
I deler av Bergen er det også eksponering for bølger, som kan påvirke skader på en annen måte enn bare vanninntrengning i bygninger. Vi antar at de estimerte 6000 kr/m² dekker både vannskader og skader forårsaket av bølger.

2.6 GPS innmålinger

De offentlig tilgjengelige høydedataene viste seg å ikke være tilstrekkelige for å vurdere fare for flom. Dette kommer av at det er for stort avvik mellom terrenghøyden og høyde i første etasje på bygninger. Det ble derfor gjennomført innmåling av høyden på første etasjer av bygninger langs sjøkanten. Hvert punkt er klassifisert i henhold til sikkerhetsklassene for oversvømmelser i henhold til byggeforskriften TEK17 §7.2.

- > Sikkerhetsklasse 1 (F1) tilsvarer garasjer og boder. Ifølge DSB (2024) anbefales å bruke en 20-års hendelse i dagens situasjon. Dette tilsvarer en høyde på 124 cm (NN2000) i Bergen (Tabell 2-1).
- > Sikkerhetsklasse 2 (F2) tilsvarer en 200-års gjentaksintervall med fremtidig havnivåstigning (DSB, 2024) og gjelder vanlige boliger og kontorer. Dette tilsvarer en høyde på 218 cm (NN2000) i Bergen (Tabell 2-1).
- > Sikkerhetsklasse 3 (F3) tilsvarer en 1000-års gjentaksintervall med fremtidig havnivåstigning (DSB, 2024) og gjelder bygninger med beredskapsfunksjoner som politi og brannvesen. Dette tilsvarer en høyde på 225 cm (NN2000) i Bergen (Tabell 2-1).

Det viser seg at mange bygninger i områdene rundt Vågen, Laksevåg og Sandviken ikke tilfredsstiller sikkerhetsklasse 2 i dag. Bygningene ville ikke vært i tråd med gjeldende byggeteknisk forskrift.

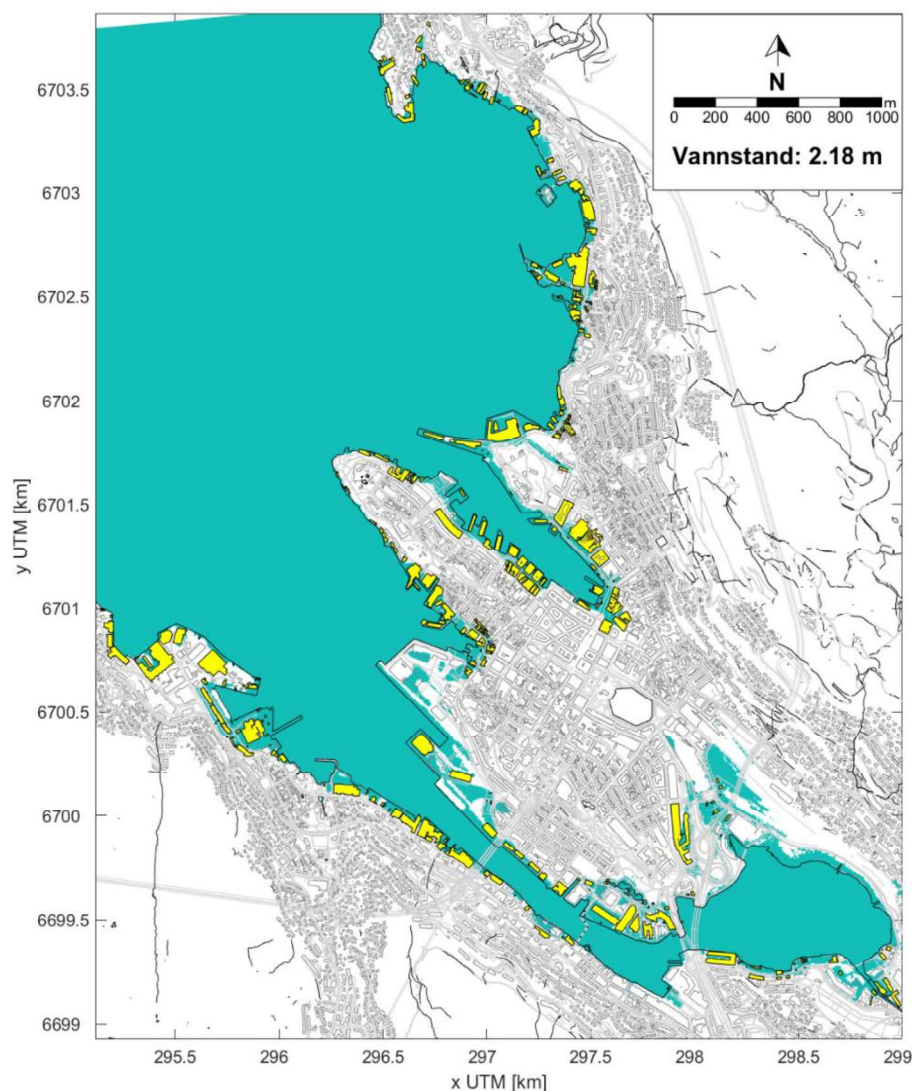


Figur 2-6 Innmålte punkt av første etasjer i Bergen sentrum. Høyde >225 cm viser bygninger som ligger høyere enn Sikkerhetsklasse 3. Høyde mellom 218 cm og 225 cm viser bygninger som ligger mellom Sikkerhetsklasse 2 og 3. Høyde mellom 124 og 218 cm viser bygninger som ligger mellom Sikkerhetsklasse 1 og 2. Høyde < 124 cm viser bygninger som ligger lavere enn Sikkerhetsklasse 1.

2.7 Oversvømmelsesanalyse Bergen sentrum

For å kunne gjennomføre en oversvømmelsesanalyse og beregne oversvømt bygningsareal trenger vi først å definere høyden på første etasje per bygning. Det er brukt mest mulig innmålte GPS høyder per bygning, men siden ikke alle bygninger som er relevante kunne blitt innmålt ble det brukt en terrengmodell som andre opsjon.

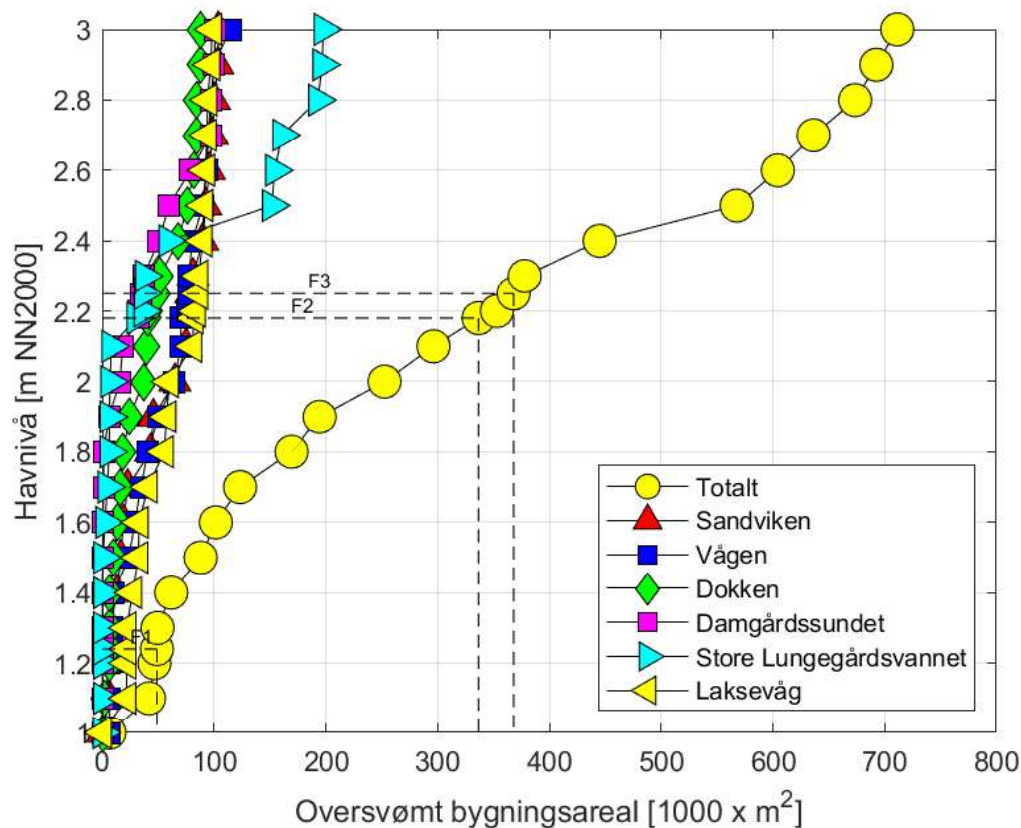
Det er kartlagt hvor mye bygningsareal som blir oversvømt for hver vannstand med 10 cm intervall fra 100 cm til 300 cm vannstandshøyde. Resultatet av analysen med en vannstand på 218 cm er vist i Figur 2-7 . Vedlegg A viser kart for andre vannstandsnivåer.



Figur 2-7 Oversvømmelseskart 200-års stormflo + havnivåstigning Bergen sentrum (Klimautslippsscenario SSP 3-7.0, 83% utfallsrom; 218 cm NN2000). Gule markerte bygninger oversvømmes ved denne vannstanden. Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander

For hver vannstand er det registrert oversvømt bygningsareal per delområde og totalt (Figur 2-8). Til en vannstandshøyde på 140 cm (som er omtrent den høyeste registrerte vannstand) er det totale arealet som blir oversvømt begrenset. Ved høyder over 140 cm bøyer grafen i Figur 2-8 seg og mer areal oversvømmes. Vi forklarer dette med at bygningshøyden i Bergen har tilpasset seg historiske stormfloer, og at det er få bygninger som er bygget under denne høyden på 1,4m. Når havnivået stiger i fremtiden, vil flere bygninger bli utsatt, som ikke var utsatt tidligere.

Det blir drastisk større areal som blir oversvømt for Store Lungegårdsvann rundt 2,6-2,8 meter. Dette kommer av at rundt denne høyden vil vannet renne inn i rundt bygningene som ligger ved Lille Lungegårdsvannet. (se Figur 2-8).



Figur 2-8 Oversvømt areal ved forskjellige havnivå, basert på oversvømmelseskarter visst i Vedlegg A. Vannstandshøyder og tilhørende oversvømt bygningsareal for sikkerhetsklassene F1, F2 og F3 indikert med stiplede linjer.

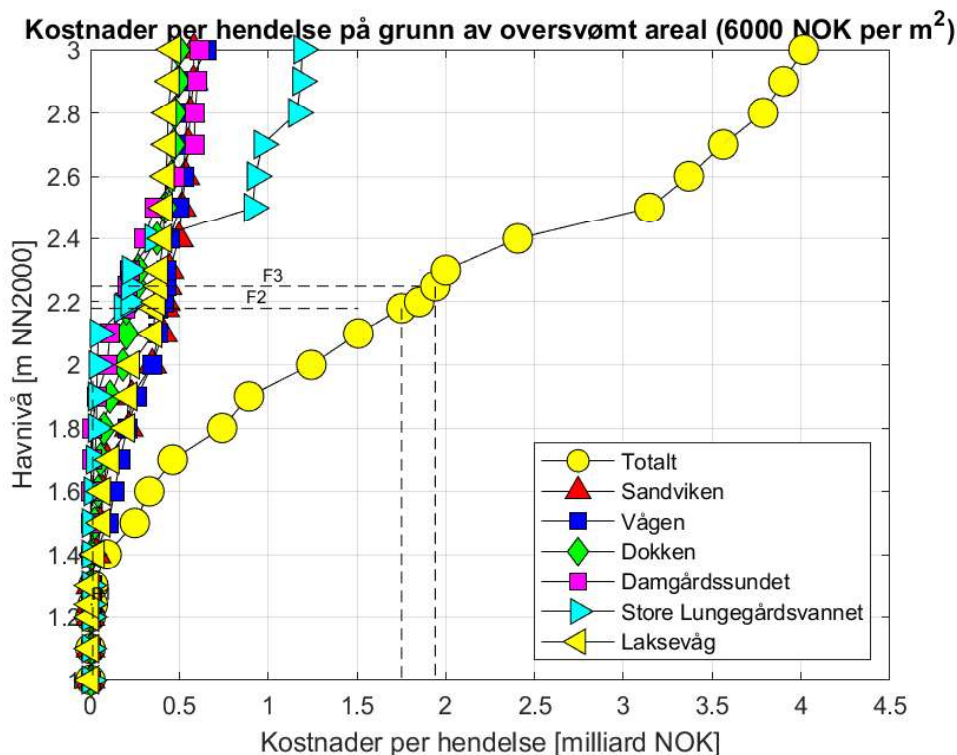
Om vi tar utgangspunkt i Figur 2-8 og multipliserer det oversvømte arealet med en skadegrad på 6000 kr/m² (som beskrevet i kapittel 2.5), får vi et kostnadsestimat for en stormflohendelse med fremtidig havnivåstigning (se Figur 2-9).

De historiske skadetallene for Bergen i 2020 viser en samlet skade på 5 millioner kroner (Tabell 2-2) ved en stormflo på 142 cm (Figur 2-2). Disse tallene er lavere enn det denne modellen indikerer for en stormflo på rundt 140 cm. Ved en vannstand på 140 cm vil omtrent 70 000 m² bygningsareal i Bergen sentrum bli oversvømt (Figur 2-8). Med en kostnad per m² på 6000 kr, tilsvarer dette en samlet skade på 420 millioner kroner, noe som er betydelig høyere enn de faktiske skadetallene på 5 millioner kroner. Det bør bemerkes at sammenligningen ikke er helt nøyaktig, da vi bare har beregnet oversvømt areal i Bergen sentrum, mens skadetallene inkluderer hele Bergen kommune. Videre er skadetallene i Tabell 2-2 for NASK bare knyttet til private skader og inkluderer ikke skader på offentlige bygninger.

Modellen avviker fra de virkelige historiske skadetallene. Vi trenger derfor å justere modellen. Bygninger i Norge som er bygget langs kystlinjen, som naust og sjøboder, antas å være bedre egnet til å tåle oversvømmelser på en vannstand på 140 cm. Disse bygningene ble opprinnelig konstruert for å motstå oversvømmelser. De har en enkel struktur som gjør at vannet kan renne både inn og ut, og de er uisolerte og tørker raskt opp. Dette skiller seg fra moderne bygg langs kysten som tidligere ikke har opplevd oversvømmelser, og derfor ikke er designet for å tåle oversvømmelser. Vi antar at

bygninger som har første etasje over 140 cm vannstand, og som aldri tidligere har blitt påvirket av stormflodskader, vil derfor få betydelige skader når vannstand kommer over dette nivået. Kostnadstallene er justert til 0 for høyder under 140 cm, da de historiske skadetallene (5 million kr, Tabell 2-2) er ubetydelige i forhold til de store skadesummene ved vannstander over 140 cm (Figur 2-9). Denne antakelsen påvirker ikke resultatet av videre beregninger.

Figur 2-9 gir oss et bilde av de potensielle skadekostnadene, uten noen tiltak i dagens situasjon. Vi kan se at skadekostnadene for en stormflohendelse kan gå opp i milliarder hvis forventet havnivåstigning faktisk inntreffer. Disse tallene blir brukt i en samfunnsøkonomisk analyse i neste kapittel.



Figur 2-9 Skadekostnader per hendelse ved forskjellige vannstander. Basert på Figur 2-8 med skadetall på 6000 kr per m². Vannstandshøyder og tilhørende skader for sikkerhetsklassene F2 og F3 indikert med stiplede linjer. For sikkerhetsklasse F1 (vannstand 124 cm) er det antatt at det er ingen skade.

3 Bakgrunn og metode for nytte-kostnadsanalyse

For å besvare spørsmålet om hvilke tiltak som er best egnet for å redusere konsekvenser ved havnivåstigning og stormflo på bygg fra et samfunnsøkonomisk perspektiv vil vi benytte metodikk fra utredningsinstruksen for statlige tiltak (DFØ, 2023), veilederen i samfunnsøkonomiske analyser (DFØ, 2023), Finansdepartementets rundskriv – prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet, 2021) og DAPP metodikk¹. Det første vi må undersøke er hvilke skader som forventes om vi ikke gjør noen tiltak i Bergen kommune frem til år 2100.

En problembeskrivelse skal ifølge veileder til utredningsinstruksen ha med både dagens problemer og fremtidig utvikling. Dette kalles nullalternativet og vil være sammenligningsgrunnlaget for å vurdere virkningene av tiltakene. Det er vedtatt politikk (regelverk, lover, grenseverdier m.v.) som skal ligge til grunn for utformingen av nullalternativet. (Finansdepartementet, 2021). Dette betyr at planer som ikke er vedtatt ikke vil bli hensyntatt i utformingen av nullalternativet. For å finne de mest samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltakene for å sikre Bergen mot konsekvensene av havnivåstigning vil vi gjøre en nytte-kostnadsanalyse.

3.1 Teoretisk bakgrunn

I en nytte-kostnadsanalyse verdsettes alle positive og negative virkninger av et tiltak i kroner så langt det lar seg gjøre, ut fra et hovedprinsipp om at en konsekvens er verdt det befolkningen til sammen er villig til å betale for å oppnå eller for å unngå virkningen. Dette kalles betalingsvillighet. Dersom betalingsvilligheten for alle tiltakets nyttevirkninger er større enn summen av kostnadene, defineres tiltaket som samfunnsøkonomisk lønnsomt (Finansdepartementet, 2021).

3.1.1 Katastrofer og irreversible virkninger²

I naturen er det ofte sammenhenger som ikke er lineære, komplekse og preget av usikkerhet. Dette gjør at konsekvensene er vanskelig å tallfeste, spesielt for katastrofer og irreversible virkninger. En katastrofe er hendelser som har lav sannsynlighet for å inntreffe, men som har svært alvorlige konsekvenser. Eksempel på katastrofer er naturkatastrofer som jordskjelv og store flommer eller dødsulykke i trafikken. Irreversible virkninger er virkninger som gjør at vi ikke kan komme tilbake til utgangssituasjonen uten store kostnader. Miljørelaterte katastrofer og irreversible virkninger utfordrer tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser.

¹ Se mer om DAPP i kap. 5.4

² Kapittelet baserer seg i stor grad på NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser kapittel 8. (Finansdepartementet, 2012)

3.1.2 Risiko eller usikkerhet³

Historiske erfaringstall og/eller teoretisk kunnskap gjør at en i mange sammenhenger kan tallfeste sannsynligheter. Som for eksempel at en elv går over sine bredder, eller for at en person bli utsatt for en bilulykke. Om vi kan tilordne en sannsynlighet til et gitt utfall, er det risiko. I andre tilfeller har vi ikke et empirisk grunnlag for å anslå slike sannsynligheter. Det er for eksempel vanskelig å beregne sannsynligheten for å overskride en terskelverdi i naturen når vi ikke vet hvor terskelverdien ligger. Dette omtales som usikkerhet. Ulike typer av usikkerhetsanalyser og "break-even" analyser kan gi informasjon om sannsynlighet for å sikre kan bli rettferdiggjort.

3.2 Metode for å finne konsekvensen av havnivåstigning

I denne rapporten skal vi undersøke hvilke tiltak som er best egnet til å redusere skader av havnivåstigning i kombinasjon med stormflobølger. Havnivåstigning er som omtalt i kapittel 1.3, en konsekvens av klimaendringer og kan trolig bli sett på som en irreversibel virkning. Stormflo og havnivåstigning i kombinasjon kan bli sett på som en katastrofe. Det vil imidlertid være varslet på forhånd, og befolkningen og myndigheter kan gjøre tilpasninger for å minimere skadekostnaden sammenlignet med en katastrofe som ikke er varslet. I modellen for den samfunnsøkonomiske analysen skiller vi ikke mellom stormflo eller generell havnivåstigning, vi ser på det sannsynligheten for at et havnivå inntreffer og den økonomiske skaden som skjer ved det havnivået. Dette er fordi det som er en stormflohendelse i 2025, vil kunne i 2100 være det generelle havnivået, og det vil være unødvendig kompliserende å skille disse fra hverandre. Dette vil vi også gå nærmere inn på senere i dette kapitlet.

Det å prissette betalingsvilligheten for å unngå skade av havnivåstigning og kunne si noe om hvilke tiltak som er samfunnsøkonomisk lønnsomt kan være en krevende øvelse. Det er vanskelig å finne betalingsvilligheten i samfunnet for å sette inn tiltak for å unngå skade havnivåstigning. Det er usikkerhet i hvilket klimascenario som er mest sannsynlig frem mot år 2100, og at vi ikke kan forutsi nøyaktig hvor ofte stormflo vil inntreffe. Om vi hadde gjort en spørreundersøkelse i befolkningen i Bergen med spørsmålet om hvor mye de er villig til å betale for at byen ikke skal ligge under vann innen 50 år, vil trolig svaret være høyt og kanskje til og med gå mot uendelig. Om vi hadde gjort samme undersøkelsen, men med spørsmålet om veiene blir stengt én til to timer hvert 5 år, vil trolig betalingsvilligheten være mye lavere. Dette illustrerer problematikken med å finne betalingsvilligheten til å beskytte Bergen mot havnivåstigning frem mot år 2100.

Basert på dette har vi derfor i nytte-kostnadsanalysen valgt å forsøke å tallfeste skadene på bygninger som følge av stormflohendelser. Dette har vi gjort fordi det er bygninger som erfaringsvis utgjør den største kostnaden ved havnivåstigning og stormflo og at dette er verdi vi klarer å tallfeste (COWI, Opdateret overslag for sikring af Københvan mod stormflod, 2017). Vi ganger denne kostnaden med en sannsynlighet for at vannstander inntreffer. Dette gir samlet økonomisk risiko.

³ Kapitlet baserer seg i stor grad på NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser kapittel 8. (Finansdepartementet, 2012)



Figur 3-1 Illustrasjon av beregning av nullalternativet

Nullalternativet vil her være kostnaden om vi ikke innfører tiltak for å redusere skade på bygg som følge av havnivåstigning og stormflo. Det vil også være en rekke andre materielle og immaterielle verdier som blir påvirket, disse vil bli drøftet i kapittelet om ikke-prissatte virkninger.

3.2.1 Metode for beregning av sannsynlighet for et gitt havnivå

Vi har laget en modell som beregner sannsynligheten for et gitt havnivå for hvert år fra 2025-2100.

Stortingsmeldingen Klima i endring (Meld. St. 26) (2022-2023) sier at det er et føre-var prinsipp som skal brukes i arbeidet med klimatilpasning. (Klima-og miljødepartementet, 2023) Det er det nye føre-var-grunnlaget fra veilederen til DSB som ble utgitt juni 2024 er SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall som er brukt i modellen. (DSB, 2024).

Vi har tatt utgangspunkt i 1- til 1000-årshendelser, og det korresponderende havnivået. Datagrunnlaget er hentet fra kartverket⁴. For eksempel vil en 200-års hendelse ha en sannsynlighet for å inntreffe med 1/200. I 2025 vil en 200-årshendelse for havnivå i Bergen være på ca. 140 cm. De ulike klimascenarioene fra SSP1-1.9 til SSP5-8.5 påvirker disse hendelsene og havnivået stiger proporsjonalt med økningen i gjennomsnittstemperaturen. Dette for å beregne sannsynligheten for at Bergen opplever et visst havnivå, gitt et visst klimascenario. Dette har vi beregnet for intervaller på 10cm, det er også gjort et unntak for de ulike sikkerhetsklassene i TEK17 190-193 cm, 193-200 cm, 200-206 cm, 206-210 cm og 213-220 cm. For hvert enkelt intervall er det derfor beregnet sannsynligheten for at en vannstand oppstår innenfor dette intervallet. På samme måte beregnes skadekostnadene for hvert intervall. Dette gjør at vi kan beregne den totale økonomiske risikoen.

Det stigende havnivået betyr at det er områder som til slutt vil bli oversvømt veldig ofte, og noen bygninger vil da bli oversvømt med hvert tidevann. I modellen vil sannsynligheten for at en hendelse inntreffer være så høy at vi får høye havnivå flere ganger i året mot slutten av analyseperioden, til og med flere ganger om dagen. Dette er en svakhet i modellen. I virkeligheten vil bygningene som blir rammet av hendelser flere

⁴ <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/havniva/framtidig-havniva-langs-norskekysten>

ganger i året enten tåle vanninntrengselen som oppstår under stormflohendelsene eller ikke bli reparert/restaurert. Det vil ikke være realistisk at vi bruker penger på å reparere bygninger flere ganger per år. Det vil trolig medføre så høy uforutsigbarhet at det ikke vil være attraktivt å bo eller drive næringsvirksomhet i disse områdene med en så høy hyppighet for oversvømmelse og skade.

For å reflektere virkeligheten bedre i modellen må vi derfor legge inn en begrensning for å hindre at risikoen blir urealistisk høy. Om en bygning blir oversvømt og får skade mer enn annethvert år blir sannsynligheten for å få skade satt til null. På den måten hensyntar vi i modellen både at bygninger kan tåle vanninntrengselen uten å få skade, og at vi etter hvert ikke vil ønske å reparere skadene om oversvømmelsene skjer ofte nok. Årsaken til at vi har valgt annethvert år er at vi antar det vil ta en del tid å reparere skadene som blir påført bygget, og om det da skjer enda en hendelse rett etter at bygningen er restaurert vil det trolig ikke bli reparert enda en gang. Det er drøftet hvordan valg av antall år mellom begrensning påvirker modellen i kapittel 5.4.2 om usikkerhet. Det er flere måter å hensynta denne problemstillingen i modellen, dette er drøftet mer under kap. 3.2.7.

3.2.2 Metode for beregning av skadekostnad på bygg

Metodikk for beregning av skadekostnad er beskrevet i kapittel 2.5. Skadekostnaden som beskrevet i kapittel 2.5 er beregnet per område for de ulike vannstandene og deretter summert til total skadekostnad.

Historiske skadetall fra NASK viser at det ikke har vært spesielt stor skade med vannstand opp til 140 cm (Kapittel 2.3). Bygningshøyden i Bergen har tilpasset seg historiske stormfloer, og det er få bygninger som er bygget under 140 cm. I tillegg sikrer eksisterende beredskap og robusthet i bygninger at det ikke skjer vesentlige skader på bygninger med havnivå under 140 cm. Det er derfor i modellen satt at havnivå under 140 cm gir null i skadekostnad. Om vi hadde inkludert skadene i modellen vil det være liten påvirkning på total samlet økonomisk risiko.

3.2.3 Metode for å finne samlet økonomisk risiko for nullalternativet

Den samfunnsøkonomiske modellen er basert på en gjennomsnittlig risikovurdering. Årlig risiko er beregnet ved å ta sannsynlighet for oversvømmelse ganget med skadekostnad. Dette er gjort i vannstandsintervaller på 10 centimeter hvor sannsynligheten og kostnaden er beregnet år for år. Deretter fastsettes nåverdien etter Finansdepartementets anbefalinger (Finansdepartementet, 2021).

3.2.4 Metode for de ikke-prissatte konsekvensene for nullalternativet

Det vil i nullalternativet også være påvirkninger som ikke er mulig å verdsette i kroner, dette blir omtalt som de ikke-prissatte konsekvensene. Vi vil for alle delområdene vurdere overordnet de ikke-prissatte konsekvensene. Per delområde er verdimatrisen fra veilederen til DFØ i samfunnsøkonomiske analyser benyttet. (DFØ, 2023). Samfunnsøkonomisk verdi av de ikke-prissatte virkningene bestemmes av kvantum og enhetsverdi. Det vil si hvor mange som blir berørt, i hvor stor grad blir de berørt og hva

er enhetsverdien. Enhetsverdien bygger på de samme prinsippene som prissatte virkninger med betalingsvillighetsprinsippet. Det vil si at et gode er verdt det befolkningen er villig til å betale for å oppnå eller unngå virkningen. Med enhetsverdi mener vi altså hvordan virkningen påvirker befolkningens velferd, men det lar seg ikke i dette tilfellet måle i kroner (DFØ, 2023). Det er i vurderingene av konsekvensene benyttet utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall i år 2100. For en 200-års stormflo betyr det en vannstand på 218 cm.

Tabell 3-1 Verdsettingstabellen er hentet fra veilederen i samfunnsøkonomisk analyse fra DFØ.

Enhetsverdi Kvantum	Liten	Middels	Høy
Stort negativt	Middels negativ	Stor negativ	Meget stor negativ
Middels negativt	Liten negativ	Middels negativ	Stor negativ
Lite negativt	Ubetydelig/ingen	Liten negativ	Middels negativ
Verken positivt eller negativt	Ubetydelig/ingen	Ubetydelig/ingen	Ubetydelig/ingen
Lite positivt	Ubetydelig/ingen	Liten positiv	Middels positiv
Middels positivt	Liten positiv	Middels positiv	Stor positiv
Stort positivt	Middels positiv	Stor positiv	Meget stor positiv

For virkningen på kulturmiljø er det vurdert antall bygninger og antall personer som benytter seg av bygningene som kvantum. For enhetsverdi er det gjort en kvalitativ vurdering av betalingsvilligheten til befolkningen.

I vurderingen av påvirkning på veinettet er det lagt til grunn lengde og bredden av veien som kvantum og en kvalitativ vurdering av kurvatur til veien.

I vurderingen av konsekvenser for trafikanter har vi sett på ÅDT (årsdøgntrafikk) som kvantum. ÅDT er gjennomsnittlig årlig trafikkmengde gjennom et punkt på en veistrekning. Det er også sett på om det er viktige transportknutepunkter med mange som ferdes med kollektivtransport og som gående og syklende. Det er også vurdert om det er stor andel godstrafikk som blir berørt og i hvilken grad. Det er for enhetsverdien vurdert om det er mulighet for omkjøringsveier. Det er da vurdert for hele området og ikke isolert for hvert område da det kan påvirke hverandre.

For beredskap har vi sett på konsekvensen for politi, ambulanse, brann og redningstjeneste på de ulike områdene, med en total vurdering som følge av veier som ligger under vann, og hvilke hovedveier som blir berørt.

3.2.5 Metode for å beregne samfunnsøkonomisk lønnsomhet

I nullalternativet finner vi ut av hva som konsekvensen om vi ikke innfører tiltak, dette blir da den potensielle nytten vi kan oppnå for de ulike delområdene. Den potensielle nytten er både de prissatte og ikke-prissatte konsekvensene ved å ikke innføre tiltak.

Kostnaden for å sette i gang et tiltak blir deretter prissatt og vi fasetter nåverdien av kostnaden etter Finansdepartementets anbefalinger (Finansdepartementet, 2021). Vi finner deretter netto nytten for hvert av tiltakene. For å si om et tiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomt ser vi på de prissatte konsekvensene sammen med rangeringen av de ikke-prissatte konsekvensene. Analyseperioden er 75 år.

3.2.6 Oppsummering av viktige forutsetninger for den prissatte delen av nytte-kostnadsanalysen

Tabellen oppsummerer de viktigste forutsetningene for fastsetting av nullalternativet for de prissatte konsekvensene.

Tabell 3-1 Viktige forutsetninger for fastsetting av nullalternativet for de prissatte konsekvensene

Parameter	Verdisetting
Analyseperiode	2025-2100 (75år)
Kalkulasjonsrente	0-40 år: 4,0 % 40-75 år: 3,0 % Etter 75 år: 2,0 %
Prisnivå	2024
Scenario	SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.
Ingen skadekostnad før	140 cm
Begrensing av havnivå som fører til sannsynlighet for skade.	Annethvert år

3.2.7 Diskusjon av forutsetninger og modell

Problemstillinger ved bruk av nytte-kostnadsanalyse for å vurdere konsekvensene ved havnivåstigning⁵ for Bergen

Det dystre teoremet ble presentert av Professor Martin Weitzman (Harvard University) i 2009. Teoremet representerer en kritikk mot tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser av klimaspørsmålet. Det er kritikk av at vi ikke er kjent med sannsynligheten for svært

⁵ Kapittelet baserer seg i stor grad på NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser kapittel 8. (Finansdepartementet, 2012)

alvorlige konsekvenser av den globale oppvarmingen. Betalingsvilligheten for å unngå en klimakatastrofe vil gå mot uendelig ved økende temperaturer. Når denne kostnaden multipliseres med en ikke-neglisjerbare sannsynlighet, blir også forventet verdi uendelig. Weitzman (2009) mener vi derfor ikke kan gjennomføre en standard nytte-kostnadsanalyse av klimaproblemet, og argumenterer på denne bakgrunn for en forsikringstilnærming som kan minne om føre-var-prinsippet.

Føre-var-prinsippet er et sentralt og mye referert prinsipp i miljøpolitikken, internasjonalt og i Norge. Den mest brukte definisjonen er formulert i Rio-erklæringen om miljø og utvikling fra 1992: "*For å beskytte miljøet skal statene i stor utstrekning bruke føre-var-prinsippet i henhold til sine muligheter. Der hvor det foreligger trussel om alvorlig eller uopprettelig skade, skal ikke mangel på fullstendig vitenskapelig visshet kunne brukes som begrunnelse for å utsette kostnadseffektive tiltak for å hindre miljøforringelse.*"

Professor William Nordhaus (Yale University) mener at det dystre teoremet er viktig fordi det kan hjelpe oss å avgjøre når ekstreme utfall har betydning for våre beslutninger (Nordhaus, 2011). Samtidig er han også kritisk til teoremet. Det er flere forutsetninger som må være oppfylt. For eksempel vil det ved en katastrofe være ubegrenset betalingsvillighet i samfunnet ifølge teoremet, selv om sannsynligheten for en katastrofe er svært liten. Hvis det derimot ikke er ubegrenset betalingsvillighet vil ikke forventet verdi være uendelig stort, og premisene for det dystre teoremet elimineres. Da er vi ifølge Nordhaus tilbake til standard nytte-kostnadsanalyse.

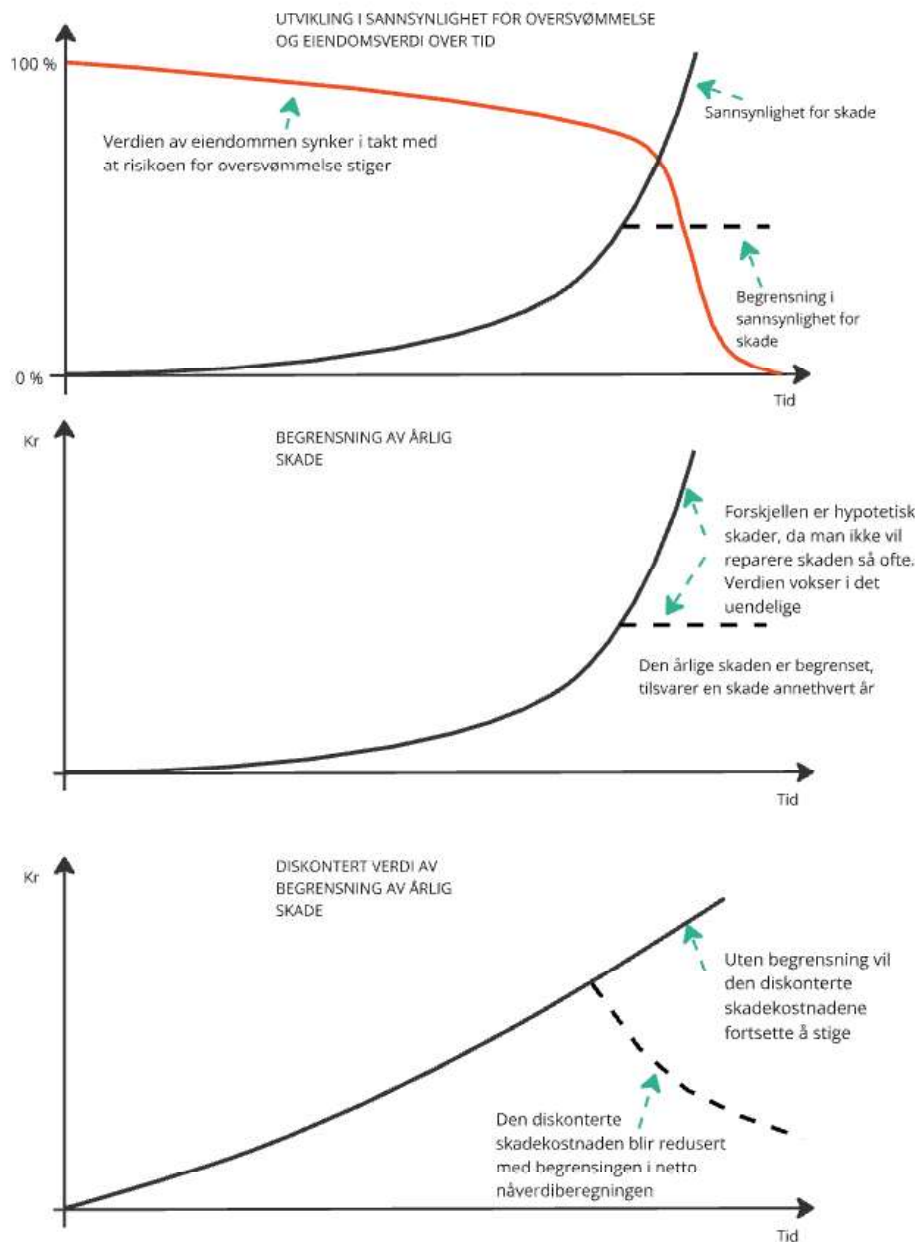
Håndtering av bygninger som ikke får skadekostnad

Det vil i sannsynlighetsmodellen utover i analyseperioden være så høy sannsynlighet for hyppige oversvømmelser at det er ansett som urealistisk at disse bygningene blir reparert. Alternativt vil bygningene tåle den vannstanden, dette kan komme av når bygningen er satt opp, materialer eller gulv som tåler oversvømmelse osv. Bygningene vil derfor ikke lengre bli beregnet inn en skadekostnad. Om vi ikke hadde begrenset modellen ville enkelte bygninger få oversvømmelse flere ganger om dagen, og dette multiplisert med skadetallene ville gitt en ekstremt overestimert økonomisk risiko.

Vi beregner ikke bygninger eller eiendommer som tapt direkte i modellen. Dette er fordi vi ikke vet om de tåler vannstanden, eller om de ikke blir reparert. Et alternativ hadde vært å ta markedsverdien av de aktuelle bygningene. Deretter beregne verdien av bygningene de aktuelle året de ikke lengre får skadekostnad. Vi kunne eventuelt brukt et gjennomsnitt av kvadratmeterpris for bolig og næringsbygg i Bergen sentrum for å forenkle det. Et potensielt problem med dette er at markedsverdien for de boligene som ikke tåler det høye havnivået trolig endrer seg i takt med at boligen blir oversvømt. Dette diskuteres videre i kapittel 5.1

Problemstillingen er forsøkt illustrert i Figur 3-2. Den øverste delfiguren viser hvordan sannsynligheten for oversvømmelse øker i takt med tiden (havnivåstigning) samtidig som verdien av eiendommen faller. Den presise sammenhengen mellom fallet i markedsprisen og oversvømmelse er ikke kjent, men på et eller annet tidspunkt vil eiendommen bli rammet av oversvømmelse så ofte at den vil miste hele verdien. Den midterste delfiguren viser hvordan den årlige skaden utvikler seg og hvordan skaden med begrensingen på annethvert år vil være konstant på en årlig verdi. Den siste delfiguren viser hvordan dette inngår i den samfunnsøkonomiske beregningen. Når vi diskonterer uten begrensning

forsetter skadekostnadene å stige, men med begrensningene vil de i løpet av analyseperioden starte å falle. Dette gjør at kostnaden i nettonåverdi beregningen blir redusert med begrensningen. På den måten kan man si at verdien av eiendommen blitt trukket fra netto nåverdberegningen.



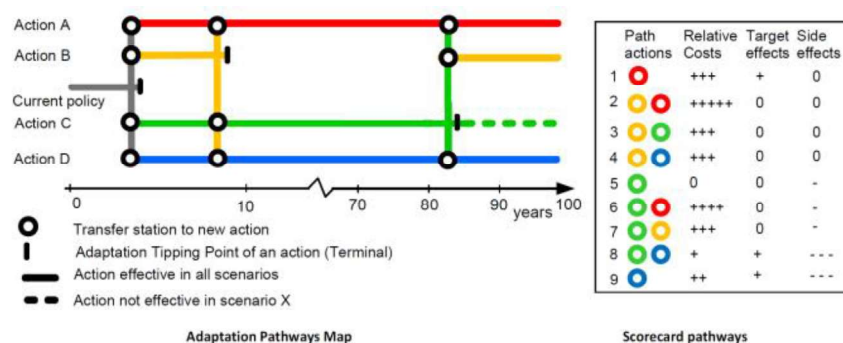
Figur 3-2 Illustrasjon av problemstillingen når det gjelder å innføre en begrensning på skade til annethvert år i modellen og effekten av dette.

I kapittel 13.2.1 vil vi drøfte nærmere fordelingsvirkningene, det vil si om noen grupper i samfunnet blir hardere rammet enn andre.

4 Metode for vurdering av tiltak; DAPP og multikriterieanalyse

COWI har gjennom flere prosjekter arbeidet med konseptet "Dynamic Adaptive Policy Pathways" (DAPP) for å analysere klimatilpasning, spesielt beskyttelse mot havnivåstigning. Dette konseptet tar hensyn til utfordringer knyttet til havnivåstigning, muligheter for tiltak, samt muligheter for teknisk og økonomisk optimalisering av løsninger. I en verden hvor beslutninger tas basert på usikkerhet, er det essensielt med kontinuerlig tilpasning til fremtidige klimaendringer.

DAPP er en systematisk metode for å identifisere og utvikle adaptive løsninger. Ved å analysere situasjonen og problemstillingen (havnivåstigning) kartlegges og spesifiseres relevante tiltak for nåværende og nær fremtid. Dette gir en helhetlig forståelse av hvordan dagens beslutninger kan påvirke fremtidige beslutninger, og hvilke løsninger som kan tilpasses. «Tipping points» indikerer når det kan være behov for å endre strategi, for eksempel fra enkle tiltak til større løsninger som f.eks. ekstern sluse. Metoden er beskrevet bl.a. i en rapport fra det danske Kystdirektoratet: «Undersøgelse af metoden 'Dynamisk planlægning til risikostyring og klimatilpasning' i en dansk kommunal kontekst».⁶



Figur 4-1 Skjematisk eksempel på DAPP kart.

I dette prosjektet utfyller vi den samfunnsøkonomiske vurderingen med en DAPP-analyse som fokuserer på sikringsbehov. DAPP-analysen kompletteres av en multikriterieanalyse som tar hensyn til ikke-prissatte faktorer og andre relevante parametere. Multikriterieanalysen gir et tillegg til den rent økonomiske analysen og fungerer som beslutningsstøtte for strategivalg.

DAPP-metoden muliggjør en langsiktig tilnærming som strekker seg frem til år 2100. Metoden viser hvilke tiltak som kan kombineres med allerede gjennomførte tiltak og gir et bilde av utfordringene som vil bli overlatt til beslutningstakere i år 2100. Den kan også vise mulige løsninger dersom havnivåstigningen skjer raskere enn forventet.

I multikriterieanalysen vurderes de ulike tiltakenes effekt basert på målbaserte effekter, påvirkning på landskapet, Kulturminneverdier, infrastruktur, maritim tilgang og miljøet.

⁶ https://kyst.dk/media/84876/metoderapport-dynamisk-planlaegning_april_2020.pdf

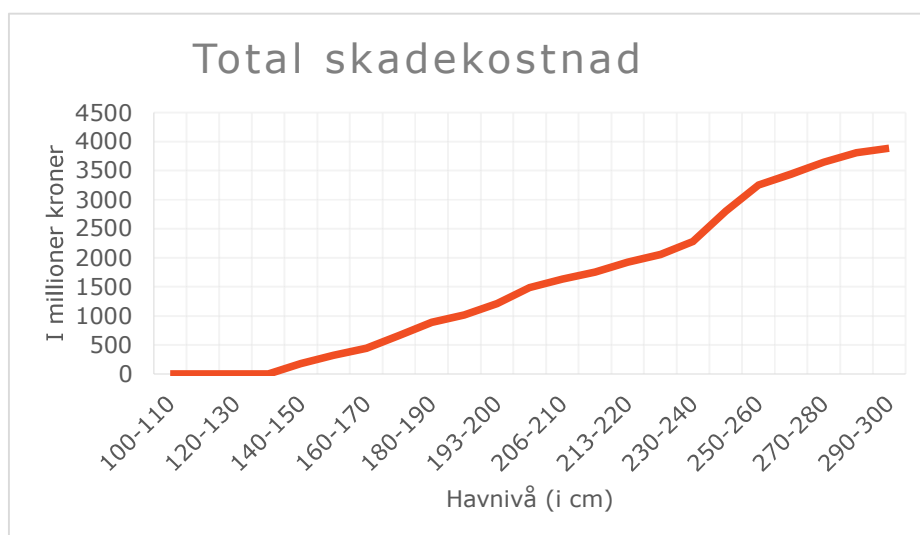
- > Målbaserte effekter vurderes ut fra tiltakenes evne til å sikre funksjonalitet, inkludert beskyttelse av sårbare bygninger og veier.
- > Landskapet vurderes både med tanke på de permanente endringene tiltakene medfører og potensialet for landskapselementer som kan utvikles som en del av tiltaket.
- > Kulturminneverdier vurderes ut fra om påvirkningen er positiv (stor beskyttelse), negativ (ingen beskyttelse) eller om kulturminneverdiene blir fysisk påvirket av tiltaket.
- > Infrastrukturen vurderes med tanke på beskyttelse av veier og nødvendig beredskapstrafikk, samt negativ påvirkning dersom tiltaket reduserer fremkommeligheten under hendelser med høyt havnivå.
- > Maritim tilgang vurderes ut fra om tiltaket begrenser delvis eller permanent ferdsel på vannet.
- > Miljøet vurderes med fokus på tiltakets påvirkning på miljøet, spesielt med tanke på vannutskifting.

5 Etablering av nullalternativ for Bergen sentrum

5.1 Prissatte virkninger

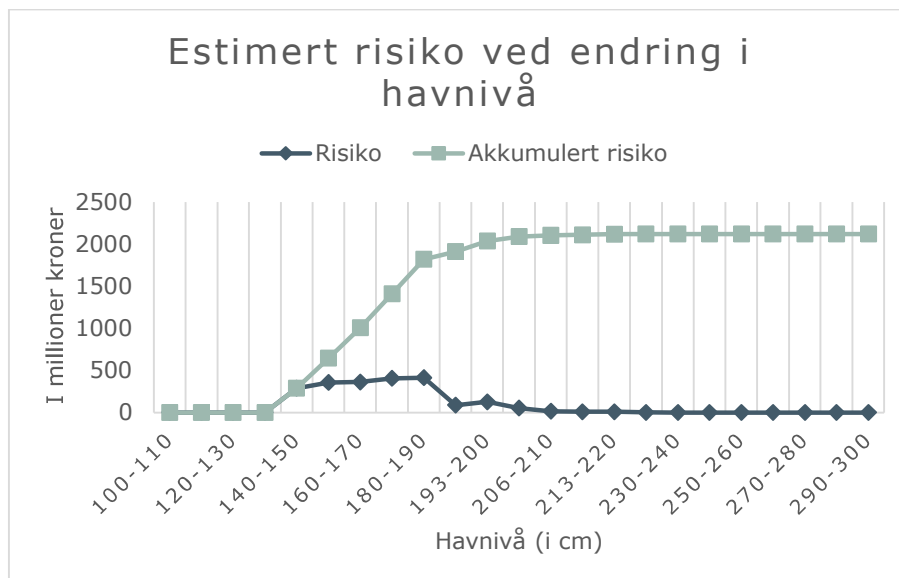
I dette kapittelet vil vi presentere nullalternativet for de prissatte virkningene. De prissatte virkningene vil også bli drøftet for hvert område fra kapittel 7 og utover.

Figur 5-1 viser den skadekostnaden i millioner kroner summert for alle områdene for de ulike havnivåene. Dette er den totale skadekostnaden før den er multiplisert med en sannsynlighet for oversvømmelse og viser på den måten det verst tenkelige scenarioet. Baserer vi oss på utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall vil modellen ikke ha et havnivåtopp over 230 cm i årene frem mot år 2100 med en 1000-års hendelse som høyeste vannstand.



Figur 5-1 Figuren viser total skadekostnad for de ulike havnivåene summert for alle områdene.

Når vi ganger skadekostnaden med sannsynligheten for at et havnivå inntreffer får vi økonomisk risiko. Figur 5-2 illustrer risikoprofilen for forventet skade i hele interesseområdet og viser hvilke havnivåer som bidrar mest til de forventede skadene frem til år 2100. Skadekostnaden øker med havnivået, men sannsynligheten for at det inntreffer reduseres med havnivået. Det vil være havnivået som skjer hyppig som vil bidra mest til skadene totalt sett, ikke de større hendelsene. I Figur 5-2 blir den diskonterte risikoen ved havnivåstigning fremstilt. Risikoen beregnes ved å multiplisere sannsynligheten for en bestemt havnivåendring med de potensielle skadevirkningene. Figuren viser den akkumulerte risikoen, som tilsvarer den samlede risikoen for hvert havnivå. Dette er da arealet under linjen. For eksempel, når havnivået ligger mellom 170 og 180 cm, er den akkumulerte risikoen ca. 1,4 milliarder.



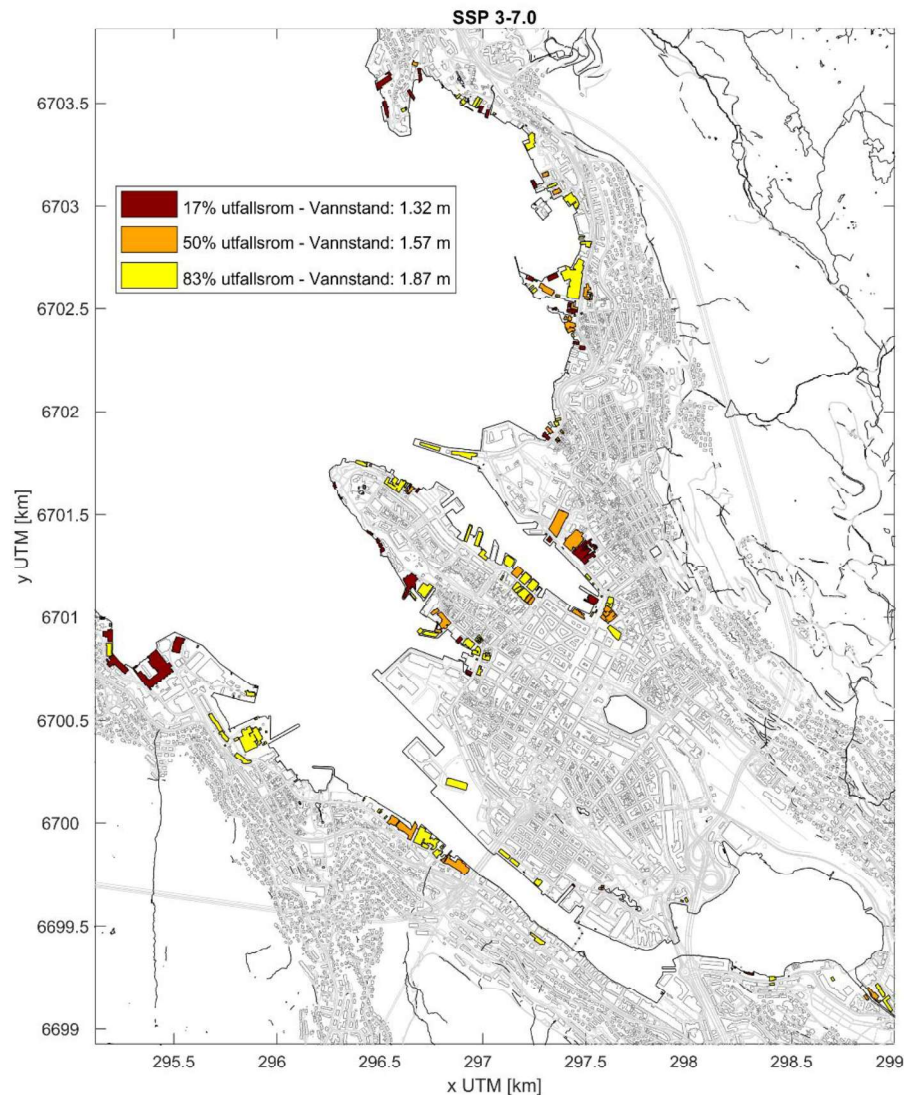
Figur 5-2 Risikoprofil og akkumulert risikoprofil. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden er nåverdien beregnet til å være ca. 2,1 milliarder kroner for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Figur 5-3 viser bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslippsscenario SSP 3-7.0 uten videre tiltak. Rødmarkerte bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%), oransje ved median utfallsrom (50%), og gul ved høyt utfallsrom (83%). Arealet av de markerte bygningene i Figur 5-3 er oppført i Tabell 5-1 etter delområde. Det er disse bygningene vi antar ikke blir reparert når de blir oversvømt oftere enn annethvert år. Vedlegg B viser bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang i året per utslippsscenario.

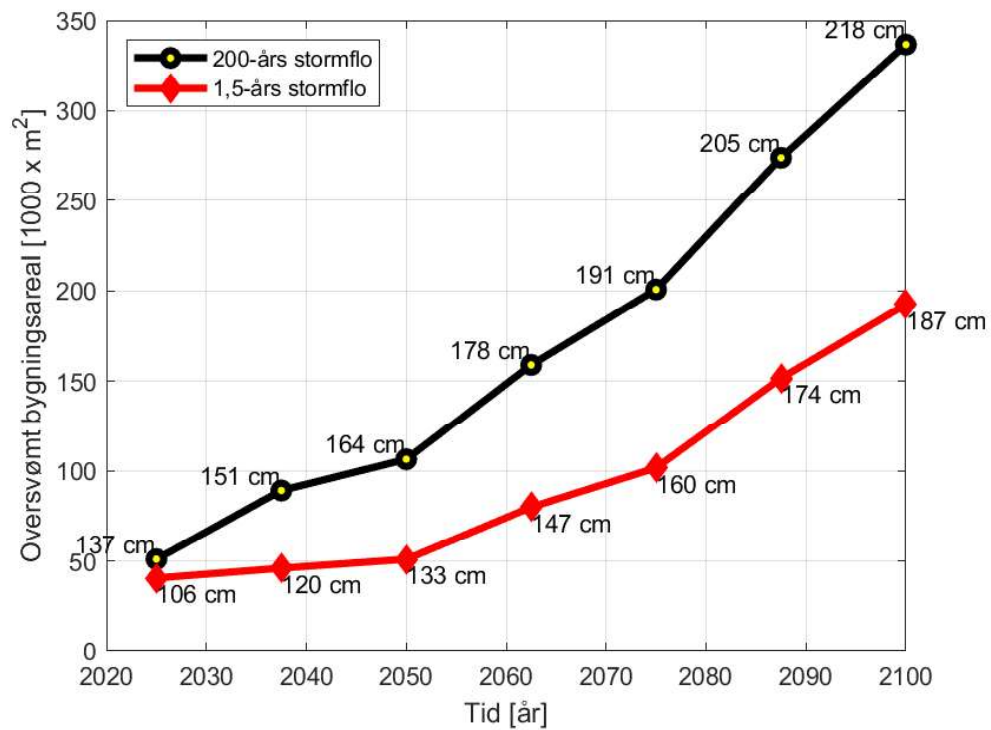
Figur 5-4 viser at det totale oversvømte bygningsarealet for 1,5-års stormflo i 2100 er litt mer enn halvparten av det totale oversvømte bygningsarealet for en 200-års stormflo i 2100.



Figur 5-3 Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslippsscenario SSP 3-7.0. Rødmærkede bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%), oransje ved median utfallsrom (50%), og gul ved høyt utfallsrom (83%). Arealet av de markerte bygningene er oppført i Tabell 5-1 etter delområde.

Tabell 5-1 Bygningsareal i m² som oversvømmes oftere enn en gang i annethvert år i 2100 ved klimascenario SSP 3-7.0. Bygningsareal indikert i Figur 5-3.

SSP 3-7.0	17% utfallsrom	50% utfallsrom	83% utfallsrom
Sandviken	7.800 m ²	17.800 m ²	45.700 m ²
Vågen	8.900 m ²	28.300 m ²	50.000 m ²
Dokken	6.900 m ²	10.600 m ²	24.400 m ²
Damsgårdssundet	120 m ²	460 m ²	4.700 m ²
Store Lungegårdsvannet	560 m ²	2.500 m ²	6.300 m ²
Laksevåg	21.900 m ²	32.700 m ²	57.600 m ²
Total	46.200 m ²	92.400 m ²	188.700 m ²



Figur 5-4 Total oversvømt bygningsareal i Bergen sentrum over tid. Rød linje indikerer 1,5-års stormflo og svart linje indikerer 200-års stormflo. Klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsscenario. Vannstander indikert med tall.

5.2 Ikke-prissatte virkninger

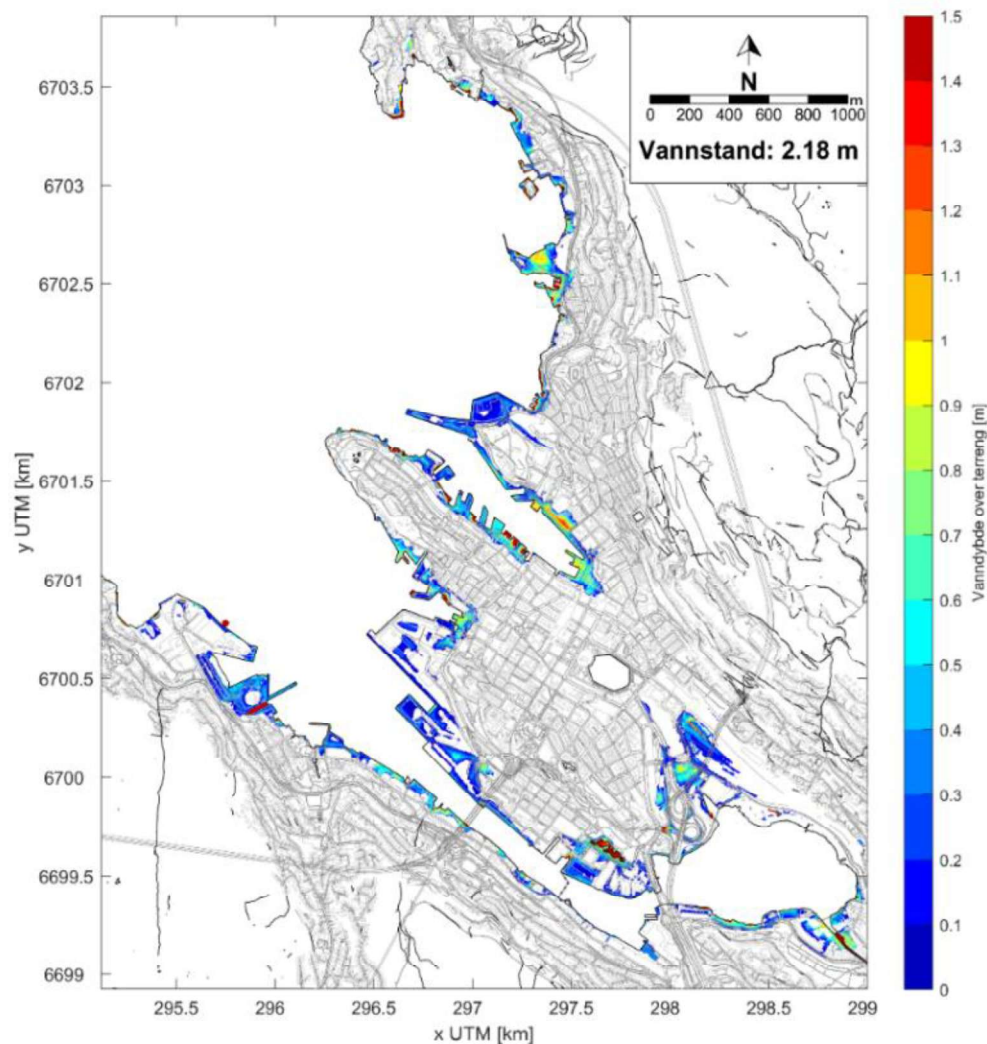
Vi vil i dette kapitlet drøfte overordnet de ikke-prissatte virkningene om vi viderefører dagens situasjon uten å gjøre tiltak. De ikke-prissatte virkningene vil bli vurdert ved hjelp av verdisettingsmatrisen som beskrevet i kapittel 3.2.4 for hvert delområde fra kapittel 7 og utover.

5.2.1 Virkning på kulturmiljø

Området vi ser på i Bergen kommune har mye viktig kulturmiljø for både byen, Norge, og internasjonalt. Med et stigende havnivå og risiko for stormflo vil flere av kulturminneverdige bygg være utsatt. Påvirkning på kulturmiljøet vil sannsynligvis vært stort både i en stormflosituasjon og skader på bygningsmasse og fundamentering som kan oppstå over tid som følge av permanente havnivåstigning. Det kan også være kulturhistoriske overflatebehandlinger som f.eks. maling, tapet og lignende som kan ta skade av kortvarig påvirkning. Bygninger som har sjøfront, vil få økt påvirkning av bølger som kan påvirke både bygningsmasse og fundamentering. Virkningen på kulturmiljø vil bli vurdert per område fra kapittel 7 og utover.

5.2.2 Påvirkning på veinettet

Det er veier som ligger i områdene som er utsatt for oversvømmelse ved høyt havnivå. I dette kapitlet vil det vurderes påvirkning på veinettet, som innebærer faktisk ødeleggelse av veien. I kapittel 5.2.3 vil konsekvensene for trafikantene av at veien er stengt bli vurdert. Det er vanskelig å sette en pris på konsekvensen av at veiene blir oversvømt. Det vil være varierende i hvor stor grad veien blir skadet, og det er få parametere som kan gi indikatorer på intervallet av hvor ofte veien faktisk vil få skade som følge av høye havnivå. Rapporter fra Danmark viser at skade på infrastruktur generelt utgjør en liten andel sammenlignet med skader på bygninger. Vi har derfor vurdert det som en ikke-prissatt effekt.



Figur 5-5 Vanndybde over terreng ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom).

En vei vil i mange tilfeller kunne håndtere høyere havnivå ved at vannet blir liggende på overflaten, og renner bort igjen. Det vil være mer kritisk i de tilfellene vannet finner nye renner/stier bort igjen og på den måten tar med seg masser som kan gi forflytninger av veien. Figur 5-5 viser vanndybde over terreng ved havnivå på 218 cm (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). I 2100 vil det være en del veistrekninger som er under vann, men som vi ser på figuren er det for de fleste steder være vanndybde av størrelsesorden 10-30 cm. Veier blir dimensjonert for å ligge trygt mot en flom/stormflo med en vis returperiode (Statens vegvesen, 2024). Dette innebærer at nye veier over tid vil være tilpasset et høyere havnivå enn tidligere. Vi antar at det generelt vil være lav sannsynlighet for at det blir skade på veinettet. Dette er vurdert per området fra kapittel 7 og utover.

5.2.3 Konsekvenser for trafikanter ved stengte veier

En konsekvens av stengte veier er forsinkelser på veinettet for trafikanter. Forsinkelsen fører med seg en tidskostnad for både biltrafikken, kollektivtrafikk, gods og myke

trafikanter. Dette kan bli tallfestet i kroner ved bruk av transportmodeller som beregner tidskostnaden ved forsinkelser. Stengte veier på grunn av høyt havnivå vil i de fleste tilfeller være varslet på forhånd, dette gjør at befolkningen kan tilpasse seg og velge andre adkomstveier, hjemmekontor osv. Dette er en effekt tradisjonelle transportmodeller ikke klarer å hensynta og kostnaden ved forsinkelser bli gjerne overestimert. Vi har derfor valgt å vurdere konsekvensen for trafikanter ved stengte veier som en ikke-prissatt konsekvens. Vi har lagt til grunn at en flomtopp varer i 1-2 timer og at en vei blir stengt i maksimum 12 timer ved høyt havnivå. Om veien får så store skader at den ikke kan ferdes på i etterkant vil kostnadene potensielt bli mye høyere. Det avhenger da av tilgjengelige omkjøringsveier i området.

Det er erfaringer fra undersøkelser i Danmark som tilsier at forsinkelser utgjør en liten andel av kostnaden sammenlignet med kostnad på bygninger. Vi antar det samme vil gjelde for Bergen og at kostnaden ved forsinkelser vil være relativt små. Det er vurdert per området fra kapittel 7 og utover.

5.2.4 Beredskapsutfordringer

Det er en kompleks oppgave å prissette beredskapsutfordringer. Det er flere parametere som vil påvirke dette. For eksempel om folk holder seg hjemme ved høye havnivåer, er det god nok tilgjengelighet på omkjøringsveier for beredskap, og er vannstanden så lav at det er uproblematisk for enkelte beredskapskjøretøy og komme seg frem. Det er derfor gjort en kvalitativ vurdering av de ulike områdene. Generelt er det plasseringen av brannstasjonen, Nygårdstunnelen (hvor vann kan renne inn) og tilgjengeligheten over Torget ved Bryggen som vil kunne gi de største utfordringene for beredskap ved høyere havnivå.

5.3 Andre effekter

5.3.1 Effekten av havnivåstigning på grunnvannstand/saltholdighet

En av effektene ved økt havnivåstigning vil være en forflytting av tidevannssonen, som i Bergen i gjennomsnitt er på ca. 90cm. Dette vil blant annet føre til en økt saltvanninntrenging i grunnvannet, som kan føre til økt korrosjon og slitasje på alt av infrastruktur og tekniske installasjoner som i dag ikke er berørte. Dette kan igjen føre til økte kostnader på drift og vedlikehold.

I Vågen, og kanskje spesielt på Bryggen, er det tykke kulturlag bestående av organisk materiale. Et økt havnivå vil øke tilførselen av sulfat og oksygen i massene, som kan føre til økt nedbrytning av de organiske massene og påfølgende setninger i grunnen. Dette er en pågående prosess på Bryggen i Bergen og det foregår omfattende overvåkning av situasjonen. Økt havnivå kan potensielt akselerere setningsutviklingen på Bryggen ved tilførsel av blant annet sulfat og oksygen til massene.

Ved en forflytning av tidevannet, kan gammel forurensing som ligger langs fjorden potensielt reaktiveres. Både kjent og ukjent forurensing som i dag ligger relativt stabilt, kan bli vasket ut dersom tidevannet stiger.

5.3.2 Boligpriser

I områder som over tid er truet av oversvømmelse, kan boligprisene bli påvirket. For eksempel kan boligprisene bli svekket gjennom at attraktiviteten i et område som over tid er truet av oversvømmelser reduseres. Dette vil ikke påvirke resultatet beregningene direkte, da det er skadekostnadene som er benyttet. Det vil si kostnaden for å reparere skaden som følge av vanninntrenging i bygningen. Det vil for den enkelte innbygger kunne være store konsekvenser som er drøftet nærmere under kapittel 13.2.1.

5.3.3 Trygghet

Befolkningens trygghet, om hvorvidt kjelleren/huset står i fare for å bli skadet under stormflo, vil vurderes forskjellig for den enkelte innbygger. Det er derfor ikke direkte inkludert i den analysen. Verdien av trygghetsfølelsen og affeksjonsverdien over hjemmet er vanskelig å verdsette, da denne varierer fra person til person.

5.4 Vurdering av usikkerhet

Det er anbefalt å vurdere usikkerheten i nytte-kostnadsvurderinger. Usikkerheten i forutsetningene som er lagt til grunn bør belyses, og analysen av usikkerhet må vurdere variasjon både over og under de forutsetningene som er lagt til grunn.

(Finansdepartementet, 2021) I dette kapittelet vil usikkerheten i forutsetningene knyttet til nullalternativet bli analysert. Usikkerheten knyttet til kostnader og usikkerheten av tiltakene vil bli vurdert per delområde.

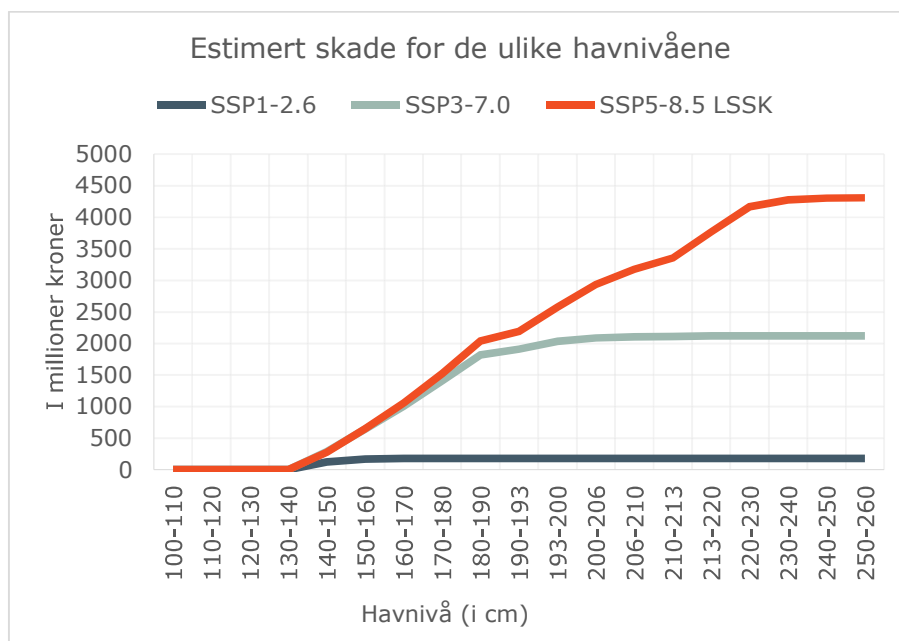
Det er i nytte-kostnadsanalysen lagt til grunn scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall for havnivåstigning. Dette er en av mange ulike scenarioer for havnivå frem mot år 2100, disse er presentert i kapittel 1.3. Det er høy usikkerhet knyttet til hvilke scenario som blir det faktiske utfallet. En annen viktig forutsetning i modellen er begrensingen om at en skade bare blir gjentatt annethvert år. Vi vil derfor se på hvordan nullalternativet endrer seg dersom dette blir endret til være hvert år eller hvert fjerde år. Valg av analyseperiode er en annen forutsetning som vil bli drøftet i dette kapittelet.

5.4.1 Scenarioer for havnivåendringer i Bergen

Det er framskrevet flere scenarioer for havnivåendring i Bergen fram mot 2100. I tillegg til hovedscenarioet SSP3-7.0 med 83-persentil som sannsynlig utfall har vi beregnet økonomisk risiko for skade for et høyt og et lavt alternativ. Det lave alternativet er SSP1-2.6 og 50-persentil som i år 2100 vil gi en havnivåstigning i Bergen på 30 cm. Det høye alternativet som er valgt er «worst-case-scenarioet» SSP5-8.5 Lav sannsynlig – stor konsekvens med 83-persentil som sannsynlig utfall. Dette gir havnivåstigning på 114 cm i år 2100.

Figur 5-6 viser risikoprofilen ved endret klimascenario der alt annet er likt. Risiko er summen av sannsynligheten for et gitt havnivå, multiplisert med det økonomiske skadepotensialet ved det respektive havnivået. Ved SSP1-2.6 blir det en akkumulert risiko på 176 millioner kroner, mens det for SSP5-8.5 er en akkumulert risiko på 4,3 milliarder kroner. Som figuren viser vil tempoet havnivået stiger i ha stor betydning på den

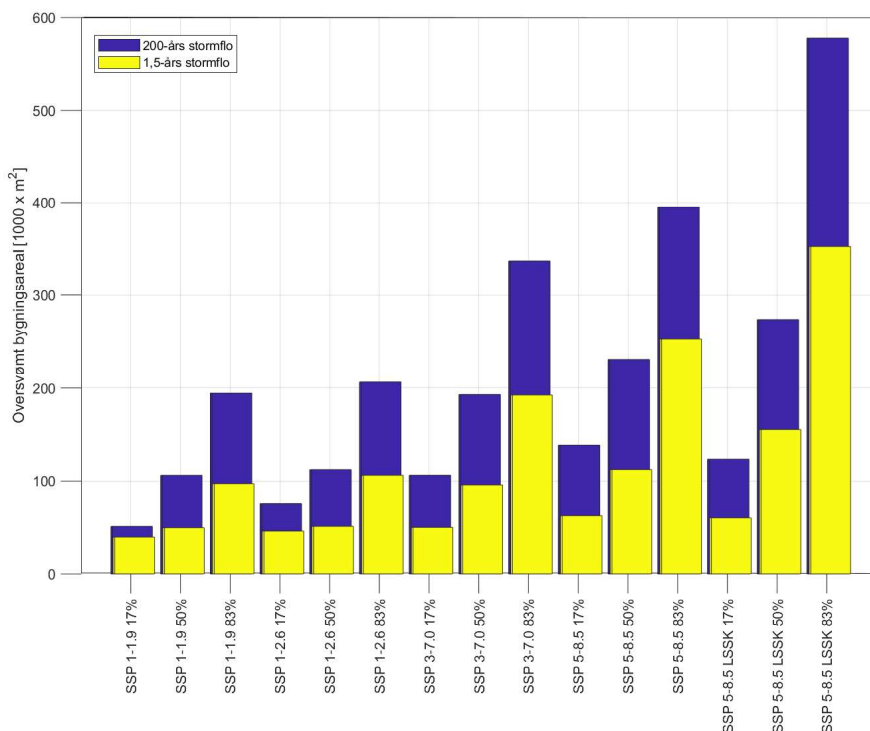
akkumulerte risikoen, og nåverdien av skader for Bergen. Hovedalternativet, med SSP3-7.0 som utslippsscenario har cirka 2,1 milliarder som akkumulert risiko.



Figur 5-6 Estimert akkumulert risiko for SSP1-2.6, SSP3-7.0 og SSP5-8.5 for hele analyseperioden fra 2025-2100.

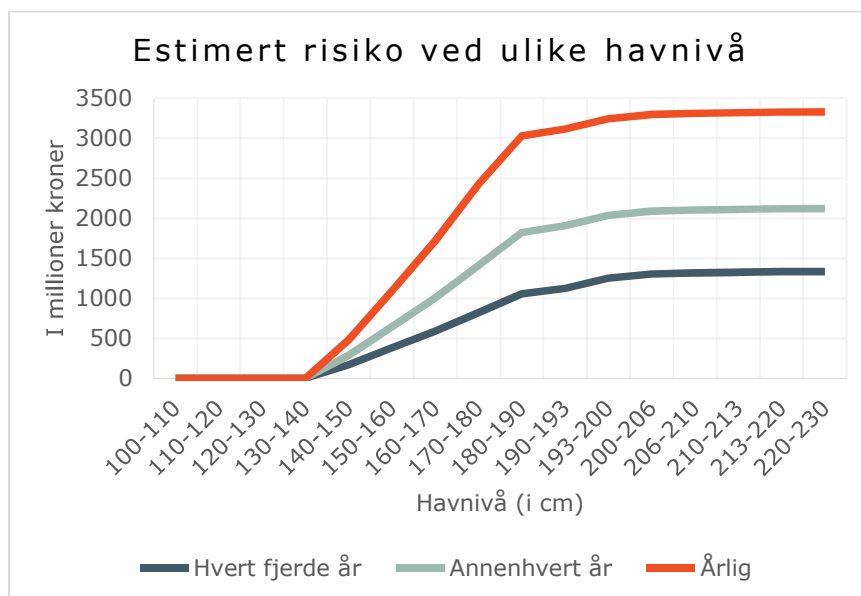
5.4.2 Begrensning på annethvert år

I Figur 5-7 presenteres forskjellen i oversvømt bygningsareal for ulike klimascenarier i 2100, både for en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo. Resultatene indikerer at en 1,5-års stormflo utgjør omtrent halvparten av det oversvømte bygningsarealet sammenlignet med en 200-års stormflo i 2100, uavhengig av det valgte klimascenariet.



Figur 5-7 Oversvømt bygningsareal i 2100 for forskjellige utslippsscenarioer; Forskjell mellom 1,5-års returvannstand og 200-års returvannstand.

Figur 5-8 viser estimert skade ved ulike havnivå når vi endrer forutsetningen om begrensning i modellen fra annethvert år til hvert år og hvert fjerde år. Om vi begrenser modellen til å ha skade hvert fjerde år får vi en samlet risiko på 1,3 milliarder. Endrer vi forutsetningen til årlig, ser vi at samlet risiko øker til ca. 3,3 milliarder. Det vil ha mindre betydning på resultatet å endre denne forutsetningen enn hvilke klimascenario som blir valgt.



Figur 5-8 Estimert akkumulert risiko, ved å endre hvor ofte en skade oppstår.

5.4.3 Valgt tidsperiode påvirkning på resultatet

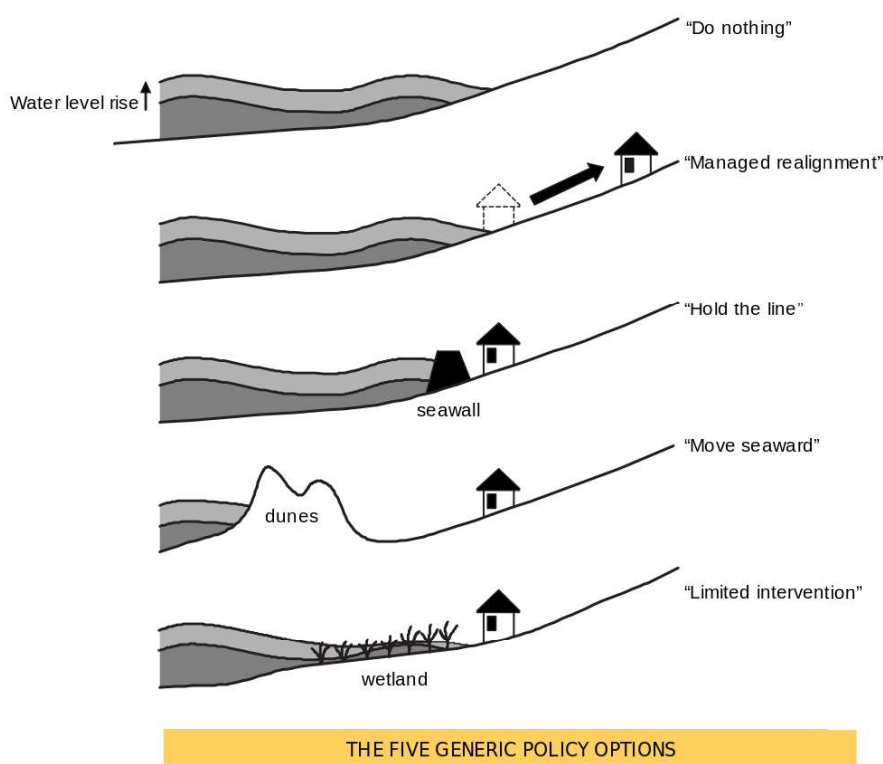
I den samfunnsøkonomiske analysen ser vi på en analyseperiode på 75 år. Lengre analyseperioder enn er ikke anbefalt i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-109. (Finansdepartementet, 2021)

Bergen skal fortsatt være en havneby også etter år 2100, selv om dette ikke er en del av analysen. Som vist i kapittel 1.3 vil havnivået med lav sannsynlighet – høy konsekvens øke med hele 4,5- 5 meter i 2150. Det vil med også de andre klimascenariene frem mot 2150 være høye havnivåer og enda større arealer vil bli permanent oversvømt og få skader på bygninger flere ganger årlig. Som vist i Figur 5-1 vil skadekostnadene øke kraftig med et havnivå på over 260 cm. Det er stor usikkerhet knyttet til framskrivinger som blir gjort så langt frem i tid, men det illustrerer hvordan problemet vil bli større og større også etter år 2100.

6 Løsningsretninger

6.1 Innledning

For å håndtere kystbeskyttelse er det viktig å vurdere ulike strategier og tilnærminger. Ifølge generelle opplysningsretninger for kystbeskyttelse er det fem hovedretninger som kan tas i betraktning (se Figur 6-1). Disse retningene er strategier som kan gi veiledning om hvordan man kan håndtere kystlinjeforvaltning og beskyttelse av kystområder. Hver retning innebærer forskjellige tiltak og valg basert på ulike scenarioer og prioriteringer. Disse retningene inkluderer følgende:



Figur 6-1: Fem generelle strategier for kystbeskyttelse (Shoreline management guide, 2004)

- 1) Ikke gjør noe. Det er ingen investeringer i sikring eller -operasjoner. I dette tilfelle gir man opp områder/infrastruktur.
- 2) Styrt tilpasning. Identifisere en ny kystlinje og lage nye sikring innenlands fra den opprinnelige kystlinjen.
- 3) Hold linjen. Oppretthold den eksisterende kystlinjen ved å opprettholde eller endre beskyttelsesnivået. Denne politikken dekker situasjoner der arbeid utføres foran de eksisterende tiltak for å forbedre eller opprettholde beskyttelsesnivået som den eksisterende forsvarslinjen gir.

- 4) Flytte utover sjøen. Utvid den eksisterende forsvarslinjen ved å bygge nye sikring utover den opprinnelige kystlinjen. Bruken av denne politikken begrenses til der betydelig landvinning eller barrierer vurderes.
- 5) Begrenset inngrep. Samarbeide med naturlige prosesser for å redusere risiko.

Basert på disse generelle strategier har vi kommet frem til følgende tiltak som kan være aktuelt for Bergen.

6.2 Gi opp områder (Ikke gjør noe)

Det kan hende at det finnes områder som ligger så utsatt i fremtiden for stormflo og havnivåstigning at det ikke lønner seg å gjøre tiltak for å beskytte infrastruktur/områder. I dette tilfelle kan man gi opp områder.

6.3 Mobile flomvern (hold linjen)

Det finnes forskjellige typer flomvern (Figur 6-2). Først og fremst finnes det tradisjonelle sandsekker (blir ikke vurdert videre i dette oppdraget). Videre finnes det forskjellige systemer i markedet som varierer fra sekker, vegger og mur. Fordelen er at man kan sette opp mobile flomvern når stormflo forventes og det påvirker ikke landskapet/miljø utover perioden det er stormflo. Ulempene er blant annet at man må sette det opp langs hele kaikanten og at løsningen kan være lite effektiv. I prosjektet blir mobile flomvern en av de tiltakene som blir vurdert.



Tradisjonelle sandsekker

Krever stor arbeidssats og er ikke særlig pålitelig.
Bilde: Jiří Sedláček (CC BY-SA-3.0).



Water tubes (pølser)

Kan kombineres med tilkoblinger, slik at vann kan tilføres flere steder for fylling. Det er erfaring med bruk 1-2 km under stormen i Danmark 2023 (Aabenraa). På lengre strekninger bør det brukes seksjoner, slik at eventuelle brudd og lekkasjer kan håndteres. Bilde: Martin Rickenbacher (CC0)



Mobil (plast)demning

Det finnes forskjellige varianter av systemet, som kan brukes på strekninger opp til noen hundre meter. Bilde: Dontworry (CC-BY-SA 3.0)



Aluminiumsbjelke og skottsystemet.

Det finnes mange varianter og kan i prinsippet produseres i lengder på flere kilometer. Bilde: Superbass (CC BY-SA 4.0)

Figur 6-2: Typer mobile flomvern

Mobile flomvern er effektive når de settes opp en gang iblant. Hvis de må settes opp for ofte (med økt havnivåstigning) blir de ikke lengre effektive, dette kommer av at de krever mye innsats å sette de opp og ta de ned. Det vil for eksempel med «Water Tubes» være stor slitasje og ofte behov for utskifting, på den andre siden er de billigere enn alternativene. I denne rapporten tar vi utgangspunkt i at de blir brukt maksimum gjennomsnittlig en gang i året. Hvis stormflo skjer oftere enn en gang i året, må andre tiltak bli vurdert. Årlig høyvann ligger i dag på 102 cm (NCCS, 2024). Tabellen under viser årlige havnivå for de forskjellige utslippsscenarioene i 2100. I Figur 5-7 kan vi se at halvparten av området som vil bli oversvømt under en 200-års stormflo i 2100 allerede blir oversvømt årlig. For halvparten av det flomutsatte området er de mobile flomvernene altså ikke effektive.

Tabell 6-1 Årlig høyvann (NN2000) i 2100 for forskjellige utslippsscenarioer.

Ett-års vannstand i 2100	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP5-8.5 Lav sannsynlig stor konsekvens
17% utfallsrom	100 cm	110 cm	128 cm	137 cm	135 cm
50% utfallsrom	127 cm	132 cm	153 cm	163 cm	170 cm
83% utfallsrom	155 cm	158 cm	183 cm	196 cm	216 cm

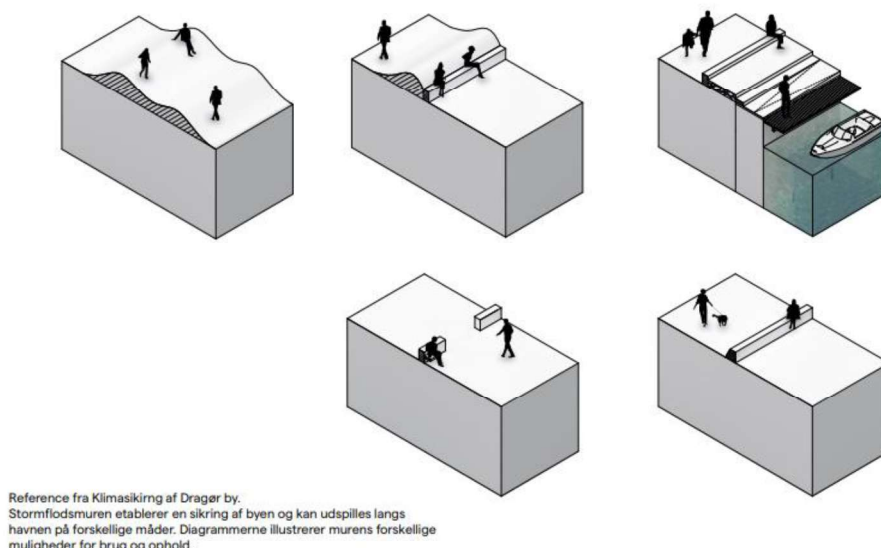
Kostnader ved mobile flomvern er forskjellig fra leverandør til leverandør. Vi tar i

utgangspunkt at det koster 7600 kr/m og at de har en levetid på 25 år. Videre er de bare effektive hvis sjøvann ikke kommer gjennom bakken. Dermed er det nødvendig at sjøkanten tettes med spuntning (se videre i Kapittel 6.5).

Det er viktig å merke seg at kostnadsestimatet ikke inkluderer beredskapskostnader, som derfor er høyere enn antatt her. Det er også viktig å være ressursbevisst når det gjelder bruk av mobile flomvern langs lange kyststrekninger. Installasjon av slike vern kan kreve betydelige ressurser innenfor en begrenset tidsperiode. Man har vanligvis noen dagers forvarsel når en stormflo nærmer seg. Derfor kan man ikke bruke for mye mobilt flomvern i Bergen kommune.

6.4 Permanente flomvern (hold linjen)

Det er relevant å vurdere vanntette mur/skott som permanente flomvern. Mur/skott kan være en relativt billig løsning, men det er også viktig å ta hensyn til landskapet. En god tilpasning til landskapet er derfor viktig. Figur 6-3 viser mulige løsninger for permanente flomvern med tanke på landskapet. Mur kan ha åpninger for å gjøre kystkanten mer tilgjengelig, som kan stenges under forventet stormflo. Overvannshåndtering med åpninger i mur er også lettere. Videre kan voller integreres i parkområder. (Arkitema, 2021).



Figur 6-3: Landskapsinnpassning stormflomur

Det er tatt utgangspunkt i en kostnad på 40.000 kr/m for mur med innpassning i landskap. I tillegg tar vi utgangspunkt i at kaiene må tettes (spuntning), se kapittel 6.5.

6.5 Spuntning av kaier (hold linjen)

Det er forventet at middelvannstanden i havet stiger og at grunnvannstander blir høyere i nærliggende grunnmasser. Dette gjelder spesielt rundt Bryggen og andre områder som er bygget på løsmasser. Da kan saltvann trenge inn i masser og grunnvann, og potensielt medføre skader. Spuntning av kaier er en mulig løsning på dette problemet.

Videre trenger løsninger som mobile flomvern og mur at kaiene er vanntett. Spuntning av kaier er ansett som en del av tiltakene.

Kostnadene er antatt å være på 5000 kr/m². Videre er det antatt at det blir spuntet til en dybde på 7m langs hele strekningen.

6.6 Sluser/Stormflobarrierer (flytte sjøen utover)

Et mulig tiltak for å beskytte Vågen, Damsgårdssundet og Nygårdsbruen (Store Lungegårdsvann) for stormflo og havnivåstigning er å bygge indre barrierer.

Det er rundt om i verden blitt bygd forskjellige type stormflobarrierer (Figur 6-4). Vedlegg D gir en oversikt av de mulige løsningsretninger med fordeler/ulemper. De valgte løsningene er ofte bestemt av bredden og dybden av sundet som må stenges ved stormflo. Vågen er 130 m bred, Damsgårdssundet ca. 115 m og Nygårdsbruen ca. 70 m. Her ser vi nærmere på muligheten for en tradisjonell sluse og en stormflobarriere som stenger av hele bredden.

6.6.1 Tradisjonell sluse

Den enkleste og billigste løsning er å ta utgangspunkt i en tradisjonell sluse (Figur 6-4). Tanken med en sluse å snevre inn bredden med en utfylling og med en relativ liten sluse i midten. Slusen er da maksimum 10 m bred og dermed begrenser det størrelsen av båten som kan komme inn i Vågen/Damsgårdssundet. Dette er klart den billigste løsning for en slik konstruksjon. Ulempe er at maritim tilgang blir begrenset for de største båtene som kommer inn i Vågen/Damsgårdssundet nå. Videre begrenses vannutskiftning og det er synlig i landskapet.

Den dyreste delen av en slik sluse er de bevegende dørene i et slusesystem. Kostnader for en fylling er antatt å ha en kostnad på 1000 kr/m³. Utfyllingen må utformes slik at den er vanntett.

Tabell 6-1 Kostnader sluser i millioner kroner

	M ³ fylling	Kostnad fylling	Kostnad sluse	Totale estimerte kostnad
Vågen	38,000	38	600	640
Damsgårdssundet	35,000	35	600	635
Store Lungegårdsvannet	6,000	6	230	240

6.6.2 Stormflobarriere

Man kan også vurdere løsningsretninger som innebærer en mer avansert stormflobarriere. f.eks. som Venezia (Figur 6-4). Disse er klart mye dyrere, men har som fordel at maritim tilgang ikke blir begrenset, vannutskiftning er bedre og at det er mindre synlig i landskapet.

Et veldig grovt kostnadsoverslag for Venezia løsningen gir en kostnad på 4,3 milliard kr for Vågen og 3,8 milliard kr for Damsgårdssundet. Dette er beregnet ved å beregne en kostnad per m for Venezia, og ekstrapolert til Vågen/Damsgårdssundet (Totale kostnad; 5,5 billion € / Lengden; 1910m = 2,9 million €/m. Bredden i Vågen er 130m og 115m i Damsgårdssundet. Valutakurs mellom EUR/NOK på 11,5 er brukt). For Nygårdsbruen anses det ikke aktuelt å bruke en stormflobarriere løsning.

En annen løsning er en oppblåsbar stormflobarriere (Figur 6-4). Denne type løsning er bare brukt i Nederland (Ramspol). En oppblåsbar barriere antas å ha lavere kostnader for konstruksjon, drift og vedlikehold sammenlignet med tradisjonelle barrierer. I tillegg har den liten innvirkning på landskapet siden barrieren i åpen stilling blir oppbevart og tømt for luft under vann, og ikke hindrer navigasjon under normale forhold. Ulempen er mest sannsynlig en kortere levetid (gummi). Høyden av 'tuben' er også begrenset. I Nederland er høyden av 'tuben' ca. 10m. Det betyr at det muligens må gjøre en undervannsfylling som fundament for denne type barrieren i Vågen/Damsgårdssundet. Byggekostnader for Ramspol barrieren var 48 million EURO i 2002 (Deltares, 2018). Regnet om til 2024 med prisendringer (SSB priskalkulator) blir dette 80,5 million euro, som tilsvarer 925 million kr (Valutakurs 11,5). Dette må anses som et veldig grovt kostnadsestimat. Her er f.eks. ikke tatt høyde for at denne kompetansen bare finnes i Nederland.

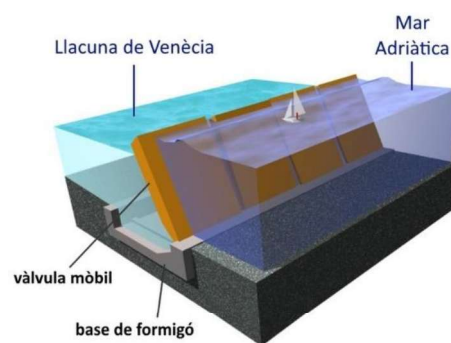
Vi må påpeke at løsningen for en sluse/stormflobarriere må utarbeides videre når dette blir mer aktuelt.

Tabell 6-2 Kostnadsestimat stormflobarriere i millioner kroner

	Kostnad 'Venezia løsning'	Kostnad 'Ramspol løsning'
Vågen	4300	925
Damgårdssundet	3800	925
Store Lungegårdsvannet	Ikke aktuelt	Ikke aktuelt



Stormflo barriere, Hollandse IJssel, Nederland. Tradisjonell slusesystem Heidelberg, Tyskland. Kostnad: ca. 20 million EURO. Bilde: MarkBilde: Phtonart. Public domain. Voorendt (CC BY-SA 4.0)



Oppblåsbar stormflobarriere Ramspol, Stormflobarriere, Venezia, Italia. Kostnad: 5,5 Nederland. Kostnad: 48 million EURO. Bredden billion EURO. Bredden i totalt: 1930m. Bilde: 360m. Bilde: Steven Lek (CC BY-SA 4.0) Irønie (CC-BY-SA 4.0)



Maasland Stormflobarriere (Rotterdam), Thames Stormflobarriere, London, England. Nederland. Kostnad: 450 million EURO. Kostnad: 535 million POUND. Bilde: Andy Roberts (CC BY-SA 2.0,) Bilde: Eszter Simonfi (CC BY-SA 3.0)

Figur 6-4: Forskjellige typer stormflobarrierer. Kostnader hentet fra (Deltares, 2018)

6.7 Utfylling (flytte sjøen utover)

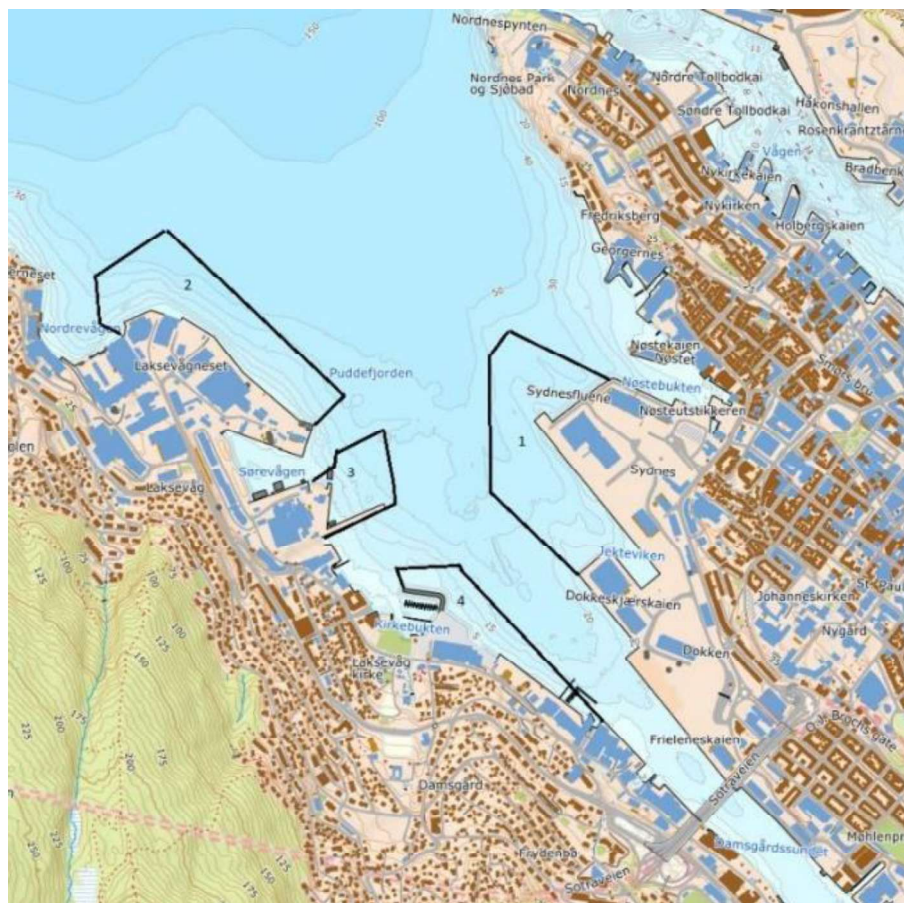
Det er planlagt en rekke tunnelprosjekter i Bergensområdet som gir mye overskudd av steinmasser de kommende årene. Overskuddene av steinmasser kan brukes til utfyllinger i sjø.

Flere prosjekter er under planlegging, der overskuddsmasser skal brukes til utfylling i sjøen. Blant de mest konkrete prosjektene i interesseområdet er Dokken, Laksevågneset, Laksevåg verft og Damsgårdsveien (Figur 6-5). Dette er prosjekter som er på ulike faser i planarbeidet og under politisk behandling. Dette er potensielt betydelige synergieffekter når det gjelder å beskytte mot havnivå og stormflo med de relevante utfyllingsprosjektene. Vi anbefaler derfor at det disse planen blitt vurdert hensyntatt i den videre planleggingen av beskyttelsen mot stormflo og havnivåstigning av den eksisterende kystlinjen.

Utfyllingene må da ligge høyt nok for fremtidig havnivåstigning om det er et tiltak som skal være effektivt over tid.

Det er viktig å merke seg at detaljert vurdering av konsekvensene av disse utfyllingene på natur, tilgang til sjøen, overvannshåndtering og flomveier ikke er inkludert i denne rapporten.

En annen mulig tilpasning i forbindelse med overskuddsmasser er å heve eksisterende områder som blir omregulert fra for eksempel tidligere industriområder til boligområder. Dette er ikke inkludert som en del av de tiltakene som blir vurdert i denne rapporten, men generelt oppfordres til å tenke på dette i omreguleringsprosjekter.



Figur 6-5: Oversiktskart over mulige fremtidige utfyllinger, indikert med svart linje (omtrent). 1=Dokken; 2= Laksevågneset; 3=Laksevåg verft; 4= Damsgårdsveien. Fra: (COWI, 2023).

6.8 Heving av historiske bygninger (hold linjen)

Det er langs sjøkanten i Bergen en del gamle trebygg som er fundamentert på påler eller steinfylte bolverkskar (som er grovt lafta tømmerkasser), bl.a. på Bryggen. En del av disse bygningene har blitt jekket opp og det finnes derfor en del erfaringer med jekking. Heving av gamle trebygg er et mulig tiltak for å unngå at disse bygningene blir oversvømt med fremtidig havnivåstigning.

Vi har vært i dialog med flere aktører som jobber med heving av historiske bygninger og fått referansetall for kostnader av heving. Det er stor variasjon på ulike bygningstyper, fundamentering, tilkomst, interiør m.m. Hanseatisk museum er hevet 100 cm, som har hatt en total kostnad på 400 millioner for 330 m² bygningsmasse som vil gi en m² pris på 1.2 million/m². Hanseatisk museum er et spesielt komplekst prosjekt og vil sannsynligvis ikke være direkte overførbart til andre bygninger. I dialog med entreprenør som har gjennomført heving av andre bygninger på Bryggen er det blitt antydnet en kostnad på ca 250 000 kr/m² grunnflate i forbindelse med heving av andre bygninger på Bryggen. Entreprenør er tydelig på at dette vil være store variasjoner etter bygningstype. Dersom vi legger til grunn en kostnad på 250 000 kr/m² vil heving av hele Bryggen ha en kostnad med ca 7500 m² bygningsmasse ha en kostnad på ca. 2 milliarder.

Det er en del sjøhus rundt Bergen sentrum, blant annet på Nøstet, Nordnes og i Sandviken. Det er ikke usannsynlig at disse bygninger kan komme opp i samme kostnader som bygningene på Bryggen, på grunn av økende kompleksitet ved arbeid i sjø. Grovt estimert er grunnflaten på de historiske bygningene i Sandviken som blir berørt 25 000 m². Dersom alle disse bygningene skal heves vil dette ha en kostnad på ca. 6 milliarder hvis man antar en pris på 250 000 kr/m². Det er betydelig usikkerhet knyttet til disse tallene, da kostnadene for heving i stor grad avhenger av kompleksitet av konstruksjonen.

Det klart største fordel med heving av gamle trebygg er at landskap og kulturmiljø blir mest mulig bevart. Største ulempe er relativt høye kostnader per m². Dette er et tiltak som særlig egnet til verdifulle bygg og kulturlandskap som det er et ønske om å bevare. Tiltakene forventes å være effektive frem til 2100, men det forventes også at havnivået fortsetter å stige etter denne perioden. Det kan være nødvendig å heve bygningene ytterligere etter 2100 for å opprettholde beskyttelsen mot havnivåstigningen.

6.9 Tiltak for å gjøre bygninger og infrastruktur mer robuste

Eksisterende bygninger og infrastruktur kan øke sin robusthet mot oversvømmelser som følge av havnivåstigning gjennom flere tiltak. Først og fremst kan man erstatte vedgulf med betong, da betong er mer motstandsdyktig mot vannskader og enklere å tørke etter oversvømmelser. Det er også viktig å velge materialer og konstruksjonsmetoder som er motstandsdyktige mot vann for nedre deler av vegger. Bygninger må konstrueres for å motstå krefter fra vann og bølger ved å benytte spesialiserte materialer og metoder som tåler vanntrykk.

For å minimalisere skader og feil som følge av oversvømmelser, bør elektrisk utstyr og andre sårbare komponenter enten plasseres høyt eller gjøres vanntette. Dette bidrar til å opprettholde nødvendige tjenester og redusere kostnader knyttet til utskifting av skadet utstyr.

Ved å omregulere områder fra f.eks. gamle industriområder til boliger, kan terrenget heves til et nivå som er sikret mot stormflo ved å bruke overskuddsmasser. Dette tiltaket vil bidra til å beskytte området mot fremtidig oversvømmelse og havnivåstigning.

I tillegg er det viktig å planlegge utformingen av veier på en måte som gjør dem robuste mot vann og bølger. Dette kan inkludere bruk av overflatebelegg som bidrar til rask avrenning etter stormflomhendelser. Det kan også vurderes å heve veier til et flomsikkert nivå, spesielt hvis veiene også fungerer som evakueringstraseer eller beredskapsruter.

I henhold til retningslinjene i Statens Vegvesens N200-vegbygging (2024) er adkomstveier til F3-infrastruktur, som politi- og brannstasjoner, nå definert i sikkerhetsklasse V3, noe som innebærer at veien må ligge trygt mot en flom som statistisk sett forekommer en gang hvert 200. år.

Implementeringen av disse tiltakene vil øke bygningers og infrastrukturers evne til å tilpasse seg den økende risikoen for oversvømmelser som følge av havnivåstigning, og dermed styrke deres motstandsdyktighet og bærekraftighet.

6.10 Usikkerhet: Endringer i kostnadene ved innføring av tiltak mot havnivåstigning.

Kostnadene ved ulike tiltak vil påvirke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av disse tiltakene. Mobilt flomvern og mur har noe lavere usikkerhet, da det finnes flere alternativer og leverandører som gjør det mulig å estimere kostnadene mer presist. Vi estimerer at prisene for disse tiltakene kan øke med 20%.

Når det gjelder jekking av verneverdige bygg i Sandviken og Vågen, er det få aktører som kan utføre denne oppgaven. Derfor er det stor usikkerhet knyttet til kostnadene. Vi har derfor i vår usikkerhetsvurdering anslått at prisene kan øke med opptil 50% i forhold til våre basisestimer. For slusealternativene har vi valgt den billigste slusen, men det er også usikkerhet knyttet til grunnforhold og lignende, som kan føre til økte kostnader. Det kan også være kostnadsøkende faktorer knyttet til Bergen som havneby, så vi anslår at prisen for dette tiltaket kan øke med 50%. I kapitlene 7- 12 vil vi utforske nærmere hvordan disse faktorene påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten for de forskjellige delområdene.

7 Sandviken

7.1 Introduksjon

Sandviken er navnet på kystmiljøet i Bergen nordenfor Mulelven, men i denne rapporten er også Skuteviken inkludert (se Figur 1-4). Området har langs sjøen et kulturmiljø av nasjonal verdi.

Et av de mest enestående kulturmiljøene i Sandviken er sjøbodene som strekker seg fra Skuteviksbodene 7 til Sandviksbodene 78B. Dette er et bygningshistorisk, arkitektonisk og kulturhistorisk viktig eksempel på et sjøbodmiljø knyttet til den bergenske nærings- og handelsvirksomheten. Fiskerieringen og den internasjonale handelen knyttet til Bergen havn og sjøbodmiljø har hatt stor betydning for Norges økonomiske framvekst og identitet. Virksomheten ved sjøbuene i Sandviken var omfattende fra 1600-tallet frem til midten av 1900-tallet. Omkring 1900 var det rundt 250 sjøboder i Skuteviken og Sandviken, de lå en mer eller mindre sammenhengende rekke fra Skuteviken til Elsesro. Mange av disse opprinnelige sjøbodene er i dag nedbrente eller sanerte, og flere av de gjenværende er vedtaksfredete.

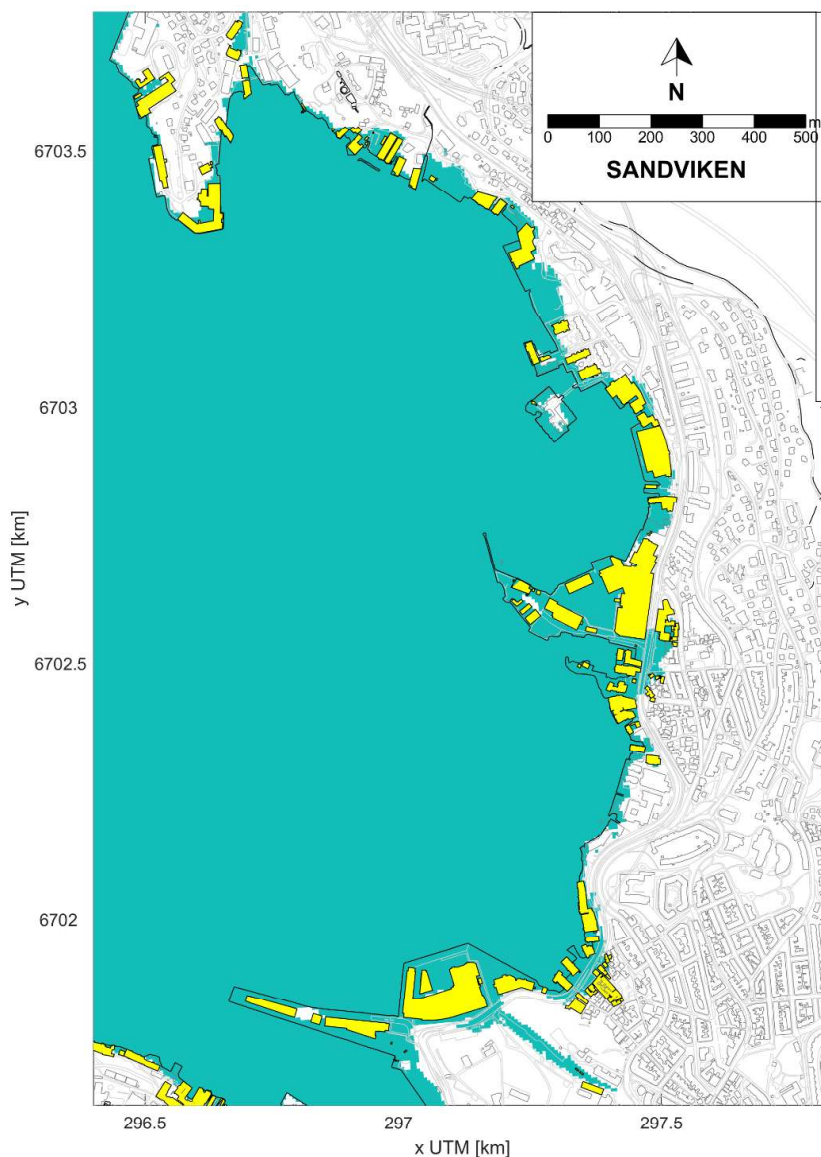


Figur 7-1 Bilde av Sandviken (Kilde: Trond A. Isaksen, Riksantikvaren).

Et annet enestående kulturmiljø i kystsonen er den vedtaksfredete Stoltz' reperbane, også dette er et historisk vitnesbyrd om en maritim næringsvirksomhet av stor økonomisk betydning for Bergen. I tilknytning til disse maritime næringsbyggene ligger en tettbygd, selvgrodd, historisk trehusbebyggelse i de såkalte grendene som opprinnelig var bosted for ansatte ved sjøbodene. Sammen utgjør dette et kulturmiljø av nasjonal verdi. Også flere av lystgårdene i Sandviken er også vedtaksfredete, blant annet Måseskjæret 1 som ligger innenfor delområdet.

7.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

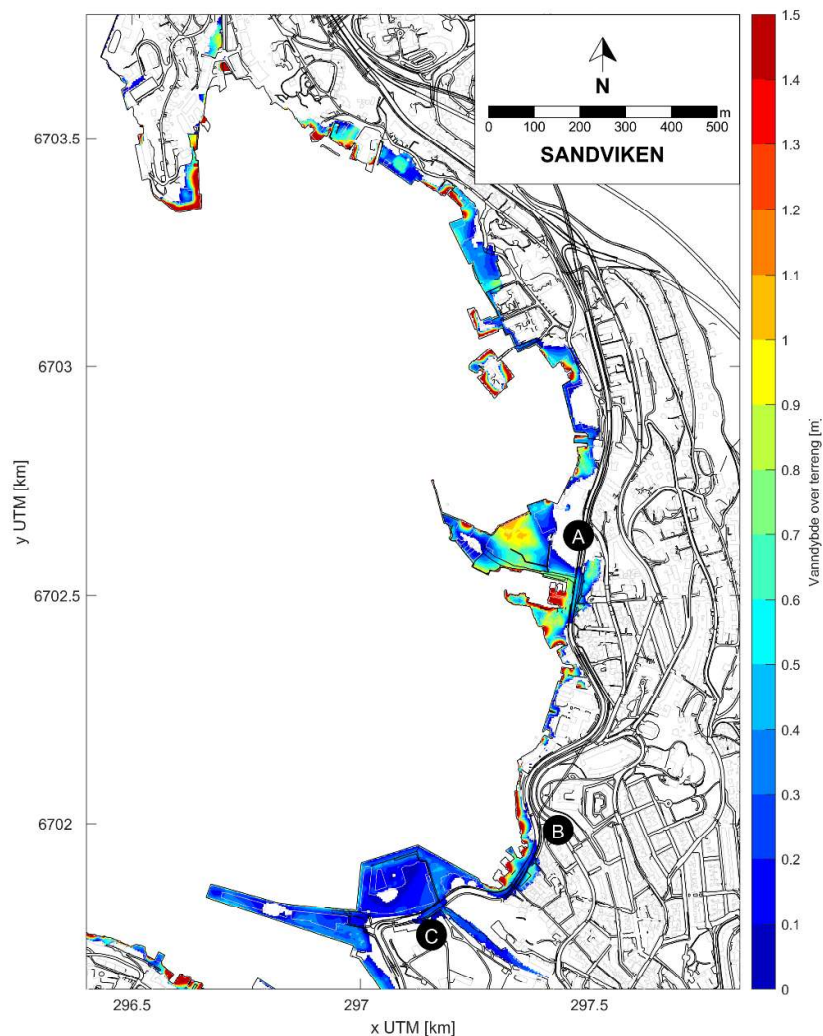
Sandviken har langs hele kystlinjen bygninger som ligger utsatt for stormflo og fremtidig havnivåstigning (Figur 7-2). Det er i dag allerede områder som er oversvømt rundt en høyde på 1,3 m som tilsvarende en 50 års stormflo i dagens situasjon.



Figur 7-2 Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom).

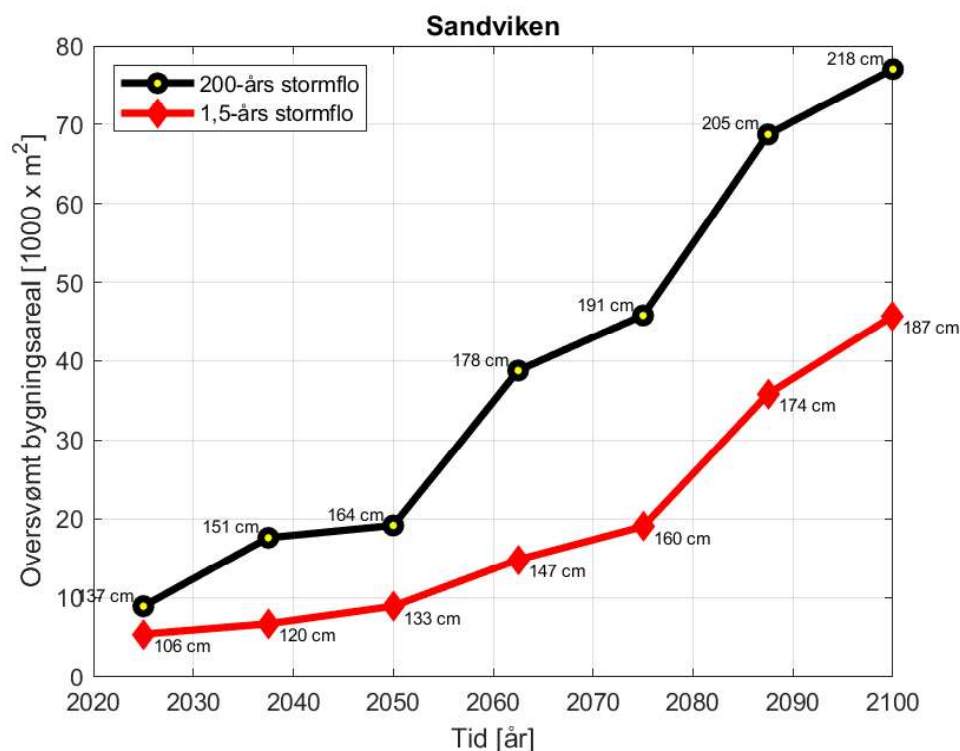
Disse områdene vil bli oversvømt ca. 1 gang. per år ved en havnivåstigning på 30 cm. Det er derfor et stort behov for tiltak dersom områdene skal kunne håndtere en 200-årshendelse i fremtiden. Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstand.

Det er først og fremst bygninger som er utsatt for flomfare, og noen kortere veistrekninger, hvor rømningsveiene merket med A og B er spesielt kritiske (Figur 7-3). På strekningen kan det forventes relativt store bølger i forbindelse med nordvestlig vind, som mest sannsynlig ikke opptrer samtidig med en stormflohendelse (Norconsult/Asplan Viak, 2019). Bølger kan øke kostnadene for tiltak og bestemmes i utformingen av tiltak.



Figur 7-3 Vanndybde over terreng ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Bokstaver indikerer store (evakuerings)veier som blir oversvømt. A og B: Sjøgaten; C: Bontelabo.

Det kommer frem av kartet at de utsatte områdene i delområde Sandviken er kystnære. Ved en 200-års stormflo i 2100 finnes det en vanndybde over terreng på opptil 50 cm, når vannstanden er på 218 cm. På enkelte strekninger er det imidlertid oversvømt med større dybde. For de lavest liggende eiendommene er det anslått at de blir oversvømt når vannstanden er på 140 cm, som er nivået for en 200-årig hendelse i dagens situasjon. Bølger kan også forårsake skade ved lavere havnivå. Siden områdene er eksponert mot bølger fra nordvest må det bli tatt hensyn til mulige bølgepåvirkninger i dette området.



Figur 7-4 Oversvømt bygningsareal i Sandviken over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

Figur 7-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Sandviken over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom.

7.3 Etablering av nullalternativet

I dette kapittelet vil vi se på hvilke konsekvenser det får for Sandviken om vi ikke innfører tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo.

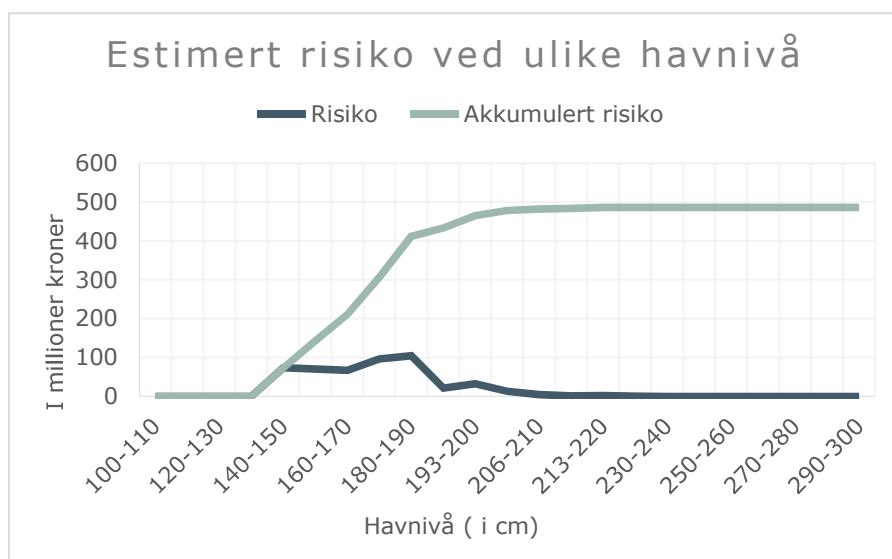
7.3.1 Prissatte virkninger

Det kan i Sandviken potensielt bli store kostnader som følge av skader på bygninger. Figur 7-5 viser de estimerte skadene for de ulike havnivå i millioner kroner. Fra ca. 160 cm vil økt havnivå i kombinasjon med stormflo kunne gi store skader.



Figur 7-5 Figuren viser skadekostnaden for bygninger i Sandviken for de ulike havnivåene, i millioner kroner gjennom hele analyseperioden 2025-2100.

Ved å kombinere skadekostnadene med sannsynligheten, kan vi evaluere risikoen for skader ved ulike havnivåer. Figur 7-6 viser risikoen og den akkumulerte risikoen for Sandviken. Det vil være svært effektivt å sikre opp til et havnivå på 180-190 cm, da det vil bidra til å ekskludere en stor del av skaderisikoen og dermed også kostnadene.



Figur 7-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden er nåverdien beregnet til å være ca 490 millioner kroner for senarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

Nåverdien representerer dagens verdi av skadekostnadene i løpet av de neste 75 årene. Basert på klimascenariot SSP 3-7.0 (83% konfidensintervall), forventes det skader i

Sandviken på omtrent 490 millioner kroner dersom ingen tiltak gjennomføres. Dette tallet er forbundet med betydelig usikkerhet, som blir diskutert nærmere i kapittel 7.4.4.

7.3.2 Ikke-prissatte virkninger

I Tabell 7-1 illustrerer vi det scenarioet som er brukt for å vurdere ikke-prissatte konsekvenser for delområde A (Sandviken). Scenarioet tar utgangspunkt i en 200-årsflom i SSP3-7.0 med øvre 83-prosent utfallsrom, som gir et havnivå på 218 cm. Dette scenarioet er brukt som grunnlag for analysen av ikke-prissatte virkninger. Figur 7-3 viser påvirkningen på veinettet og hvilke områder som vil bli oversvømt. Dybden over terrenget på de oversvømte områdene er fargekodet, der blå indikerer lavere dybde og rød indikerer høyere dybde.

Det er gjennomført vurderinger av virkningen på kulturmiljøet, påvirkningen på veinettet, konsekvensene for trafikanter og beredskap ved å bruke en verdimatrise som tar hensyn til mengde og enhetsverdi, se Tabell 7-1. Dette gir en helhetlig samfunnsøkonomisk påvirkning. For en mer detaljert beskrivelse av vurderingene, se Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 7-1 Oppsummering av de ikke-prissatte virkningene for Sandviken i verdisetningstabell. For mer detaljert beskrivelse se Vedlegg E.

Kostnadsvirkninger	Verdi
Kulturminneverdier	Stor negativ
Veinett	Liten negativ
Konsekvenser for trafikanter	Middels negativ
Beredskap	Liten negativ

Det er verdsatt at stormflo vil ha stor negativ samfunnsøkonomisk verdi på kulturmiljøet i Sandviken, med potensiale for tap av verdifullt kulturmiljø (Tabell 7-1). Det blir trolig liten negativ kostnad på veinettet. Det vil ha middels negative konsekvenser for trafikanter at veiene står under vann. Det er omkjøringsvei i området, men det kan bli mer problemer i Vågen og derfor mye trafikk også i dette området og på omkjøringsveiene. Dette er blant annet årsaken til at det er estimert liten negativ samfunnsøkonomisk verdi i forbindelse med beredskap, nettopp fordi det vil kunne oppstå forsinkelser som følge av omkjøring og at hovedveien ikke kan benyttes på samme måte.

I sum er det middels negativ samfunnsøkonomisk verdi for de ikke-prissatte konsekvensene i Sandviken. Vi vil i kapittel 7.4.4 se på usikkerheten for høyere utslippsscenarioer for å se hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten. Vurderingene gjort for de ikke-prissatte konsekvensene av nullalternativet er overordnet og vil ha stor grad av usikkerhet.

7.4 Vurdering av tiltak

7.4.1 Behov for sikring

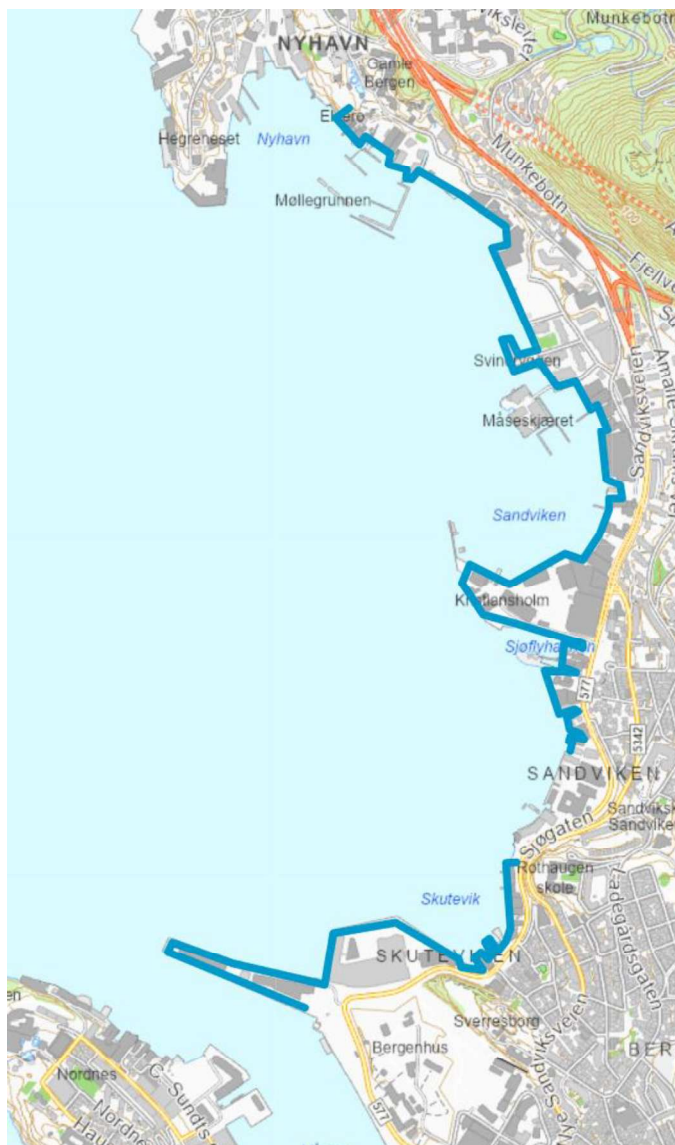
Det er behov for vern langs nesten hele kysten, der mange hus vil bli utsatt med det stigende havnivået. De første årene kan nødløsninger brukes, da havnivåstigningen gjør at stormflo fortsatt bare vil oversvømme små seksjoner. Oversvømte områder angitt med rødt og gult i Figur 7-3 (over 0,8 m vanndyp) er det behov for sikring nå, og i de blå områdene vil det være behov senest år 2100.

7.4.2 Kostnadsestimat

For mobile flomvern er det antatt en investeringskostnad på 173 millioner kroner i år 2025. Det er antatt en levetid på 25 år og drift- og vedlikeholdskostnad på 10 % av investeringskostnaden. Investeringskostnaden i år 2025 er for en stor andel knyttet til spunting. Det er ikke nødvendig å spunte på nytt etter 25 år, derfor blir reinvesteringskostnaden bare 8 millioner kroner.

For mur er det antatt en investeringskostnad på 305 millioner kroner i år 2025. Det er antatt levetid på 75 år og drift og vedlikeholdskostnad på 3 % årlig av investeringskostnaden. Behovet for sikring er på 4 km og er illustrert i Figur 7-7.

For jekking er det antatt investeringskostnad på cirka 6000 millioner kroner i 2025 og ingen drift-og-vedlikeholdskostnader. Det er antatt at jekkingen vil gå over en relativt lang tidsperiode i Sandviken da det er mange bygninger som er aktuelle for jekking. Det er en spesialistkompetanse og det er risiko for at det er få entreprenører som tilbyr denne type tjeneste. Det er også tidkrevende arbeid. Vi har på den bakgrunn valgt jekking i Sandviken å periodisere kostnaden for de 15 første årene av perioden etter år 2025, altså til og med år 2040. Det er antatt at det er 50 % av bygningene i Sandviken som kan jekkes. Det er svært høy usikkerhet knyttet til kostnadsestimatene.



Figur 7-7 Behov for sikring av mobile flomvern/mur (ca. 4km)

7.4.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabell 7-2 viser totale kostnader og potensiell gevinst i millioner for hele perioden 2025-2100. Netto nytte viser samfunnsøkonomisk lønnsomhet i prosjektet og NNB er netto nytte per budsjettkrone. Netto nytte per budsjettkrone er et relativt mål på lønnsomhet så lenge alle tiltakets virkninger er prissatte, og sier noe forenklet hva samfunnet netto får igjen for hver krone som benyttes til realisering av prosjektet over offentlige budsjetter (nytte per kostnadsenhet, basert på beregnede prissatte virkninger). (DFØ, 2023) Det er antatt at 50% av bygningene i Sandviken kan jekkes. Det er derfor lavere total mulig gevinst for jekking enn mur og mobile flomvern. Det er antatt at mobile flomvern og mur i kombinasjon med jekking gir fullstendig beskyttelse i Sandviken.

Tabell 7-2 Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

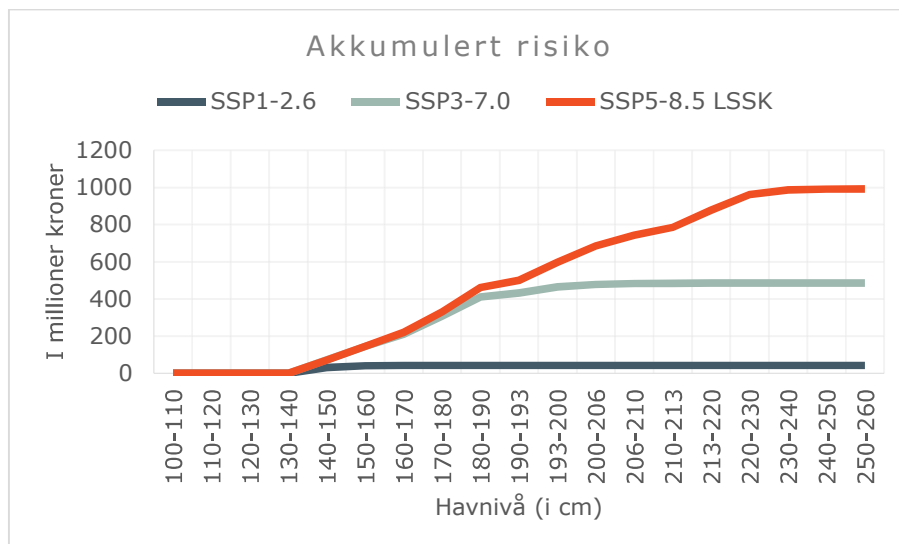
	Mobile flomvern	Jekking	Mur
Total mulig gevinst	kr 486	kr 243	kr 486
Total kostnad	-kr 630	-kr 4 336	-kr 537
Netto nytte	-kr 144	-kr 4 093	-kr 51
Netto nytte per budsjettkrone	-kr 0,23	-kr 0,94	-kr 0,09
Rangering	2	3	1

Basert på den lønnsomhetsvurderingen er det ingen av tiltakene i Sandviken som gir positiv netto nåverdi for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall. Mur er det tiltaket som kommer best ut, med netto nytte på minus 51 millioner kroner.

7.4.4 Usikkerhet

I dette kapitlet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarioer på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Sandviken. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Sandviken.

Utslippsscenario vi bruker i analysen på har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. Figur 7-8 viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka 40 millioner kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i underkant av én milliard.



Figur 7-8 Akkumulert risiko for Sandviken, for utvalgte klimascenarier

Tabell 7-3 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Vi ser at mur er det tiltaket som kommer best ut i alle de tre klimascenariene. Vi ser at flere av tiltakene blir samfunnsøkonomisk lønnsomme ved mer pessimistiske klimascenarier og mindre lønnsomme ved økte kostnader.

Tabell 7-3 Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endret utslippsscenario eller økning i kostnad

	Mobile flomvern	Jekking	Mur
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,93	-0,92	-1,00
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,23	-0,09	- 0,94
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	0,57	0,85	-0,89
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,35	-0,24	-0,96

7.4.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

En multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkninger er presentert i Tabell 7-4. De ikke-prissatte virkningene vurderes kvalitativt på en 5-trinns skala. De ulike tiltakene rangeres i forhold til prosjektets ikke-prissatte effekter.

Tabell 7-4 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Måltrettede effekter	+	++	++	+	Ikke relevant
Landskap - påvirkning	+	+	--	-	Ikke relevant
Landskap - potensiale	-	-	+	++	Ikke relevant
Kulturminneverdi	++	+	--	-	Ikke relevant
Infrastruktur	+	-	++	++	Ikke relevant
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
<i>Rangering</i>	1	4	3	2	Ikke relevant

I det følgende beskrives de enkelte mulige tiltakene i en lokal kontekst.

Mobilt flomvern er et alternativ for å sikre kystlinjen. Dette vil særlig være aktuelt i første del av perioden, når de enkelte strekningene er truet. Etter hvert som havnivået stiger, vil behovet øke og det vil være vanskelig å sikre hele strekningen med mobilt flomvern. Det vil kreve en betydelig beredskapsinnsats. Det er viktig å være klar over at det er fare for brudd ved bruk av mobilt flomvern, det er derfor ikke 100% sikker som sikring mot flom. For eksempel i Danmark, under hendelsen i oktober 2023, sprakk en water tube (flompølse) under en hendelse. Dette er i Sandviken en værhard kystlinje og det er derfor viktig å ta hensyn til at det er fare for brudd ved bruk av mobilt flomvern. Mobilt flomvern får derfor bare en liten positiv score på måltrettede effekter. Mobilt flomvern vil ikke påvirke landskapsverdiene negativt.

Jekking kan brukes på enkelte eldre bygninger. Jekking kan ikke brukes som en generell sikkerhet, da flere av bygningene som ligger nær kysten er nyere og ikke kan jekkes. Jekking er altså et individuelt vern av særlig utsatte bygninger som ikke kan sikres på annen måte. Jekking er en sikker metode og får derfor høy positiv score på måltrettede effekter, men er kun aktuelt for gamle kulturminneverdige bygg. Ved jekking vil kulturmiljøverdiene, særlig autensitet også svekkes.

Mur er et tiltak som kan etableres i stedet for mobilt flomvern. En mur er et stasjonært system, med høy grad av sikkerhet for funksjon under hendelser. Mur kan erstattes av jorddiker på seksjoner der det er mer plass. Mur får en stor positiv effekt på målrettede effekter, på grunn av funksjonssikkerheten. Mur har en negativ innvirkning på landskapet, men det finnes eksempler på mur med rekreasjonsfunksjoner som kan motvirke den negative effekten og tilføre et potensiale, som gir merverdi (se kapittel 6.4). Det er vurdert at den samlede landskapspåvirkningen av mur er negativ.

En metode for å sikre områder som ligger lavt i terrenget er en utfylling i sjøen. Det vil i Sandviken, med den lange kystlinjen, være et omfattende inngrep med utfyllinger som vil ha stor innvirkning på dagens eiendommer, landskap, utsikt mv. Utfylling er en sikker metode og scorer derfor høyt positivt på målrettede effekter. Landskapspåvirkningen er stor og negativ, men som med mur vil det også være mulig å uforme det på en måte som gir et potensiale for utvikling av landskap på en positiv måte. Det er anslått at den samlede landskapspåvirkningen på landskapet kan være positiv. Per i dag er det noen mindre planer for utfyllinger.

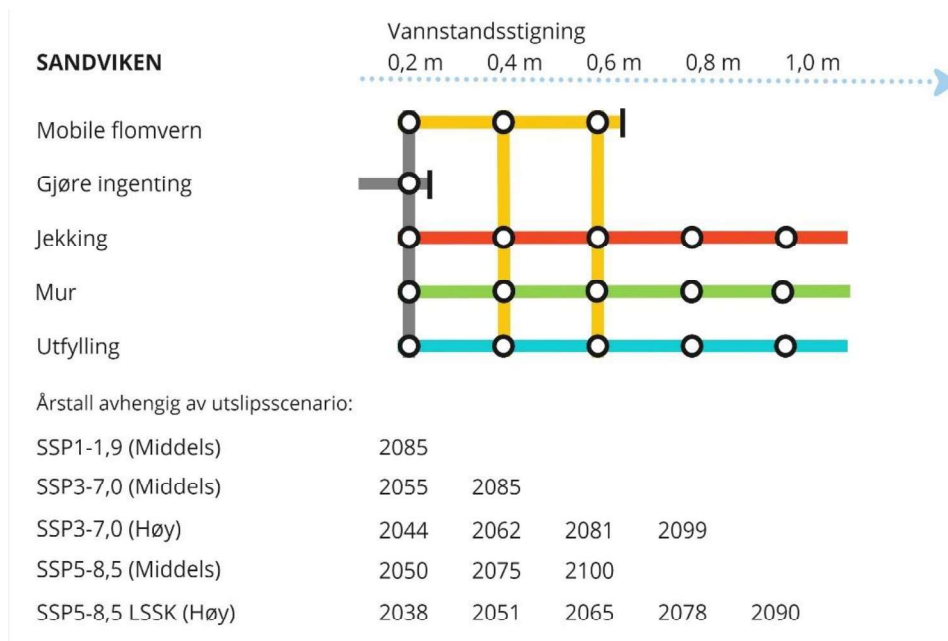
Sluser eller barrierer er ikke aktuelt eller mulig ved Sandviken på grunn av kystlinjen.

Ut fra en samlet vurdering av de ikke-prissatte virkninger er mobilt flomvern det tiltaket som umiddelbart fremstår som den beste løsningen for Sandviken, gjerne i kombinasjon med mur. Der det er mulig kan det suppleres med fyllinger. For en kombinasjonsløsning innebærer det at det må opprettes en omfattende beskyttelseslinje for å sikre alle utsatte bygninger som vist i Figur 7-7. Ved å etablere mur på deler av strekningen reduseres behovet for mobilt flomvern. Utfyllinger kan også bli brukt for å redusere behovet for sikring. Jekking er mulig for individuell beskyttelse av de enkelte sårbare historiske bygningene.

7.5 DAPP

DAPP-diagrammet nedenfor viser mulige sikringer og kombinasjoner for å sikre Sandviken mot flom. Diagrammet viser mulige og relevante sikkerhetstiltak, og hvordan disse kan kombineres. Dagens situasjon er kun bærekraftig på kort sikt, og det vil være nødvendig å etablere murverk eller mobilt flomvern. Akkurat nå er det ikke kostnadseffektivt. Da kostnadene ved etablering på hele strekningen ikke står i forhold til gevinstpotensialet.

I den videre detaljeringen av tiltak for å beskytte mot havnivåstigning bør det bli undersøkt muligheten for å kombinere midlertidige og permanente tiltak. Ved å gjøre dette kan man for eksempel sikre større kulturminneverdier med permanente tiltak, mens man kan bruke beredskapstiltak på steder hvor det er ønskelig med tilgang til kystlinjen i det daglige.



Figur 7-9 DAPP analyse

7.6 Samlet vurdering for Sandviken (DAPP)

Det er vurdert at den mest hensiktsmessige løsningen for Sandviken er en skreddersydd løsning per bygning/området (Tabell 7-5).

Sandviken har en kystlinje som har mange bygninger som er utsatt for oversvømmelse. Mange kulturminneverdige bygninger ligger direkte ved sjøkanten. Vår anbefaling er å iverksette tre tiltak samtidig. Deler av området kan bli beskyttet med mobile flomvern, mens andre deler bør sikres med mur. Bygningene som ligger direkte ved sjøkanten kan heves. Jekking er antatt som aktuelt der særlig sårbare eldre bygninger med høy kulturell verdi ikke kan beskyttes av andre tiltak, eller om landskapet bør bli ivaretatt. Jekking er en kostnadsfult alternativ. Videre er det viktig å begrense bruken av mobile flomvern på grunn av behovet for innsats andre steder. I en neste fase bør man vurdere hvilke tiltak som passer best for hvilke bygninger. Men når havnivået stiger, vil mur og fyllinger eller en kombinasjon være den beste løsningen.

Tabell 7-5 Samlet vurdering

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap. 7.4.3)	2	3	1		NA
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 7.4.5)	1	4	3	2	NA
Rangering	1	4	3	2	NA
Vurdering av tiltaket	Det er en lang strekning og vil kreve mye arbeidskraft hvis den skal sikres langs hele linjen	Kun relevant for enkelte eiendommer	Stor sikkerhet.	Relevant der det er mulig.	Ikke relevant
Samlet vurdering	Mest opplagt på kort sikt	Det er bare relevant for enkelte eiendommer	Bør blir brukt der det er mulig om utfylling ikke er hensiktsmessig.	Bør anvendes der det er mulig, som et alternativ til mur og mobilt flomvern.	Ikke relevant

8 Vågen

8.1 Introduksjon

Vågen i Bergen er en havnebukt som utgjør hjertet av den historiske byen og var forutsetningen for byens vekst de siste tusen årene, men arkeologiske funn indikerer bosetning allerede rundt 500-tallet. Vågen er en skjermet havn som er velegnet for befestning. Transporten mellom Bergen og omverdenen var i hovedsak sjøveis frem til 2.verdenskrig, og havneanleggene har vært avgjørende for bydannelsen. Den tidligste havneaktiviteten ble etablert langs østsiden av Vågen – på Bryggen der det utviklet seg en spesiell bebyggelse med bygningstyper skreddersydd for sjøhandel. De eldste sporene er bolverk som kan dateres til midten av 1100-tallet. Det var i høymiddelalderen spesielt tørrfiskhandelen og senere den lukrative nordlandshandelen som lå til grunn for den økonomiske veksten.

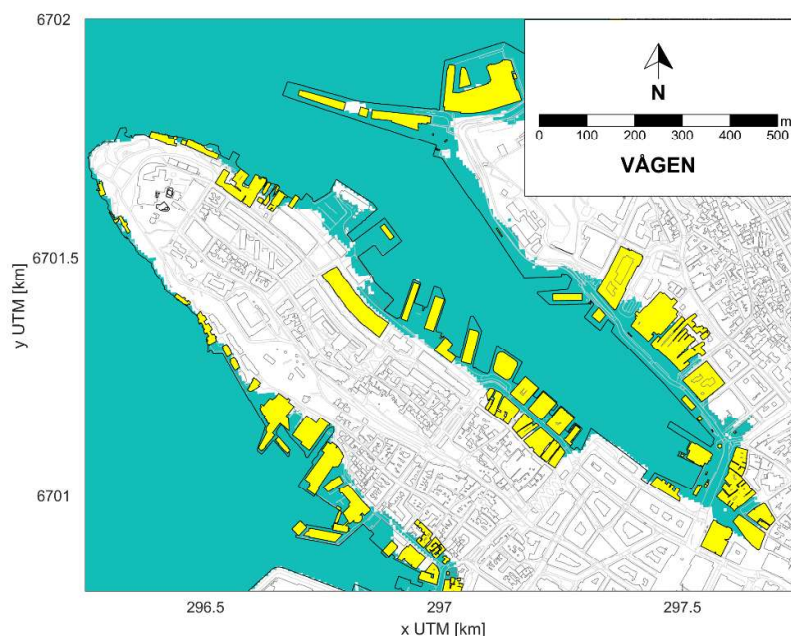


Figur 8-1: Bryggen (bilde: COWI)

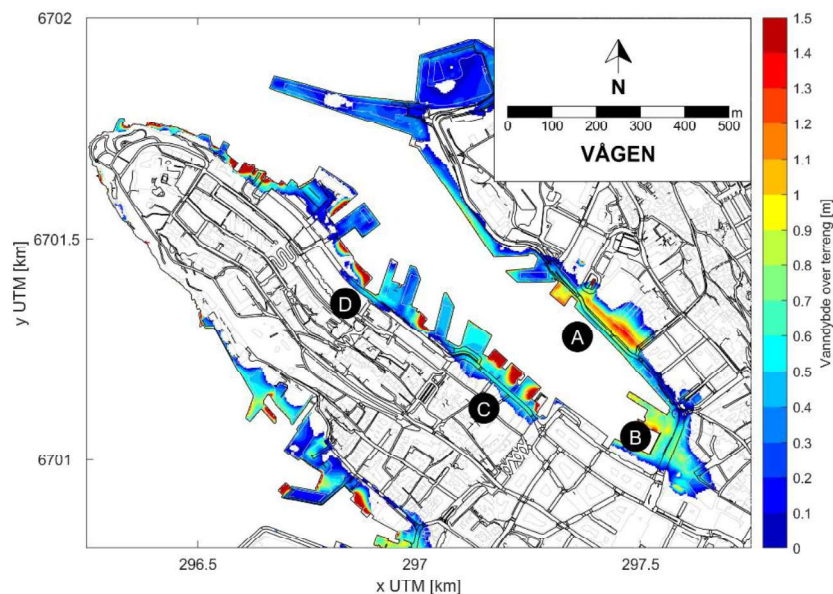
Handelen var helt fra 1250-tallet underlagt internasjonale avtaler som gjorde Bergen til en såkalt staple-havn, og fra 1360 til 1754 var Bryggen sete for Det tyske kontor i byen og det sentrale knutepunktet for hanseatisk handelsvirksomhet i Norge, noe som en periode gjorde Bergen til Nordens største by. Etter hvert ekspanderte aktiviteten til vestsiden av Vågen - på Strandsiden. Rundt hele Vågen finnes det et kulturmiljø som er unikt i nasjonal sammenheng, og en rekke bygninger rundt hele Vågen fra Bergenhus festning til Sliberget er vedtaksfredet. Bryggen med det hanseatiske kontor og Finnegården ble i 1979 innskrevet på UNESCOs liste over verdens kulturmiljø og er den tredje mest besøkte turistattraksjonen i Norge. I prosjektet er delområde B, Vågen definert av havnebassenget og kystlinjen mellom Tvedtegården og Skoltegrunnskaia mens Nordnesbodene inngår i delområde C, Dokken. (se Figur 1-4).

8.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

Vågen er som nevnt en havnebukt og er derfor delvis beskyttet mot bølger, bortsett fra vind fra nordvest. Det skjer stormflo langs hele bukta rundt kysten, som er nesten like høy på hele strekningen. På noen partier går terrenget helt ned til vannet og noen hus er derfor utsatt for stormflo allerede i høyde 1,3-1,4 m. tilsvarende en 50 års høyvann. Bryggen har ved flere anledninger stått under vann. Ved en havnivåstigning på 30 cm vil disse områdene bli oversvømt ca. 1 gang per år. Det er derfor et stort behov for tiltak dersom områdene skal kunne håndtere en 200-årshendelse i fremtiden. Figur 8-2 viser oversvømte bygninger i Vågen ved 218 cm havnivå.

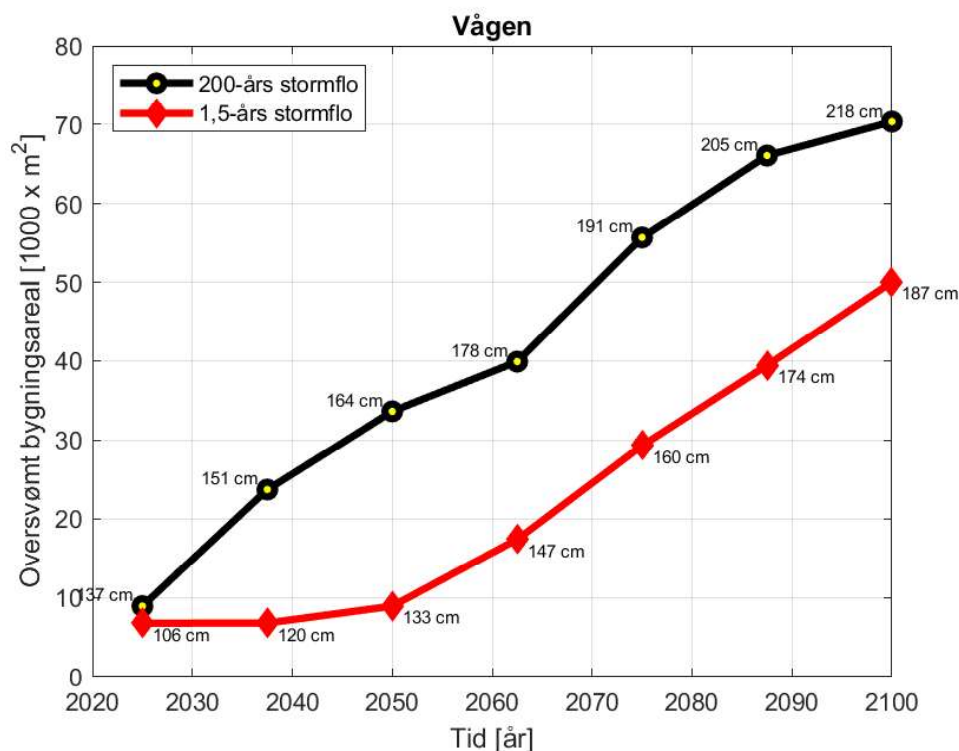


Figur 8-2 Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm havnivå (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander.



Figur 8-3 Vanndybde over terreng ved 218 cm havnivå (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Bokstaver indikerer store (evakuerings)veier som blir oversvømt. A: Bryggen; B: Torget; C og D: C. Sundts gate.

Det er først og fremst bygninger som er utsatt for oversvømmelse, samt noen kortere veistrekninger der de kritiske strekninger er merket på kartet. Det fremgår av kartet at de utsatte områdene i dette delområdet er kystnære og i forhold til vern er det først og fremst snakk om grunt vanddyp på opptil 0,5 m. På enkelte strekninger er det imidlertid oversvømmelse med større vanndybde over terreng. De lavest liggende eiendommene anslås å bli oversvømt på en vannstand på 140 cm, som er omtrent nivået for en 200-år hendelse i dag.



Figur 8-4 Oversvømt bygningsareal i Vågen over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

Figur 8-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Vågen over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom.

8.3 Turisme

Vågen innehar en sentral posisjon i Bergens rolle som en ettertraktet turistdestinasjon, både nasjonalt og internasjonalt. Bryggen er spesielt attraktiv for turister. Vågen utspiller også en sentral rolle innenfor cruiseindustrien, og mange cruiseskip seiler inn til Vågen. Cruiseturismen bidrar også positivt til Bergen som by ved at cruiseturister og rederi legger igjen store summer i det lokale næringslivet⁷. Turismen utenom cruiseturismen til Vågen bidrar også til sysselsetting i innen reiselivsnæringen og annet lokalt næringsliv.

I sin helhet forsterker Vågen byens status som en attraktiv turistdestinasjon ved å presentere en unik kombinasjon av historisk relevans, naturskjønnhet og kulturell mangfoldighet. Det vil derfor være viktig å bevare Vågen som turistattraksjon, både ved at man ikke hindrer cruisetrafikk inn til Bergen, men også at man sørger for at Bryggen, og sentrum er tilgjengelig for publikum.

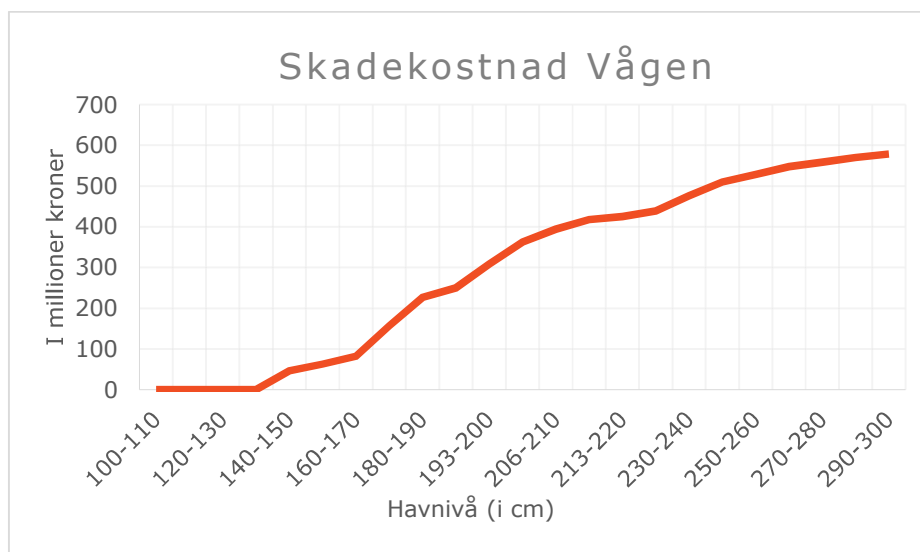
⁷ <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2018-85-Cruiseturismens-%C3%B8konomiske-betydning-i-Bergen.pdf>

8.4 Etablering av nullalternativ

I dette kapittelet vil vi se på hvilke konsekvenser det får for Vågen om vi ikke innfører tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo.

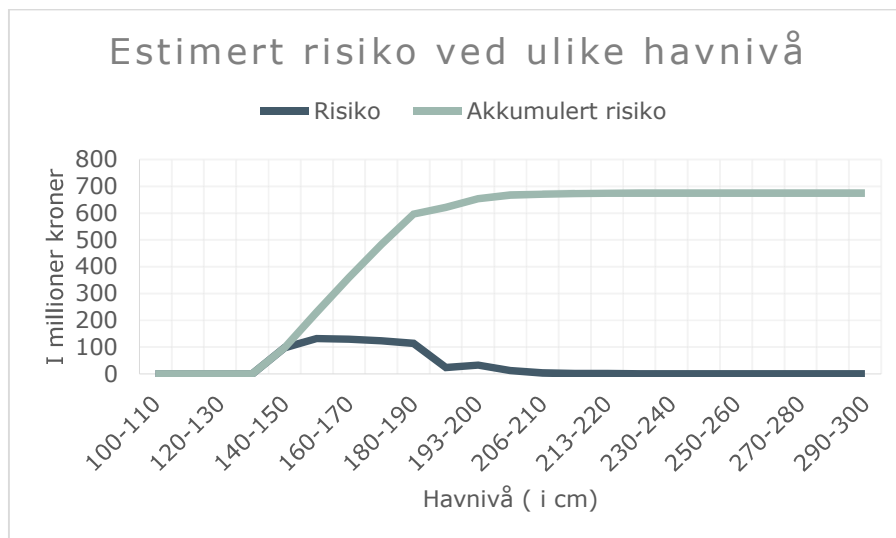
8.4.1 Prissatte virkninger

Figur 8-5 viser skadekostnadene for Vågen. Det er her vi potensielt kan få de største kostnadene som følge av skade på bygninger i Bergen sentrum. Kostnadene begynner å stige fra 160 cm og skadekostnadene er over 200 millioner kroner ved 180-190 cm.



Figur 8-5 Figuren viser skadekostnaden i Vågen for de ulike havnivåene, gjennom hele analyseperioden 2025-2100.

Om vi ser på skadekostnaden sammen med sannsynligheten får vi skaderisiko for de ulike havnivåene. Figur 8-6 viser risiko og akkumulert risiko for Vågen. Ved vannstand opp til 180-190 cm er skaden 600 millioner kroner. Risiko for skade er høyest rundt 160 cm vannstand, men generelt høyt frem til 190 cm.



Figur 8-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden er nåverdien beregnet til å være ca 670 millioner kroner for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

8.4.2 Ikke-prissatte virkninger

I Figur 8-3 ser vi illustrert scenarioet som er lagt til grunn for vurdering av de ikke-prissatte virkningene for delområde B) Vågen.

Det er vurdert påvirkning på kulturmiljø, påvirkning på veinettet, konsekvenser for trafikanter og beredskap ved å bruke en verdimatrise med kvantum og enhetsverdi som i sum gir en samfunnsøkonomisk påvirkning. Se Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 8-1 Oppsummering av ikke-prissatte konsekvenser for Vågen (se Vedlegg E).

Kostnadsvirkninger	Verdi
Kulturminneverdier	Meget stor negativ
Veinett	Liten negativ
Forsinkelser	Stor negativ
Beredskap	Middels negativ

I Vågen er det store negative konsekvenser i tillegg til skadene som er verdsatt på bygninger som følge av stormflo og havnivåstigning.

Det er verdsatt at stormflo potensielt vil ha meget stor negativ samfunnsøkonomisk verdi på kulturminneverdier. Dette er fordi Bryggen i Bergen ligger i området. Selv om Bryggen

ikke opplever store skader som følge av havnivå i dag, er det sannsynlig at dette vil øke med høye havnivåer i fremtiden. Det vil også gjøre Bryggen mindre tilgjengelig for allmenheten.

Verdsettelsen av skade på veinettet som følge av stormflo og havnivåstigning er satt til liten negativ samfunnsøkonomisk verdi. Dette er fordi havnivå i seg selv trolig ikke vil ødelegge veien, men når hyppigheten av høyt havnivå øker vil behovet for vedlikehold øke.

Bryggen er en viktig forbindelse mellom Bergen nord og sør, og inneholder flere kollektivruter som blant annet går over Bryggen og torget. Dette resulterer i at det kan oppstå store forsinkelser for både bilister og andre trafikanter. Den samfunnsøkonomiske verdien er verdsatt til stor negativ verdi. Det foreligger planer og drøftes politisk å bygge Bybanen over Bryggen og stenge for all biltrafikk. Området vil fremdeles ha mange myke trafikanter og busser som passerer på bryggen, og det vil trolig være et viktig knutepunkt for Bergen.

Verdsettelsen av konsekvensene for beredskap er satt til stor negativ verdi. Dette begrunnes med at det vil være problemer med trange omkjøringsveier som følge av oversvømte hovedveier, og det vil kunne ta lenger tid i forbindelse med uttrykninger for Vågen området. Fløyfjellstunnelen kan brukes som beredskap mellom nord og sør i Bergen. Dersom man samtidig får en uplanlagt stenging av Fløyfjellstunnelen, vil dette selvsagt påvirke nødetatenes fremkommelighet og skape store forsinkelser i store deler av Bergen. Det vil imidlertid være lav sannsynlighet for at dette inntreffer samtidig med en hendelse med oversvømmelse.

8.5 Vurdering av tiltak

8.5.1 Behov for sikring

Det er behov for vern langs hele kysten, der mange hus vil bli utsatt i takt med det stigende havnivået. De første årene kan nødløsninger bli brukt i form av mobile flomvern, da vannstandsstigningen gjør at stormflo fortsatt bare vil oversvømme små seksjoner. I Figur 8-3 viser oversvømte områder angitt med rødt og gult, som indikerer at disse områdene har en vanndybde over terreng på over 0,8m ved en 200-års stormflo i 2100. Disse områdene krever umiddelbare tiltak. De blå områdene indikerer at det vil være behov for sikring senest i år 2100.

8.5.2 Kostnadsestimat

For mobile flomvern er det antatt en lengde på 700m (Figur 8-7) og dermed en investeringskostnad på 30 millioner kroner i år 2025. Det er antatt en levetid på 25 år og drift- og vedlikeholdskostnad på 10 % av investeringskostnaden. I investeringskostnaden i år 2025, er en stor andel av kostnaden knyttet til spunting. Det er ikke nødvendig å spunte på nytt etter 25 år, derfor blir reinvesteringskostnaden bare 5 millioner kroner.

Mobile flomvern er bare vurdert rundt Bryggen og Torget (Figur 8-7). Rundt sørlige Vågen (C. Sundts gate) er det mange bygg som også er utsatt for stormflo, men her blir det

<https://cowi.sharepoint.com/sites/A268217-project/Shared Documents/60-WorkInProgress/10-Documents/Tiltak havnivåstigning Bergen - A268217 -2024 endelig.docx>

8.5.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabell 8-2 viser totale kostnader og potensiell gevinst i millioner for hele perioden 2025-2100. Netto nytte viser samfunnsøkonomisk lønnsomhet i prosjektet og NNB er netto nytte per budsjettkrone. Netto nytte per budsjettkrone er et relativt mål på lønnsomhet så lenge alle tiltakets virkninger er prissatte, og sier noe forenklet hva samfunnet får igjen netto for hver krone som benyttes til realisering av prosjektet over offentlige budsjetter (nytte per kostnadsenhet, basert på beregnede prissatte virkninger) (DFØ, 2023). Det er antatt at 10% av bygningene i Vågen kan jekkes. Det er derfor lavere total gevinst for jekking enn mobile flomvern og sluser. Det er antatt at mobile flomvern beskytter 60% av området. Dette fordi det bare er aktuelt med mobile flomvern på ene siden av Vågen, men ikke aktuelt på Nordnes siden.

Tabell 8-2 Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

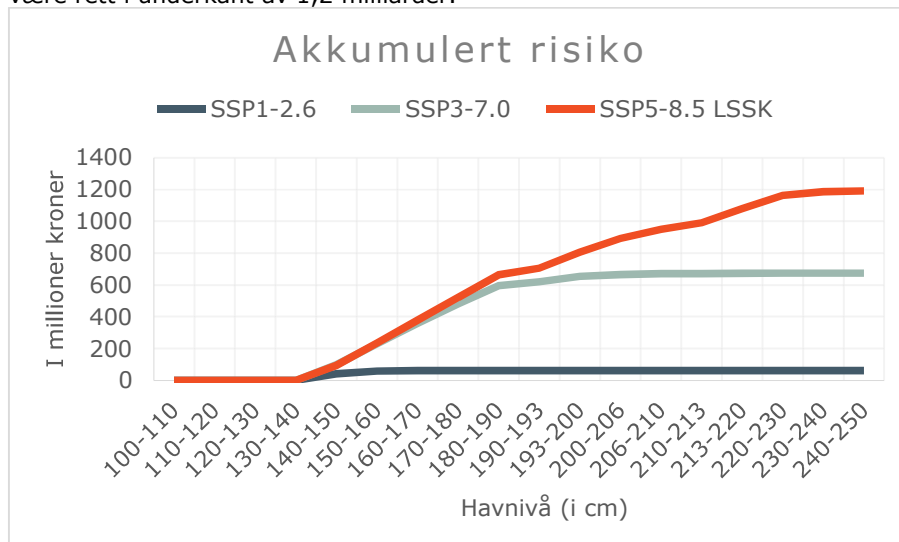
	Mobile flomvern	Jekking	Barriere /sluser
Total mulig gevinst	kr 405	kr 337	kr 674
Total kostnad	-kr 114	-kr 1 542	-kr 1 078
Netto nåverdi	kr 290	-kr 1 205	-kr 404
Netto nytte per budsjettkrone	2,55	-0,78	-0,37
Rangering	1	3	2

Basert på den lønnsomhetsvurderingen er det bare mobilt flomvern av tiltakene i Vågen som er gir positiv netto nåverdi og som er det mest lønnsomme tiltaket for SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall. I Vågen er det en høy total mulig gevinst selv med bare 60% mobilt flomvern, og mobile flomvern er et mindre kostnadskrevende tiltak sammenlignet med jekking og barriere/sluser.

8.5.4 Usikkerhet

I dette kapitelet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarioer på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Vågen. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Vågen.

Utslippsscenario vi bruker i analysen har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. Figur 8-8 viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario for Vågen. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka 60 millioner kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i underkant av 1,2 milliarder.



Figur 8-8 Akkumulert risiko for Vågen, for utvalgte klimascenarioer

Tabell 8-3 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Vi ser at mobilt flomvern er det mest lønnsomme alternativet, og at sluse er lønnsomt for det mest pessimistiske utslippsscenarioet. Mobilt flomvern er også lønnsomt dersom man får en 20% kostnadsøkning, og mobilt flomvern vil faktisk være lønnsom også med en dobling i kostnadene.

Tabell 8-3 Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endret utslippsscenario eller økning i kostnad

	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,67	-1,00	-0,94
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	2,55	-0,96	-0,37
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	5,27	-0,92	0,11
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	1,96	-0,97	-0,58

8.5.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

De ikke-prissatte effektene blir vurdert kvalitativt på en 5-trinns skala. Deretter blir de ulike mulige tiltakene rangert i henhold til de ikke-prissatte virkningene.

Tabell 8-4 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Målrettede effekter	++	+	Ikke relevant	Ikke relevant	++
Landskap - påvirkning	+	+	Ikke relevant	Ikke relevant	+
Landskap - potensiale	-	-	Ikke relevant	Ikke relevant	+
Kulturminneverdier	+	+	Ikke relevant	Ikke relevant	++
Infrastruktur	+	-	Ikke relevant	Ikke relevant	++
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	--
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	-
Rangering	2	3	Ikke relevant	Ikke relevant	1

I det etterfølgende beskrives de ulike tiltakene i en lokal kontekst.

Mobilt flomvern er et alternativ for å sikre kystlinjen. Dette vil være spesielt aktuelt i første del av perioden, hvor enkelte deler av strekningene er truet. Etter hvert som havnivået stiger, vil behovet øke og det vil være vanskelig å sikre hele strekningen med mobilt flomvern. Det vil kreve en betydelig beredskapsinnsats. Det er viktig å være klar over at det er fare for brudd ved bruk av mobilt flomvern, det er derfor ikke garanti for 100% funksjonalitet for sikring mot oversvømmelse. I Vågen er det vurdert at bølgepåvirkningen vil være begrenset.

Jekking kan bli brukt på noen eldre bygninger. Jekking kan ikke brukes som generell sikring, da flere av bygningene som ligger nær kysten ikke kan jekkes. Jekking er derfor

relevant å bruke som individuell beskyttelse av spesielt sårbare bygninger som ikke kan sikres på annen måte. Jekking er en sikker metode og får derfor høy positiv score på målrettede effekter, men er kun relevant for Bryggen i delområdet.

Mur er vurdert som ikke relevant for Vågen, da dette begrenser tilgangen til vannet og en stor del av bygningene ikke kan benyttes, spesielt på sørsiden av Vågen.

Utfylling er ikke relevant.

En sluse med fylling vil være en effektiv beskyttelse mot oversvømmelse i Vågen. Dette kan beskytte hele kystlinjen uten videre tiltak. Det vil være negativ påvirkning på den maritime tilgangen, fordi de største båtene ikke kan komme inn i Vågen med denne type sluse. En del av båttrafikken må da flyttes ut av Vågen. Videre vurderes at vannutskiftning blir mindre og at naturmiljøet får en liten negativ påvirkning. Med en barriereløsning som f.eks. Venezia (se Kapittel 6.6.2) gjelder ikke at maritime tilgang eller vannutskiftning blir negativ påvirket, men en slik løsning er betydelig dyrere.

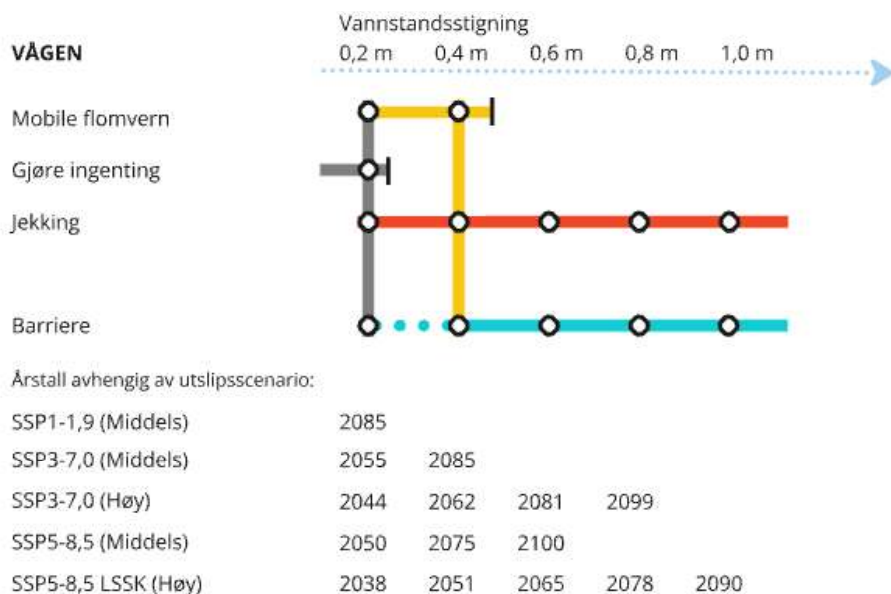
Basert på en samlet vurdering av ikke-prissatte virkninger, vurderes en sluse/barriere som det mest hensiktsmessige tiltaket for sikring av Vågen.

8.6 DAPP

DAPP-diagrammet nedenfor viser de potensielle sikringstiltakene og kombinasjonen av disse for å beskytte Vågen mot oversvømmelse. Diagrammet gir en oversikt over mulige og relevante sikringstiltak, og hvordan de kan kombineres.

For øyeblikket er situasjonen bærekraftig på kort sikt, men det vil være nødvendig å bruke mobile flomvern. Hele området kan imidlertid ikke sikres med mobile flomvern, spesielt ikke sørsiden av Vågen. Selv om mobile flomvern er kostnadseffektive, vil de ikke være tilstrekkelig hvis havnivåstigningen fortsetter å øke. Det anbefales derfor å endre strategi når havnivået har steget ca. 0,4 m. På dette tidspunktet forventes Bryggen og området å oppleve hyppigere oversvømmelser enn en gang i året. Ifølge utslippsscenarioet SSP 3-7.0 – øvre 83% intervall, forventes dette å skje rundt 2062 (Figur 8-9). Etter 2062 må man da ha en sluse eller barriere på plass. Dette gir mindre enn 40 år for å realisere en slik konstruksjon.

En annen mulighet er å heve Bryggen, men dette vil kun beskytte Bryggen og ikke resten av bebyggelsen i Vågen. På lang sikt vil en sluse/barriere være den eneste muligheten for å sikre hele området.



Figur 8-9:DAPP analyse Vågen

8.7 Samlet vurdering

Det vurderes at den mest åpenbare løsningen er å bruke mobile flomvern i de første årene (Tabell 8-5), samtidig som det gjennomføres studier av mulige løsninger for en barriere med sluse. Dette anses som den åpenbart beste løsningen på lang sikt.

Tabell 8-5 Samlet vurdering

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap. 8.5.3)	1	3	NA	NA	2
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 8.5.5)	2	3	NA	NA	1
Rangering	1	2	NA	NA	1
Vurdering av tiltak	Det er en lang strekning, og det vil kreve betydelig innsats å sikre langs hele kystlinjen	Kun relevant for Bryggen	Ikke relevant	Ikke relevant	Gir stor sikkerhet og minimal påvirkning.
Samlet vurdering	Mest hensiktsmessig på kort sikt	Ikke hensiktsmessig	Ikke relevant	Ikke relevant	Mest hensiktsmessig på lang sikt

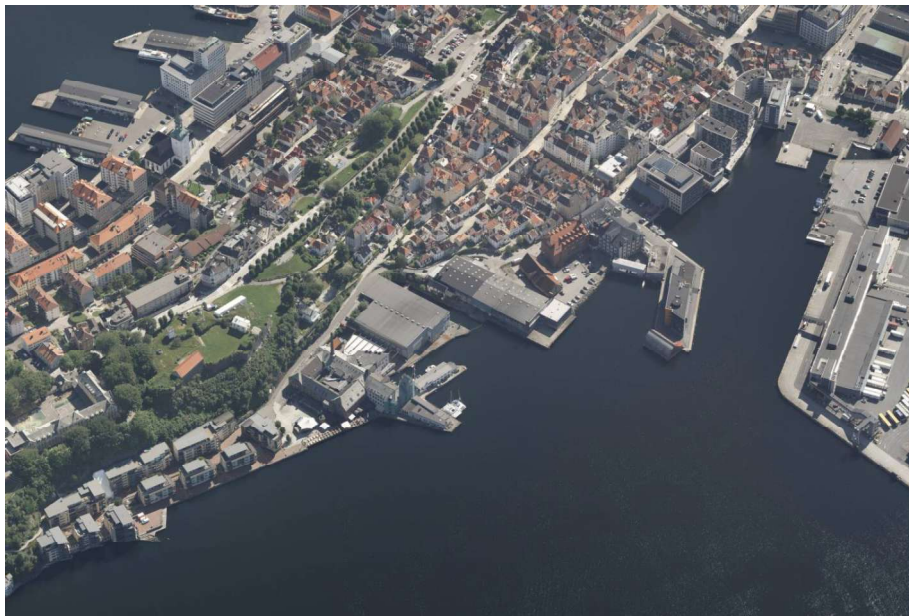
9 Dokken

9.1 Introduksjon

Delområde C, Dokken omfatter kyststrekningen fra Nordnesbodene i nord til Puddefjordsbroen i sør (se Figur 1-4). Området består av både bolig-, nærings og industribebyggelse. Viktige kulturmiljøer er sjøbodmiljøene (Nordnesbodene og bodene rundt Nøstebukten), Verftet, ulike havneskur og Havnelageret, eldre industribebyggelse og det tette, selvgrodde trehusmiljøet langs Nøstegaten. Husrekken Nøstegaten 39-45 ble vedtaksfredet av Riksantikvaren i 2008.

Dokken-området er preget av både eldre og nyere utfyllinger i sjøen, og har en lang kystlinje og er utsatt for bølger ved vindretninger fra vest.

Det foreligger en arealstrategi for å utvikle den nye bydelen Dokken på en videre utfylling i sjø (Figur 6-5). Nye bygninger som etableres i fremtiden i Dokken bydel må ligge trygt for stormflo og havnivåstigning i 2100 ifølge TEK17 og gjeldene DSB veileder. Vi tar de derfor ikke med i denne analysen og ser bare på eksisterende bygninger.

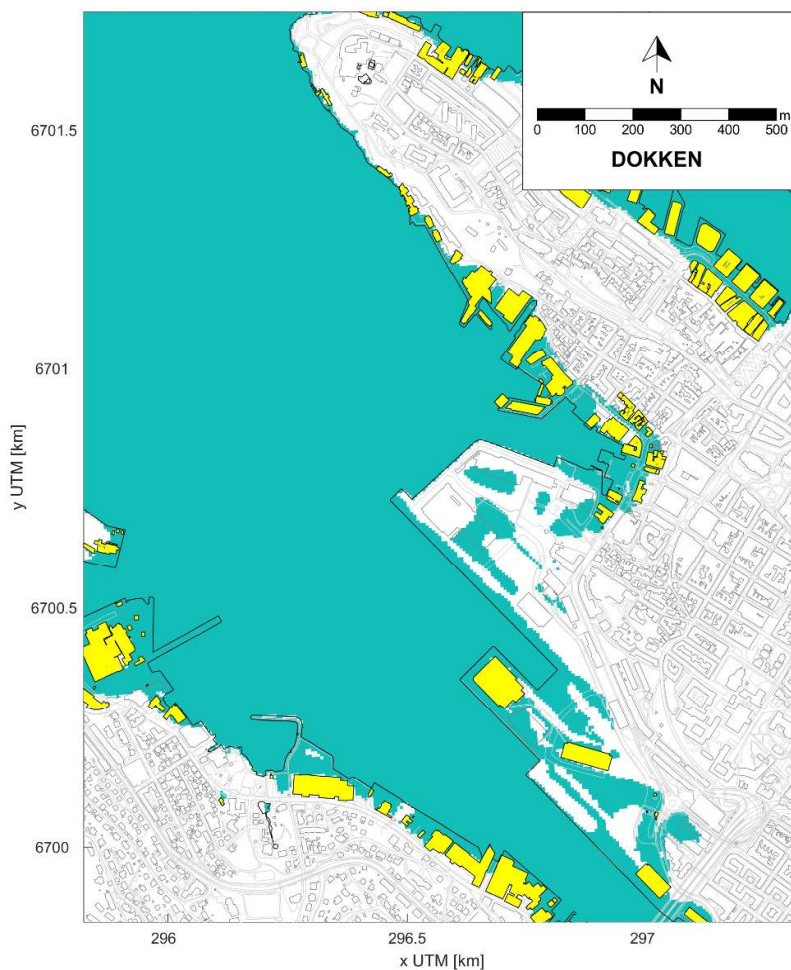


Figur 9-1: Flybilde av Nøstegaten området (kilde: kart.1881.no)

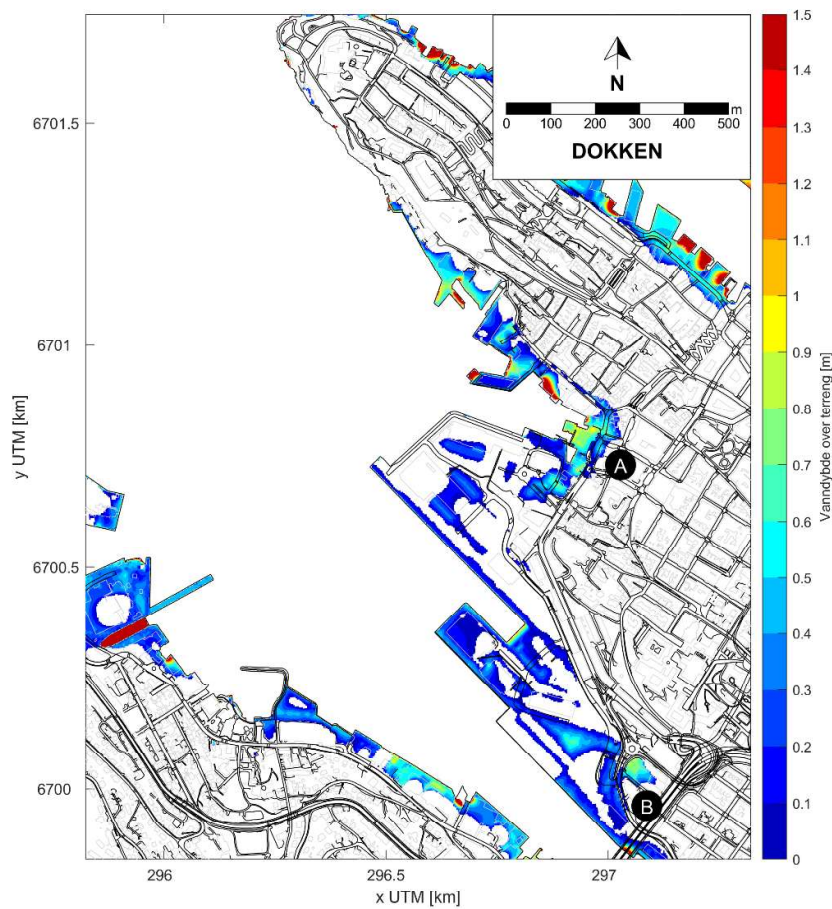
9.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

Kystlinjen ved Dokken har omtrent samme høyde over hele området. Noen steder er det bygninger helt nede ved vannet, og disse husene er allerede utsatt for oversvømmelse ved vannstand på 140 cm, som tilsvarer en 200-års stormflo i dag. Selv om det er få hus som blir påvirket, vil de bli oversvømt omtrent én gang per år dersom havnivået stiger med 40 cm.

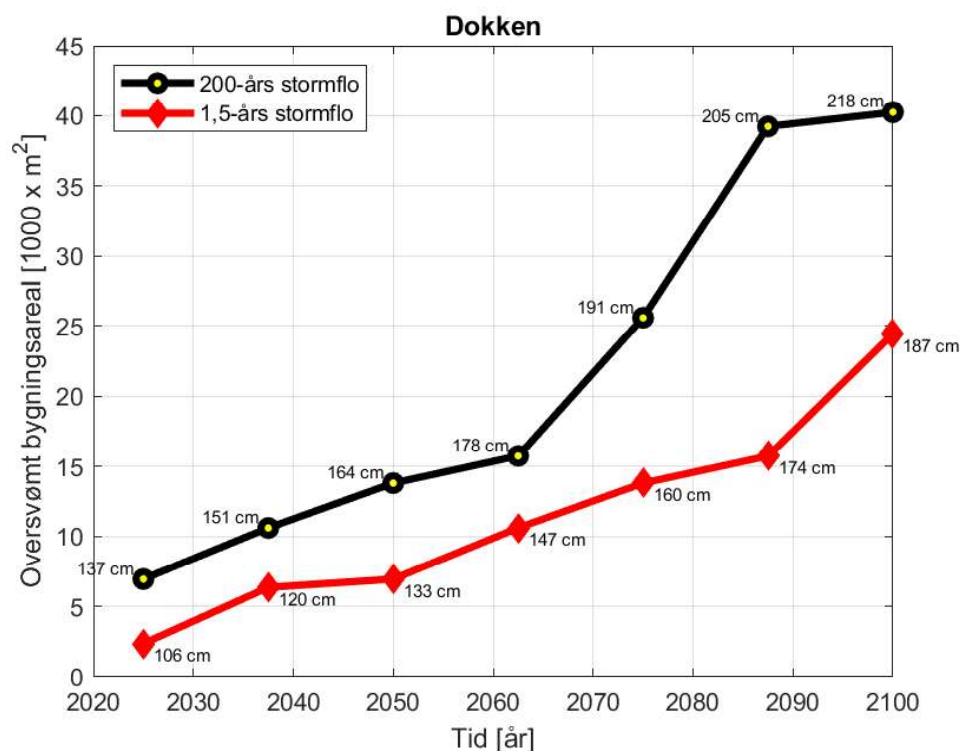
Figur 9-2 viser hvilke bygninger som er utsatt for oversvømmelse i 2100. Korte veistrekninger som er markert i kartet i Figur 9-3 er også utsatt. Kartet viser at de oversvømte områdene hovedsakelig er nær kysten. Vanddybden i disse områdene kan nå opptil 50 cm over terrengnivået (markert som blå områder i Figur 9-3).



Figur 9-2: Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm vannstand (200-års gjentakintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander.



Figur 9-3: Vanndybde over terreng ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Bokstaver indikerer store (evakuerings)veier som blir oversvømt. A: Nøstegaten; B: O.J. Brochs gate.



Figur 9-4 Oversvømt bygningsareal i Dokken over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

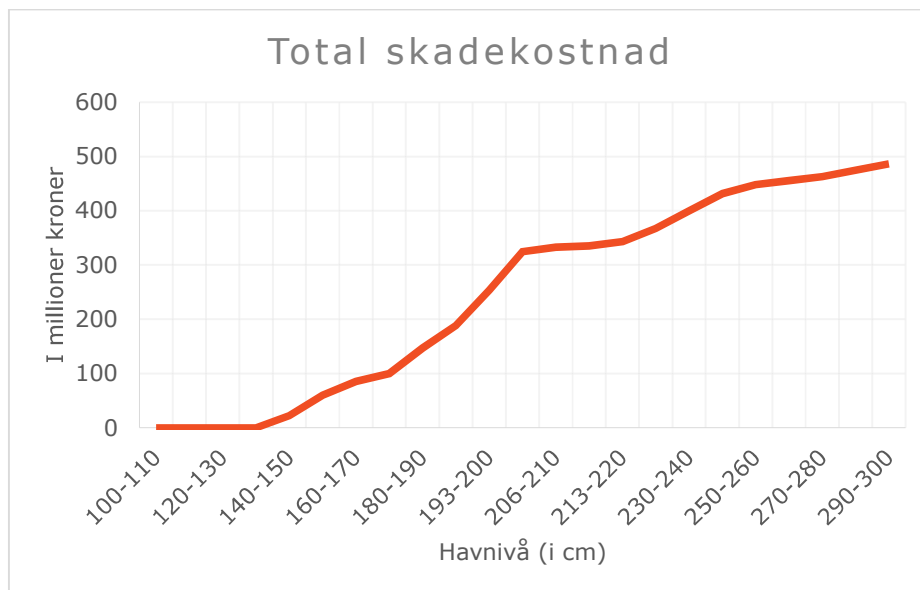
Figur 9-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Dokken over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom.

9.3 Etablering av nullalternativet

I dette kapittelet vil vi se på hvilke konsekvenser det får for Dokken om vi ikke innfører tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo.

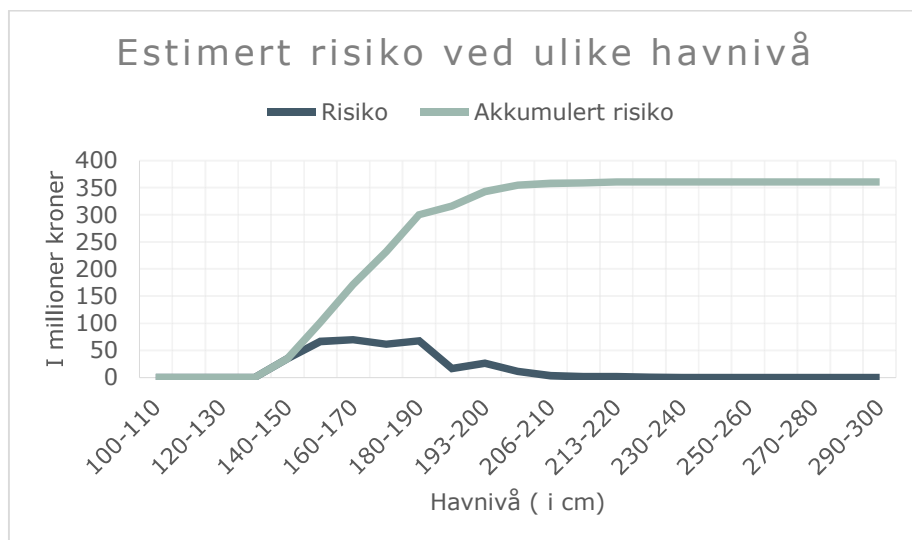
9.3.1 Prissatte virkninger

Figur 9-5 viser skadekostnadene for Dokken. Kostnadene begynner å stige fra 160 cm og skadekostnadene er over 200 millioner kroner ved 180-190 cm.



Figur 9-5 Figuren viser skadekostnaden i Dokken for de ulike havnivåene.

Om vi ser på skadekostnaden sammen med sannsynligheten, får vi skaderisiko for de ulike havnivåene. Figur 9-6 viser risiko og akkumulert risiko for Dokken. Ved havnivå opp til 180-190 cm er skaden 300 millioner kroner. Etter dette havnivå reduseres risikoen for skade. Det vil si at en stor andel risiko for skade vil elimineres ved å innføre tiltak som sikrer opp til et havnivå på 180-190 cm.



Figur 9-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Netto nytte for hele perioden:

For hele perioden er nåverdien beregnet til å være ca. 360 millioner kroner for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

9.3.2 Ikke-prissatte virkninger

I Figur 9-3 ser vi illustrert scenarioet som er lagt til grunn for vurdering av de ikke-prissatte virkningene for delområde Dokken. Se Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 9-1 Oppsummering av ikke-prissatte konsekvenser for Dokken (se mer i Vedlegg E).

Kostnadsvirkninger	Verdi
Kulturminneverdier	Liten negativ
Veinett	Ubetydelig/ingen
Forsinkelser	Middels negativ
Beredskap	Liten negativ

Det er noen historiske bygninger som kan bli berørt av høyt havnivå i Dokken området og virkning på kulturmiljø er derfor vurdert som liten negativ. I Dokken blir verdi og konsekvensene for veinettet som følge av stormflo og havnivåstigning betraktet som ubetydelig.

Verdsettelsen av verdi knyttet til forsinkelser er vurdert som middels negativ. Det kan potensielt bli store konsekvenser av at godsterminalen og hovedveien i området blir oversvømt. Dokken er et betydelig industriområde og et område hvor alvorlige ulykker kan oppstå. På den andre siden er det vedtatt at det skal bli få utfyllinger i sjø for å tilrettelegge for fremtidig utvikling av Dokken fra dagens godshavn til en ny, sentral bydel i Bergen. ⁸ Det er derfor vurdert som middels negativ.

9.4 Vurdering av tiltak

9.4.1 Behov for sikring

Det er nødvendig å sikre deler av kystlinjen, da mange hus vil bli utsatt for oversvømmelse i takt med den økende havnivåstigningen. Oversvømmelsesområdet konsentrerer seg særlig rundt Nøstegaten og USF verftet. I de første årene kan det bli benyttet midlertidige løsninger, som for eksempel mobile flomvern, ettersom stormflo kun vil oversvømme små områder. Områder markert med rødt og gult i Figur 9-3 (over 0,8 m vanndyp) er behovet nå, og de blå områdene er der behovet vil oppstå senest innen år 2100.

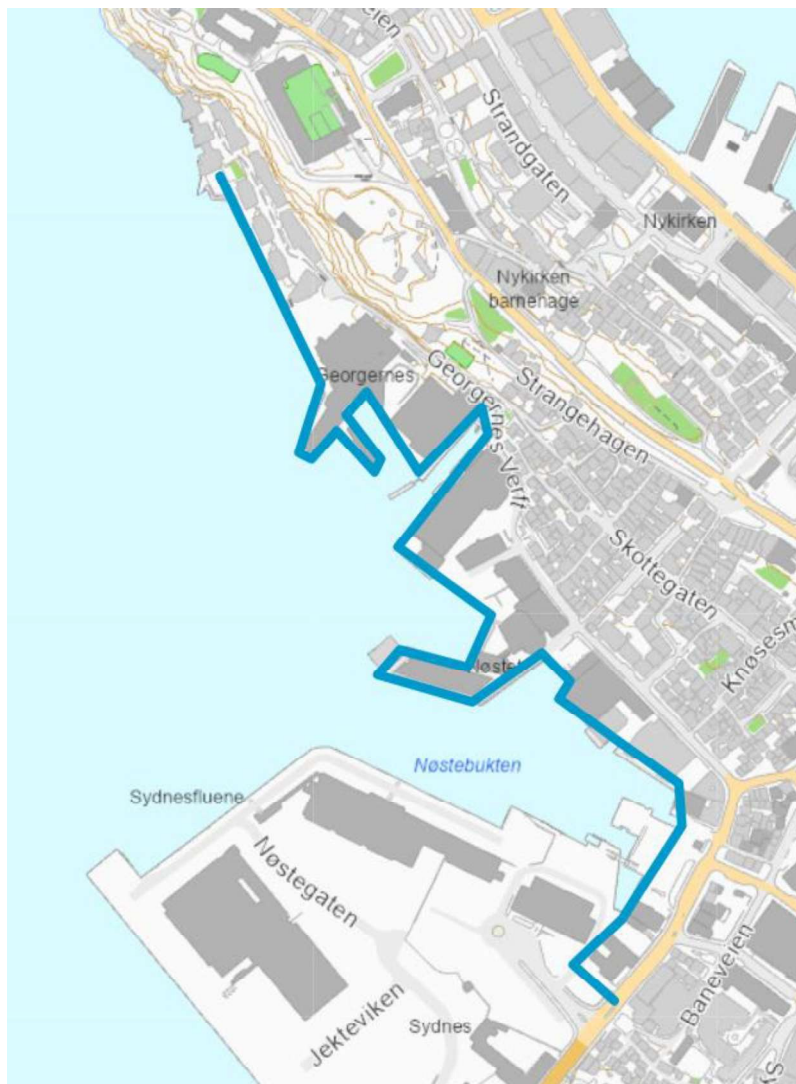
9.4.2 Kostnadsestimat

For mobile flomvern er det antatt en lengde på ca. 1500 meter (Figur 9-7), med en investeringskostnad på 65 millioner kroner i 2025. Det er estimert en levetid på 25 år, og

⁸ [Bergen kommune - Dokken, forberedende utfylling i sjø](#)

drift- og vedlikeholdskostnadene utgjør 10 % av investeringskostnaden. En betydelig del av investeringskostnaden for 2025 er relatert til spunting. Ettersom det ikke er nødvendig å spunte på nytt etter 25 år, vil reinvesteringskostnaden kun være 12 millioner kroner. Mobile flomvern/mur vurderes kun for området rundt Nøstegaten. Noen bygninger ligger direkte ved sjøen og kan derfor ikke sikres med mobile flomvern. Traseen som er angitt i Figur 9-7 skal betraktes som omtrentlig.

For mur er det også antatt en lengde på ca. 1500 meter (Figur 9-7), med en investeringskostnad på 114 millioner kroner i 2025. Levetiden er estimert til 75 år, og drift- og vedlikeholdskostnadene utgjør 3 % årlig av investeringskostnaden.



Figur 9-7: Behov for sikring av mobile flomvern/mur (omtrentlig plassering). Lengde på 1500m.

Det er noen bygninger rundt Nøstegaten som kan være egnet for heving. Disse bygningene ligger imidlertid bak eksisterende (moderne) bygninger som bør beskyttes, og derfor blir dette ikke inkludert i analysen.

Det foreligger en arealstrategi for å utvikle den nye bydelen Dokken ved å fylle ut i sjøen (Figur 6-5). Det kan være betydelige synergieffekter ved å bruke utfyllingen som beskyttelse for den eksisterende kystlinjen. Da planforslaget ennå ikke er vedtatt, blir dette ikke inkludert i rapporten og vi kan dermed ikke gi et kostnadsoverslag. På et senere tidspunkt må man vurdere disse synergieffektene/kostnadene når planforslaget er vedtatt.

En barriere eller sluse er ikke aktuelt i denne sammenhengen.

Vennligst merk at det er stor usikkerhet knyttet til kostnadsestimatene.

9.4.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabellen viser totale kostnader og potensiell gevinst i millioner for hele perioden 2025-2100. Netto nytte viser samfunnsøkonomisk lønnsomhet i prosjektet og NNB er netto nytte per budsjettkrone. Netto nytte per budsjettkrone er et relativt mål på lønnsomhet så lenge alle tiltakets virkninger er prissatte, og sier forenklet hva samfunnet netto får igjen for hver krone som benyttes til realisering av prosjektet over offentlige budsjetter (nytte per kostnadsenhet, basert på beregnede prissatte virkninger). (DFØ, 2023)

Tabell 9-1 Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

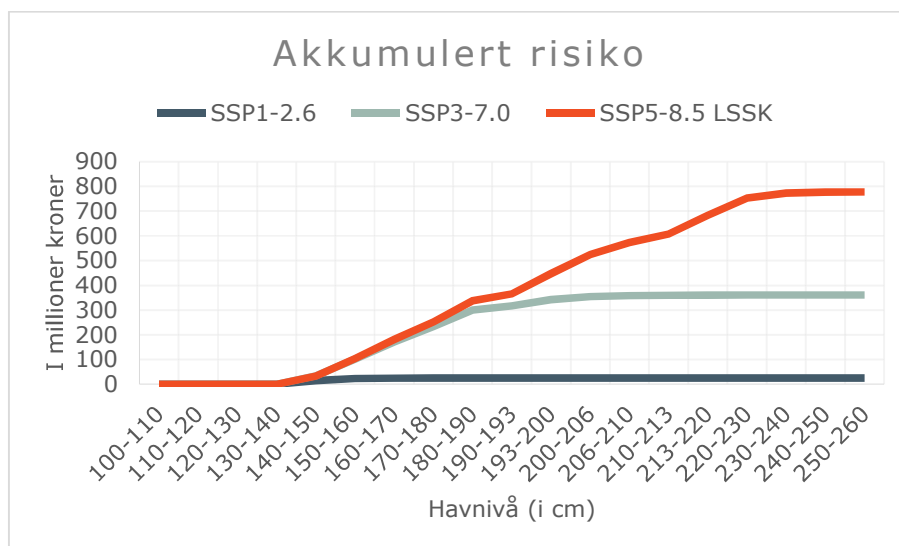
	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst	kr 361	kr 361
Total kostnad	-kr 235	-kr 200
Netto nåverdi	kr 125	kr 160
Netto nytte per budsjettkrone	0,53	0,80
Rangering	2	1

Det er antatt at mobile flomvern og mur tar bort all risiko for oversvømmelse. Det er samfunnsøkonomisk lønnsomt med både mobile flomvern og mur for Dokken. Mur gir den største netto nåverdien med 160 millioner kroner for SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

9.4.4 Usikkerhet

I dette kapitlet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarier på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Dokken. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Dokken.

Utslippsscenario vi bruker i analysen har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. Figur 9-8 viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario for Dokken. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka 25 millioner kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i underkant av 800 millioner.



Figur 9-8 Akkumulert risiko for Dokken, for utvalgte klimascenarioer

Tabell 9-2 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Vi ser at mur er det mest lønnsomme alternativet, men at mobilt flomvern også er samfunnsøkonomisk lønnsomt. Begge tiltakene er også lønnsomme ved en 20% kostnadsøkning. Mens ingen av tiltakene er samfunnsøkonomisk lønnsomme ved det mest optimistiske utslippsscenarioet (SSP 1-2.6, 50% utfallsrom).

Tabell 9-2 Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endret utslippsscenario eller økning i kostnad.

	Mobile flomvern	Mur
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,89	-0,87
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	0,53	0,80
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	2,30	2,88
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	0,28	0,50

9.4.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

De ikke-prissatte effektene blir vurdert kvalitativt på en 5-trinns skala, og deretter blir de ulike mulige tiltakene rangert i henhold til de ikke-prissatte virkningene.

Tabell 9-3 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Måltrettede effekter	+	++	++		Ikke relevant
Landskap - påvirkning	+	+	--	-	Ikke relevant
Landskap - potensiale	-	-	+	++	Ikke relevant
Kulturminneverdie	++	+	--	-	Ikke relevant
Infrastruktur	+	-	++	++	Ikke relevant
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
<i>Rangering</i>	1	4	3	2	Ikke relevant

I det etterfølgende beskrives de ulike tiltakene i en lokal kontekst.

Mobilt flomvern er et alternativ for å sikre kystlinjen. Dette vil være særlig aktuelt i første del av perioden, når de enkelte strekningene er truet. Etter hvert som havnivået stiger, vil behovet øke og det vil være vanskelig å sikre hele strekningen mot overvømmelse, på grunn av kompleksiteten av området. Noe som vil kreve en betydelig beredskapsinnsats. Mobilt flomvern vil ikke påvirke landskapsverdiene negativt. Mobilt flomvern får derfor bare en liten positiv score på måltrettede effekter.

Jekking kan brukes på enkelte eldre bygninger. Jekking kan ikke brukes som en generell sikkerhet, da flere av bygningene som ligger nær kysten er av nyere dato og ikke kan jekkes. Jekking er altså et individuelt vern av særlig utsatte bygninger som ikke kan sikres på annen måte.

Mur er et tiltak som kan etableres i stedet for mobilt flomvern. En mur er et stasjonært system, med høy grad av sikkerhet for funksjon under hendelser. Mur kan erstattes av jorddiker på seksjoner der det er mer plass. Murverk får en stor positiv effekt på målrettede effekter, på grunn av funksjonssikkerheten. Mur har en negativ innvirkning på landskapet, men det finnes eksempler på mur med rekreasjonsfunksjoner som kan motvirke den negative effekten og tilføre et positivt potensial. Det vurderes imidlertid at den samlede landskapspåvirkningen av mur er negativ.

Utfylling i sjøen er et møte for å sikre de områdene som ligger bak fyllingen. Utfylling er en sikker metode og scorer derfor høyt positivt på målrettede effekter. Landskapspåvirkningen er stor og negativ, men som med mur vil det også være mulig å tilføre et landskapspotensiale. Det er anslått at den samlede landskapspåvirkningen på landskapet kan være positiv.

Sluser er ikke aktuelt eller mulig på kystlinjen ved Dokken.

Basert på en samlet vurdering av ikke-prissatte virkninger, vurderes mobilt flomvern umiddelbart som den mest åpenbare løsning for vern i Dokken, etterfulgt av fylling, og mur. Jekking er aktuelt som individuell beskyttelse av den enkelte sårbare historiske bygning.

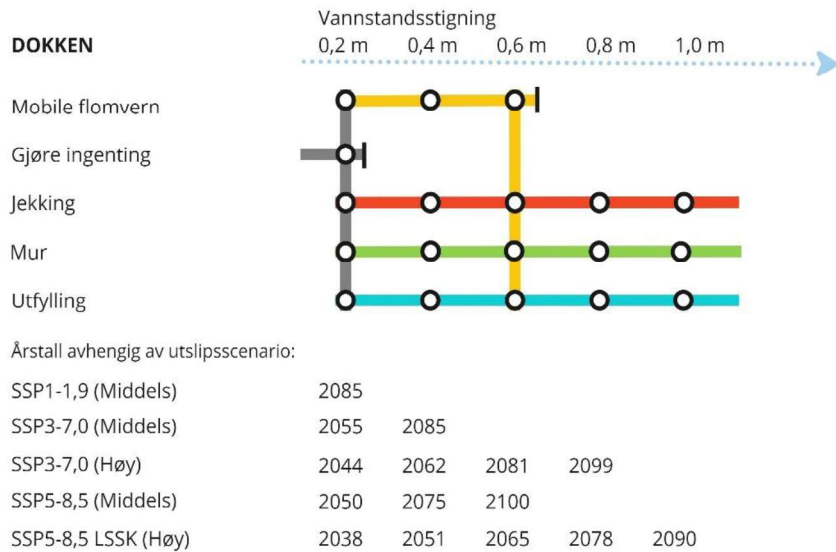
9.5 DAPP

DAPP diagrammet nedenfor (Figur 9-9) viser de ulike sikringstiltakene og kombinasjonene av disse for å beskytte Dokken mot oversvømmelse.

Den nåværende situasjonen er bare holdbar på kort sikt, og det vil være nødvendig å etablere mur eller bruke mobilt flomvern. Det er kostnadseffektivt å bruke mobile flomvern eller mur, da etableringskostnadene står i forhold til den potensielle fordelen på hele strekningen.

Mobile flomvern kan brukes opp til en havnivåstigning på ca 0,6m da store deler av området oversvømmes oftere enn en gang i året. Med klimascenario 3-7.0, øvre 83% utfallsrom forventes det til å skje rundt 2081 (Figur 9-9). Man må da skifte strategi og går over til f.eks. mur.

Utfylling av Dokken-området bidrar til å sikre en del av det eksisterende området mot stormflo og havnivåstigning. Dokken-planen bør derfor integreres i en overordnet sikringsplan for dagens kystlinje.



Figur 9-9: DAPP analyse

9.6 Samlet vurdering

En optimal løsning vurderes å være en kombinasjon av mobile flomvern, mur og beskyttelse gjennom utfylling av Dokken (Tabell 9-4). Mobile flomvern vil være særlig egnet på mange områder, men med stigende havnivå vil bruk av mur, utfylling eller en kombinasjon av disse tiltakene være å foretrekke. Jekking betraktes kun som relevant for spesielt sårbare eldre bygninger med stor kulturminneverdi som ikke kan beskyttes på andre måter.

Tabell 9-4 Samlete vurdering

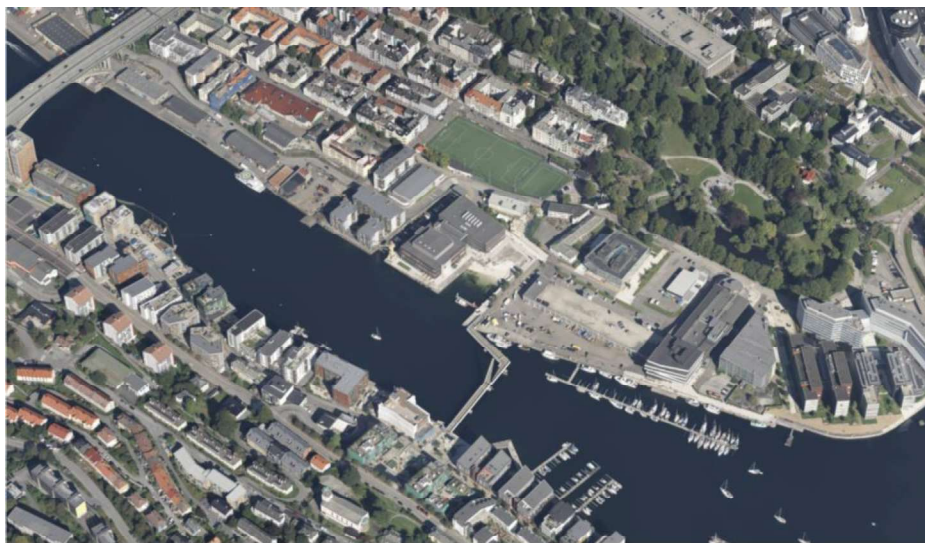
	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap. 9.4.3)	2	3	1		NA
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 9.4.5)	1	4	3	2	NA
Rangering	1	4	3	2	NA
Annet	Det er en kompleksstrekning å sikre og vil kreve stor arbeidskraft.	Kun relevant for enkelte eiendommer	Stor sikkerhet for funksjon.	Relevant hvor mulig.	Ikke relevant
Samlet vurdering	Mest opplagt på kort sikt	Ikke opplagt	Mest opplagt på lang sikt	Bør anvendes hvor mulig, som alternativ til mur og mobile flomvern	Ikke relevant

10 Damsgårdssundet

10.1 Introduksjon

Delområde D, Damsgårdssundet er i prosjektet definert som området mellom Puddefjordsbroen og Nygårdsbroen (se Figur 1-4). Deler av området har blitt omregulert de siste årene fra industri- og havneformål og fremstår som moderne bolig- og næringsstrøk (Figur 10-1).

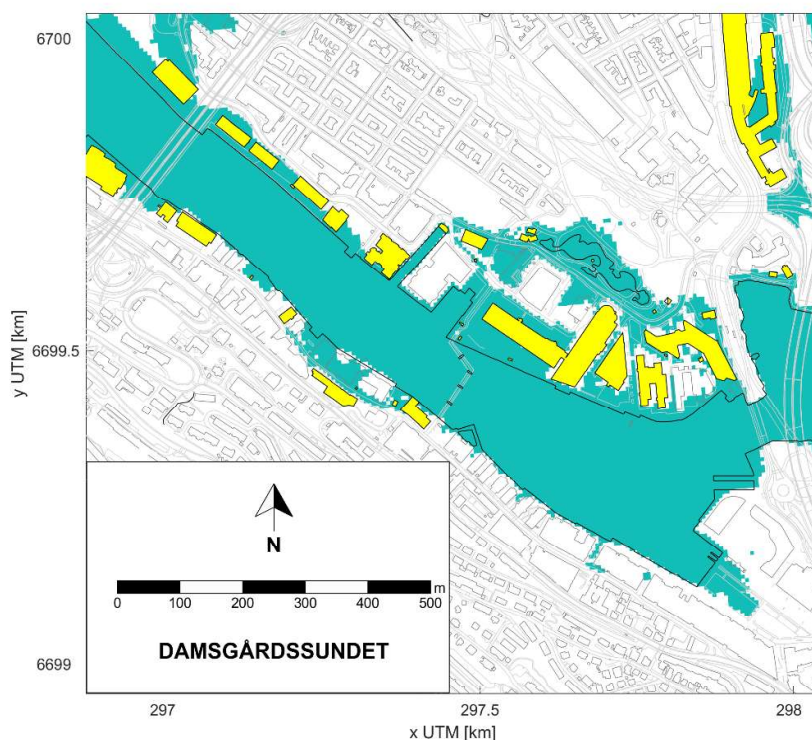
Av kulturmiljø på nordsiden av fjordløpet er det verdt å trekke frem havnemiljøet langs Møhlenpriskaien/Fjordgaten og det tidligere verftsområdet på Marineholmen. På sørsiden finner vi Årstadkaia og den bevarte, eldre industribebyggelsen og trehusbebyggelsen langs Damsgårdsveien. Flere kulturmiljøer på begge sider av sundet er omfattet av bestemmelser om bevaring etter Plan- og bygningsloven.



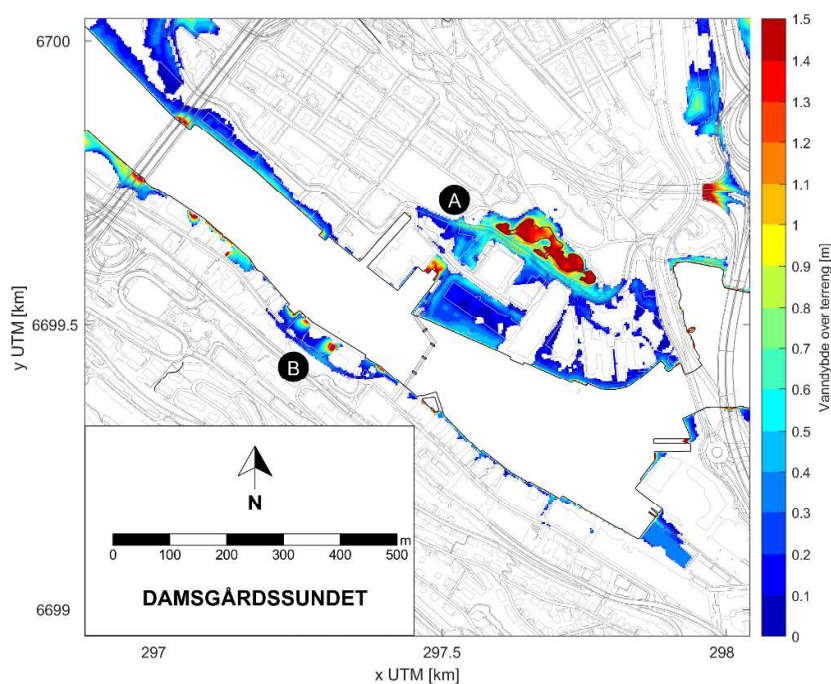
Figur 10-1 Flybilde Damgårdssundet (kilde: kart.1881.no)

10.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

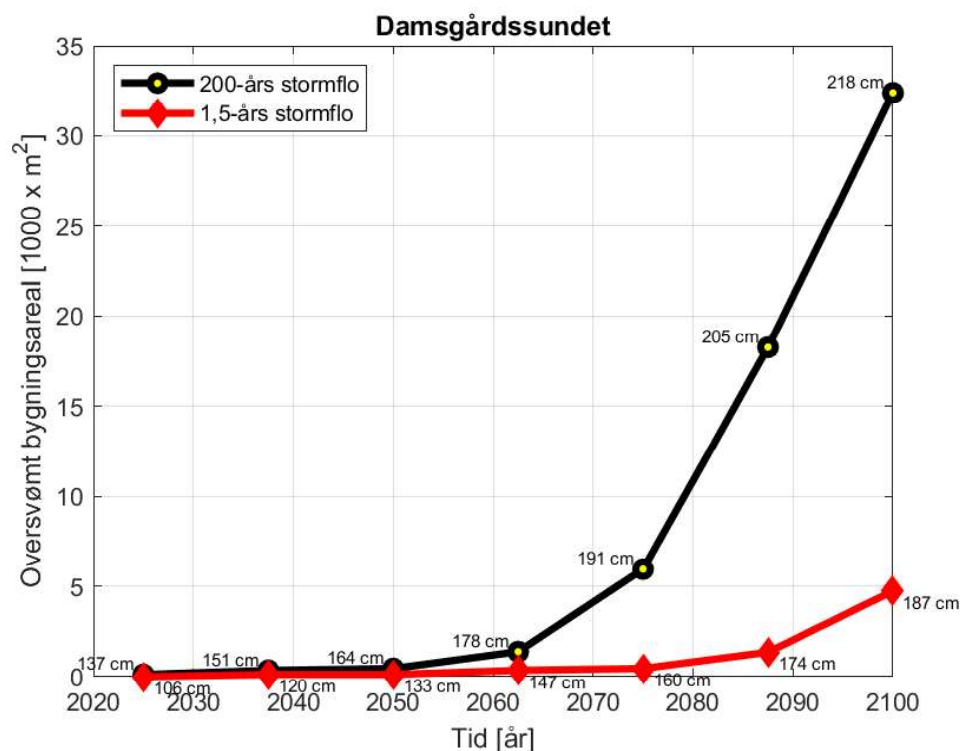
Damsgårdssundet er et sund som forbinder Puddefjorden med Store Lungegårdsvannet. Det er generelt godt beskyttet mot bølger. Hovedsakelig er det bygninger langs nordsiden av Damsgårdssundet (Figur 10-2) og noen kortere veistrekninger som er utsatt for risikoen for oversvømmelse (Figur 10-3). Figur 10-2 viser at de oversvømte områdene i dette delområdet er nær kystlinjen. Vanndybder over terreng under en 200-års stormflo i 2100 er på opptil 50 cm (Figur 10-3). Imidlertid er det noen deler av strekningen der det kan oppstå oversvømmelse med større vanndybder over terreng.



Figur 10-2 Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander.



Figur 10-3 Vanndybde over terreng ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Bokstaver indikerer store (evakuerings)veier som blir oversvømt. A: Thormøhlens gate; B: Damsgårdsveien.



Figur 10-4 Oversvømt bygningsareal i Damsgårdssundet over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

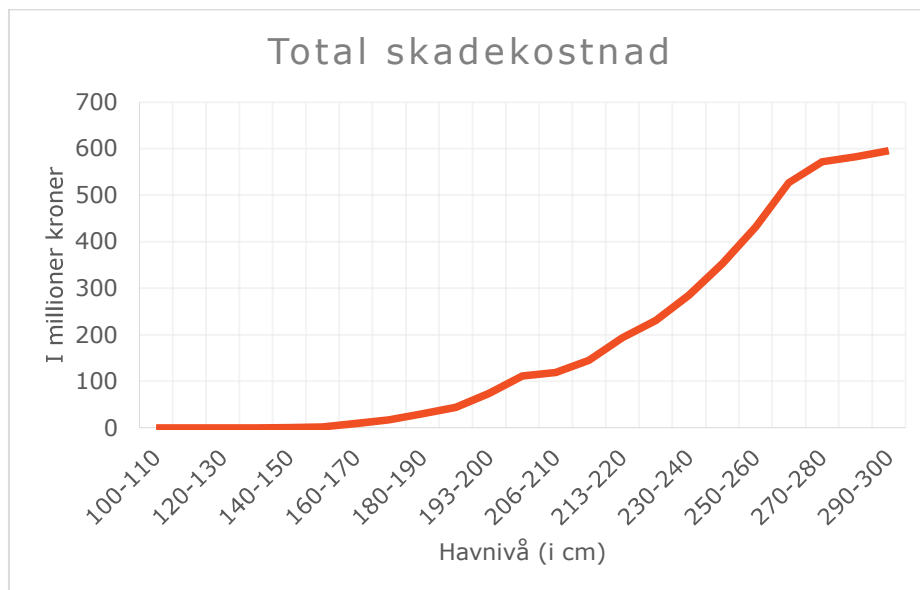
Figur 10-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Damsgårdssundet over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. I de første tiårene blir minimalt antall bygninger utsatt for oversvømming. Etter omtrent 2060 øker antallet bygninger som er utsatt for en 200-års stormflo betydelig.

10.3 Etablering av nullalternativet

I dette kapittelet vil vi se på hvilke konsekvenser det får for Damsgårdssund om vi ikke innfører tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo.

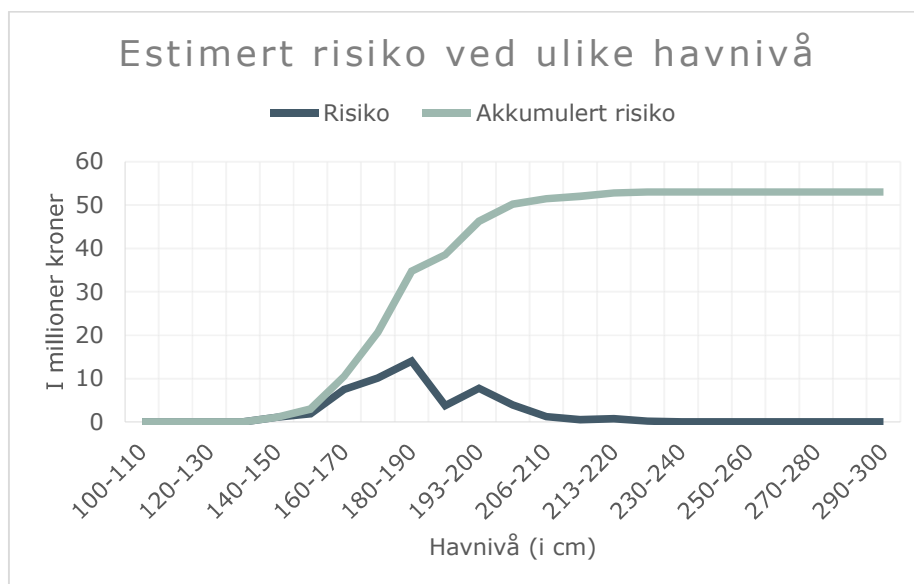
10.3.1 Prissatte virkninger

Figur 10-5 viser skadekostnadene for Damsgårdssundet. For vannstandene under 220 cm har dette området lavt skadepotensiale. Det er ikke før havnivå på over 220 cm skadene virkelig tar seg opp. Det har stort sett å gjøre med at de nye etablerte bygningene på sørsiden av Damsgårdssundet ligger relativt trygt.



Figur 10-5 Figuren viser skadekostnaden i Damsgårdssundet for de ulike vannstandene. I millioner kroner.

Figur 10-6 viser skaderisiko for Damsgårdssundet. Det er høyest skaderisiko ved 180-190 cm, da er skaden om lag 14 millioner kroner. Det er betydelig lavere enn de foregående områdene. Om vi ser på skadekostnaden sammen med sannsynligheten, får vi skaderisiko for de ulike havnivåene. Figur 10-6 viser risiko og akkumulert risiko for Damsgårdssund. Risiko øker ikke videre ved havnivå på over 220 cm.



Figur 10-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i Damsgårdssundet i millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden til 2100 er nåverdien beregnet til å være ca. 53 millioner kroner for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

10.3.2 Ikke-prissatte virkninger

I Tabell 10-1 ser vi illustrert scenarioet som er lagt til grunn for vurdering av de ikke-prissatte virkningene for delområde D) Damsgårdssundet. Scenarioet tar for seg en 200-årsflom i SSP3-7.0 83-persentilen som sannsynlig utfall. Dette scenarioet gir en vannstand på 218 cm i 2100 og er brukt som baseline for de ikke-prissatte virkningene. Kartet viser påvirkningen på veinettet, og hvilke områder som vil ligge under vann, og vanndybden over terreng på de områdene som ligger under vann er fargekodet, der blå tyder på lavere vanndybde over terreng, mens rød indikerer høyere vanndybde over terreng.

Virkningen på kulturmiljø, påvirkning på veinettet, konsekvenser for trafikanter og beredskap er vurdert ved å bruke en verdimatrise med kvantum og enhetsverdi som i sum gir en samfunnsøkonomisk påvirkning. Se Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 10-1 Oppsummering av den samfunnsøkonomiske verdsettelsen (se Vedlegg E)

Kostnadsvirkninger	Verdi
Kulturminneverdier	Ubetydelig/ingen
Infrastruktur	Ubetydelig/ingen
Konsekvenser for trafikanter	Ubetydelig/ingen
Beredskap	Liten negativ

I Damsgårdssundet blir effekten av stormflo/havnivå knyttet til kulturminneverdier betraktet som ubetydelig/ingen. Effekten på veinettet som følge av stormflo og oversvømmelser blir også ansett som ubetydelig/ingen. Den potensielle skaden på veiene er generelt sett lav, selv om konsekvensene kan bli dyre. Påvirkningen på trafikantene som følge av oversvømte veier er også vurdert som ubetydelig/ingen, med gode omkjøringsmuligheter tilgjengelig. Beredskapsproblemer oppstår primært gjennom begrenset tilgang til næringsbygg, men ellers er det gode omkjøringsmuligheter i området. Den samfunnsøkonomiske verdien er verdsatt til liten negativ verdi.

10.4 Vurdering av tiltak

10.4.1 Behov for sikring

Det er stort sett behov for sikring langs nordlige deler av Damsgårdssundet der mange bygninger vil være utsatt på grunn av stigende havnivåer (Figur 10-2).

I de første årene kan beredskapsløsninger som mobile flomvern være et mulig tiltak, da havnivåstigningen fortsatt bare vil oversvømme mindre deler av strekningen. Se Figur 10-3, hvor områder angitt med rødt og gul (over 80 cm vanndybde over terreng) viser de nåværende behovene, mens de blå områdene viser det det vil være behov senest innen år 2100.

10.4.2 Kostnadsestimat

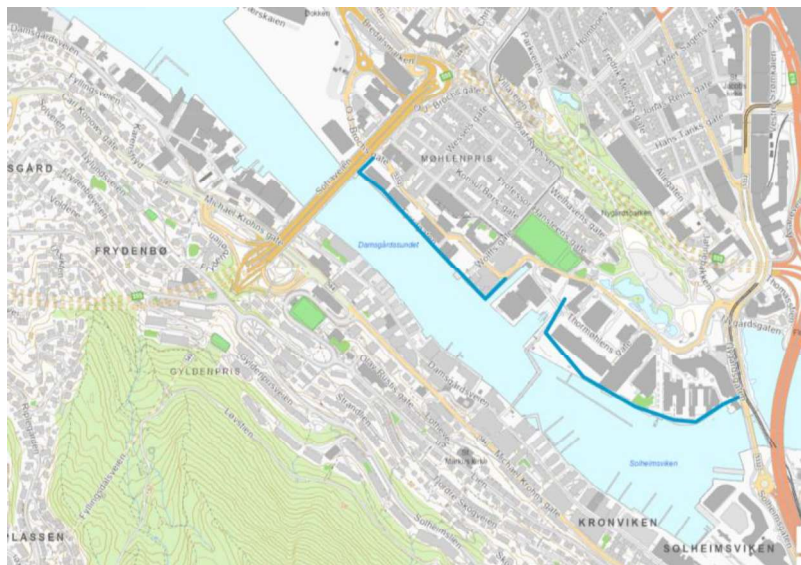
For mobile flomvern er det antatt en total lengde på ca. 1000m (Figur 10-7) en dermed en investeringskostnad på 45 millioner kroner i år 2025. Det er antatt en levetid på 25 år og drift- og vedlikeholdskostnad på 10 % av investeringskostnaden.

Investeringskostnaden i år 2025 er en stor andel av kostnaden knyttet til spunting. Dette er ikke nødvendig å spunte på nytt etter 25 år, derfor blir reinvesteringskostnaden bare 8 millioner kroner.

For mur er det også antatt en total lengde på 1000m en dermed en investeringskostnad på 79 millioner kroner i år 2025. Det er antatt levetid på 75 år og drift og vedlikeholdskostnad på 3 % årlig av investeringskostnaden.

En sluse er anslått å koste omtrent 610 millioner kroner (se Kapittel 6.6). Denne løsningen involverer en fylling fra både nord og sørsiden med en 10 meters åpning i midten. En alternativ løsning uten fylling, som midlertidig stenger av hele bredden av sundet, estimert til å koste 3800 millioner kroner for en 'Venezia' løsning, eller 925 millioner kroner for en oppblåsbar barriere (se Kapittel 6.6.2). Videre i kapitlet benytter vi sluseløsningen i våre vurderinger, men vi vil også diskutere andre typer barrierer i den samlede vurderingen

Det er svært høy usikkerhet knyttet til kostnadsestimatene.



Figur 10-7: Behov for sikring av mobile flomvern/mur (ca. 1000m lengde). Barrieren er tenkt rundt Puddefjordsbruen eller mer vest.

10.4.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabell 10-2 viser de totale kostnadene og potensiell gevinst i millioner kroner for perioden fra 2025 til 2100. Netto nytte representerer samfunnsøkonomisk lønnsomhet i prosjektet, mens NNB (netto nytte per budsjettkrone) er et relativt mål på lønnsomhet og viser hva samfunnet får igjen for hver krone som investeres i prosjektet (basert på prissatte virkninger) (DFØ, 2023).

Det antas at mobile flomvern og en mur fjerner all risiko for oversvømmelse. En sluse i Damsgårdssundet vil også beskytte Store Lungegårdsvann, og derfor er den totale potensielle gevinsten større for sluseløsningen. Til tross for dette er det uansett ikke lønnsomt å bygge en sluse på grunn av de høye kostnadene. Ingen av tiltakene viser seg å være samfunnsøkonomisk lønnsomme basert på de prissatte virkningene. Mobile flomvern er den mest kostnadseffektive løsningen.

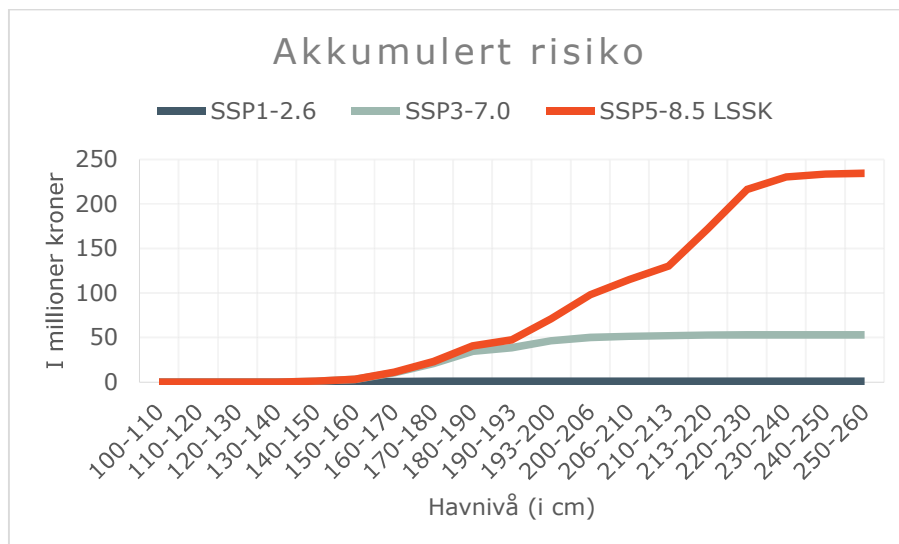
Tabell 10-2 Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

	Mobile flomvern	Mur	Sluse
Total mulig gevinst	kr 53	kr 53	kr 162
Total kostnad	-kr 115	-kr 139	-kr 1 072
Netto nåverdi	-kr 62	-kr 86	-kr 911
Netto nytte per budsjettkrone	-0,54	-0,62	-0,85
Rangering	1	2	3

10.4.4 Usikkerhet

I dette kapitlet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarioer på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Damsgårdssundet. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Damsgårdssundet.

Utslippsscenario vi bruker i analysen har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario for Damsgårdssundet. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka én million kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i underkant av 235 millioner.



Figur 10-8 Akkumulert risiko for Damsgårdssundet, for utvalgte klimascenarier

Tabell 10-3 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Vi observerer at mobilt flomvern blir det mest lønnsomme alternativet når vi endrer utslippsscenarioet til det mest pessimistiske (SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom), men også mur viser seg å være samfunnsøkonomisk lønnsom i dette scenarioet. Ingen av tiltakene er lønnsomme ved en kostnadsøkning på 20% eller under det mest optimistiske utslippsscenarioet (SSP1-2.6, 50% utfallsrom).

Tabell 10-3 Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endring i utslippsscenario eller økning i kostnad

	Mobile flomvern	Mur	Sluse
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,99	-0,99	-1,00
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,54	-0,62	-0,85
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	1,03	0,69	-0,52
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,62	-0,68	-0,90

10.4.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

I Tabell 10-4 blir de ikke-prissatte effektene vurdert kvalitativt på en 5-trinns skala, og deretter blir de ulike mulige tiltakene rangert i henhold til de ikke-prissatte virkningene.

Tabell 10-4 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Måltrettede effekter	+	Ikke relevant	++	Ikke relevant	++
Landskap - påvirkning	+	Ikke relevant	-	Ikke relevant	+
Landskap - potentiale	-	Ikke relevant	+	Ikke relevant	+
Kulturminneverdie	Ingen påvirkning	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ingen påvirkning
Infrastruktur	+	Ikke relevant	++	Ikke relevant	++
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	-
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	-
Rangering	3	Ikke relevant	2	Ikke relevant	1

Følgende beskriver de forskjellige tiltakene i en lokal kontekst:

Mobile flomvern er en mulighet for å sikre kystlinjen, spesielt i begynnelsen av perioden når visse områder er truet. Ettersom havnivået stiger, vil behovet for flomvern øke, og det vil være utfordrende å sikre hele strekningen. Dette vil kreve betydelig innsats fra beredskapstjenestene. Derfor får mobile flomvern en liten positiv score når det gjelder målrettet effekt.

Jekking er ikke relevant for denne strekningen ettersom det ikke er trebygg som er utsatt.

Mur kan brukes som et alternativ til mobile flomvern og gir også økt sikkerhet mot høyere havnivå. Mur kan ha en negativ påvirkning på landskapet, men området vurderes som

mindre attraktivt enn for eksempel Vågen. Mur har også potensial til å tilpasses landskapet godt.

Utfylling er ikke relevant.

Sluser eller barrierer vil være en effektiv beskyttelse mot oversvømmelse i både Damsgårdssundet og Store Lungegårdsvannet. Dette vil sikre hele kystlinjen uten å påvirke landskapsverdiene. For øyeblikket er det hovedsakelig småbåttrafikk i Damsgårdssundet og Store Lungegårdsvannet. Denne trafikken vil mest sannsynlig ikke blir påvirket av en slik sluse, men det kan begrense muligheten for endringer i fremtidig maritim trafikk. Redusert vannutskiftning får derfor en negativ vurdering. Eventuelle konsekvenser av endret vannutskiftning for vannmiljøet vil bli undersøkt nærmere ved vurdering av de ulike alternativene for sluser.

Basert på en helhetlig vurdering av ikke-prisede effekter, er sluser det mest fremtredende sikringstiltaket ved Damsgårdssundet, fulgt av mur og mobile flomvern.

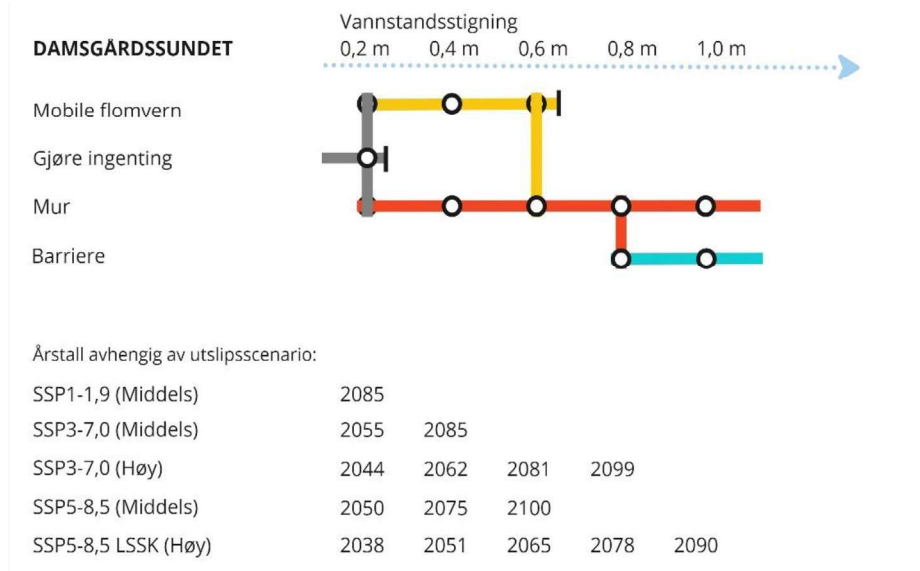
10.5 DAPP

DAPP-diagrammet (Figur 10-9) viser de mulige sikringstiltakene og kombinasjonene som kan brukes for å beskytte Damsgårdssund mot oversvømmelse.

I dagens situasjon er kun bærekraftig på kort sikt, og det vil være nødvendig å etablere enten en mur eller mobilt flomvern på nordsiden av Damsgårdssundet. Mobilt flomvern er effektivt opp til en havnivåstigning på ca. 0,6 meter. Basert på anbefalt utslippsscenario for kommunal planlegging (SSP 3-7.0, høy = øvre 83% utfallsrom), forventes dette å skje rundt 2081. Etter 2081 anbefales å skifte strategi fra mobile flomvern til mur eller sluse.

En barriereløsning kan være aktuell på lang sikt, og en slik løsning vil også beskytte Store Lungegårdsvannet. Imidlertid ser det ikke ut til å være den mest åpenbare løsningen. Vanndybder over terreng ved en 200-års stormflo i 2100, basert på anbefalte utslippsscenarioet, ser ut til å være begrenset til omtrent 0,5 meter. Mur er godt egnet til å beskytte områder mot denne vannstanden. På enda lengre sikt (>2100) eller hvis havnivået stiger raskere enn forventet, kan en barriereløsning bli mer aktuell.

Ingen av tiltakene er kostnadseffektive, da kostnadene ved å etablere dem ikke står i forhold til gevinstpotensialet.



Figur 10-9:DAPP analyse

10.6 Samlet vurdering

Det vurderes at den mest åpenbare løsningen er å bruke mobile flomvern eller mur i de første årene i Damsgårdssundet (Tabell 10-5). Mur kan være en langsiktig løsning for å imøtekomme de fleste flomutfordringene. Sluser vurderes å være relevante på lengre sikt, kanskje etter 2100 eller når havnivåstigningen forventes å skje raskt.

Tabell 10-5 Samlet vurdering

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap. 10.4.3)	1	Na	2	NA	3
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 10.4.5)	2	NA	3	NA	1
Rangering	1	NA	3	NA	2
Annet	Det er en lang strekning og vil kreve stor arbeidskraft	Ikke relevant	Godt alternativ til Mobile flomvern	Ikke relevant	Gir stor sikkerhet og minimal påvirkning. Sikrer samtidig Store Lundegårdsvannet.
Samlet vurdering	Mest opplagt på kort sikt	Ikke relevant	Mest opplagt på lang sikt	Ikke relevant	Mest opplagt på enda lengre sikt.

11 Store Lungegårdsvannet

11.1 Introduksjon

Delområde E, Store Lungegårdsvannet (se Figur 1-4 og Figur 11-1) omfatter i prosjektet vågen innerst i Puddefjorden. Det historiske navnet var Alrekstadsvågen, og Lille Lungegårdsvannet var frem til 1926 forbundet med Store Lungegårdsvannet. Området rundt dette indre fjordbassenget har gradvis blitt fylt ut i sjøen og ligger relativt lavt. Det meste av bebyggelsen i området er av nyere dato, men det finnes en del eldre kulturmiljøer innenfor delområdet. Møllendalselven og det flomutsatte Starefossen-vassdraget har sine utløp i Store Lungegårdsvannet, noe som legger føringer for evt. sikringstiltak mot havnivåstigning. Rundt munningen av Møllendalselven er det planlagt utvikling av flere nye boliger. På sentrumssiden av fjordbassenget ligger bl.a. Bygarasjen, Bergen busstasjon, ADO/Amalie Skram VGS og Hovedbrannstasjonen.



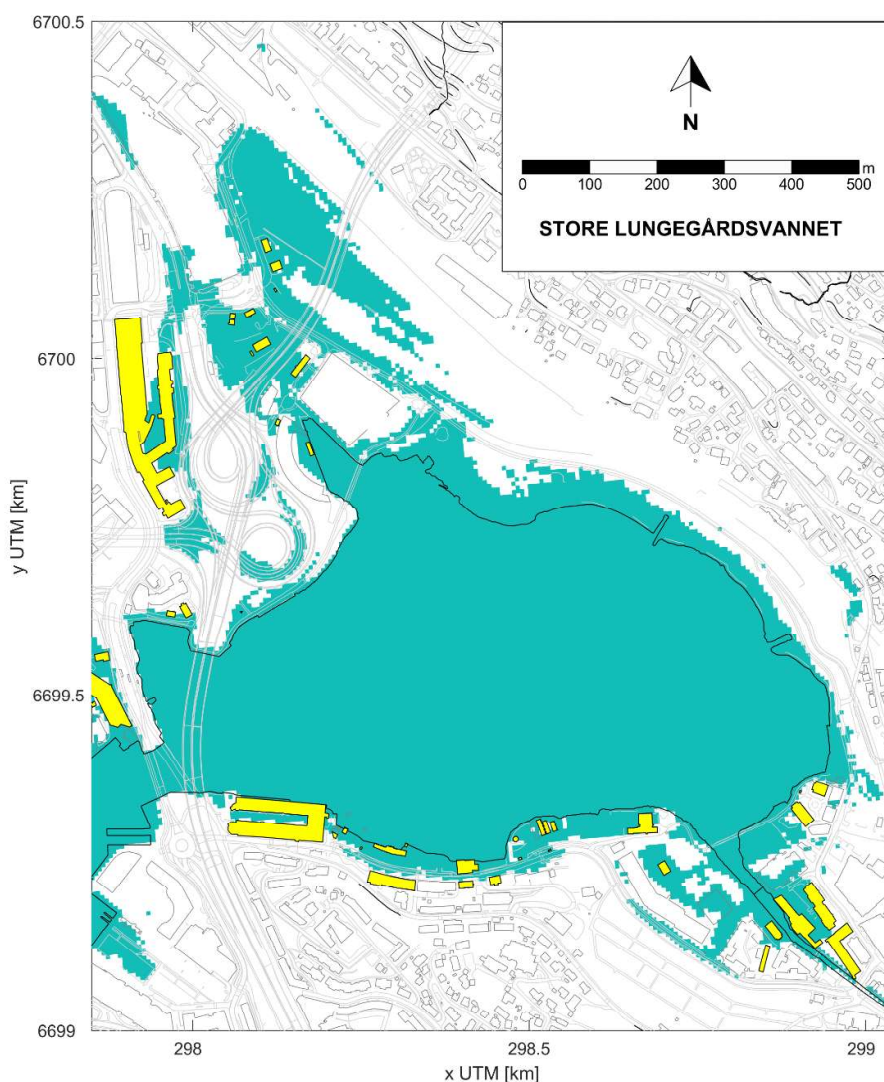
Figur 11-1 Store Lungegårdsvannet (Sangrømsing N. Kayte). Lille Lungegårdsvannet kan ses i øverste høyre hjørne av bildet. Møllendalselven kan ses i nedre venstre hjørne.

Alrekstad var den opprinnelige kongsgården i Bergen (Björgvin) og ved Fløen finner vi fortsatt eldre trehusbebyggelse i tilknytning til det som opprinnelig var havnen til kongsgården. Det er også bevart eldre sjøhusbebyggelse rundt vannet. Langs Møllendalsveien finnes eldre nærings- og industribebyggelse.

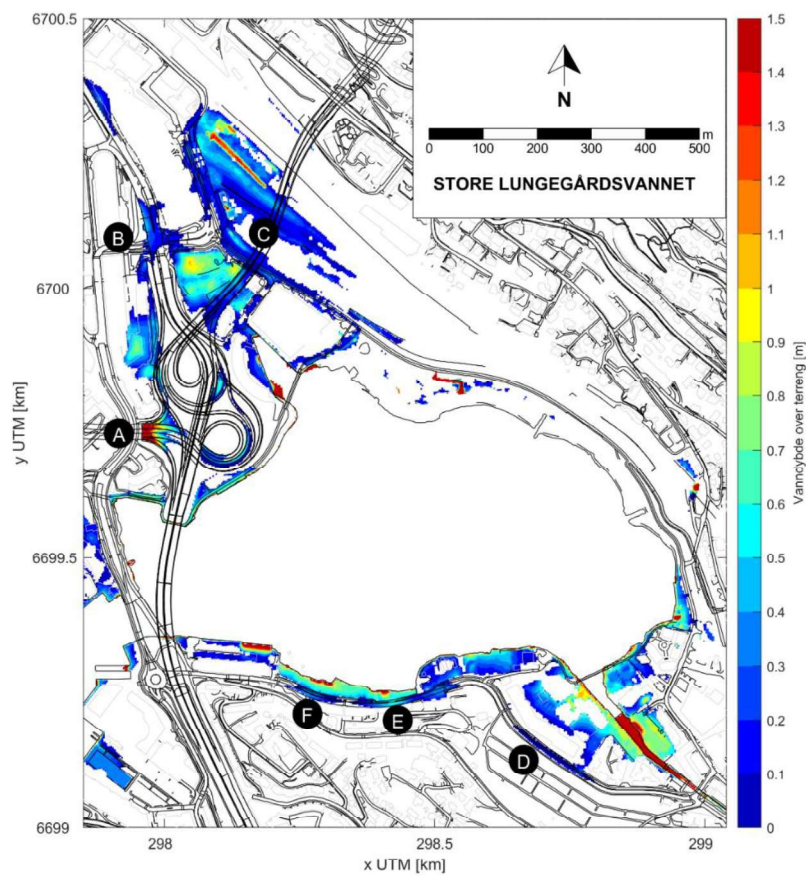
I området Nedre Nygård er en del eldre murgårds- og industribebyggelse bevart, dette er områder som i en stormflomsituasjon vil kunne bli påvirket dersom de mest ekstreme prognosene (SSP5-8.5) for havnivåstigning slår til. Det samme gjelder området rundt Smålungeren, der vi blant annet finner en rekke offentlige bygg med høy kulturminneverdi.

11.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

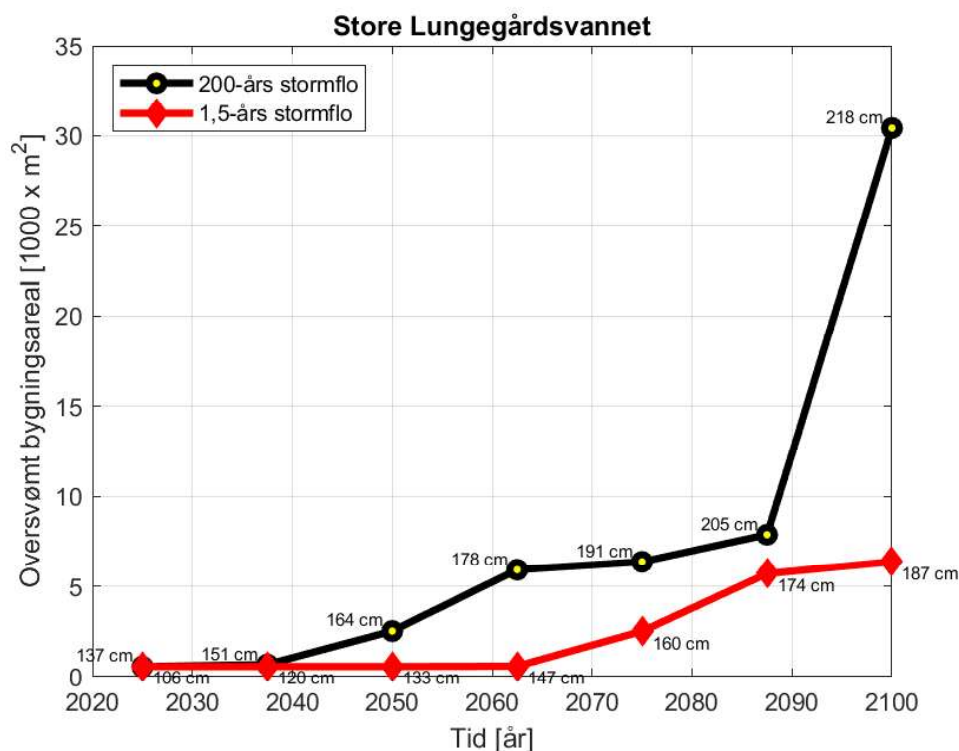
Store Lungegårdsvannet, som er en våg, er naturlig beskyttet mot bølger. Imidlertid forventes det oversvømmelse av bygninger rundt den nordvestlige og sørlige kysten på grunn av økende havnivåer (se Figur 11-2 og Figur 11-3). I den nordvestlige delen, spesielt rundt hovedbrannstasjonen og ADO-arenaen, kan vannet strømme inn i et stort lavtliggende område. Dette kan fortsette videre til veikrysset med Fjøsangerveien og inngangen til Nygårdstunnelen (se Figur 11-3). Disse forholdene vil kunne medføre betydelige negative effekter på beredskapen, spesielt brannvesenet, samt trafikale problemer.



Figur 11-2 Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm vannstand (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander.



Figur 11-3 Vanndybde over terreng ved 218 cm havnivå (200-års gjentaksintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Bokstaver indikerer store (evakuerings)veier som blir oversvømt. A: Nygårdstunnelen; B: Krysset Fjøsangerveien-Agnes Mowinckels gate; C: Lungegårdskaien (Bybanen linje 2); D, E og F: Møllendalsveien.



Figur 11-4 Oversvømt bygningsareal i Store Lungegårdsvannet over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

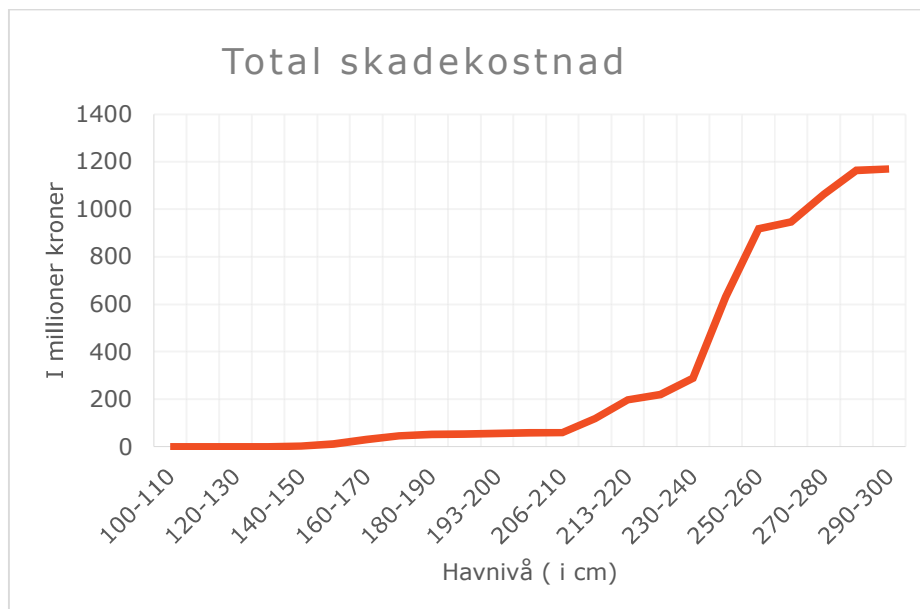
Figur 11-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Store Lungegårdsvannet over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Rundt 2088 ser vi en dramatisk økning i utsatt bygningsareal for en 200-års stormflo. Dette er på grunn av vann som renner inn i det lavtliggende område rundt hovedbrannstasjonen og ADO-arenaen.

11.3 Etablering av nullalternativet

I dette kapittelet vil vi undersøke konsekvensene av ikke å implementere tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo i Store Lungegårdsvannet.

11.3.1 Prissatte virkninger

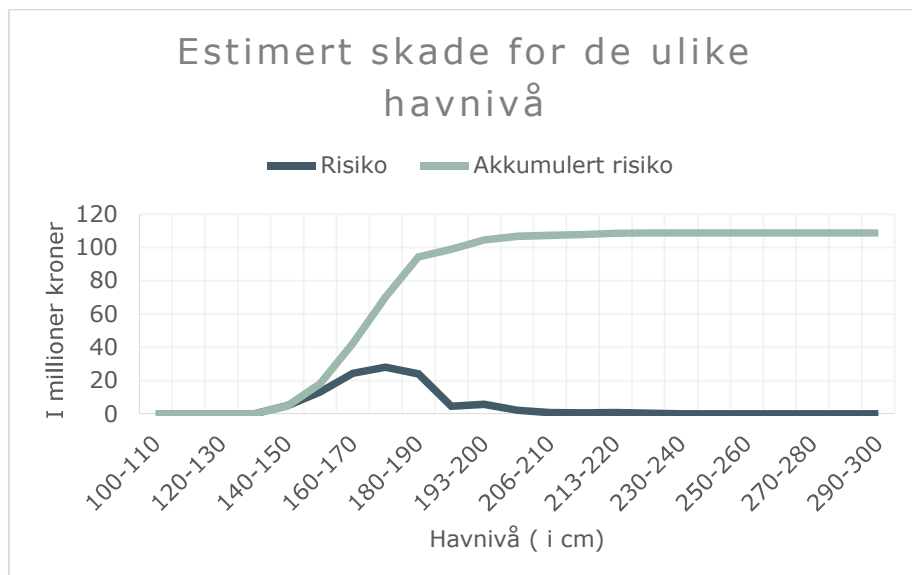
Figur 11-5 viser skadekostnadene for Store Lungegårdsvann. Kostnadene er lave ved lav vannstand. Sammenlignet med andre områder har Store Lungegårdsvann de laveste skadekostnadene frem mot 2100 ved enn 200-års vannstand på 218 cm. Imidlertid, ved stormflonivåer mellom 240-260 cm, øker skadekostnadene dramatisk og potensielle skader kan være enorme. I forhold til utslippsscenarioet SSP3-7.0 med en sannsynlighet på 83%, vil vi ikke nå disse stormflonivåene innen 2100 ved en 200 eller 1000-års hendelse. Hvis havnivået derimot stiger raskere, kan vi nå disse stormflonivåene og skadekostnadene vil bli betydelig høyere.



Figur 11-5 Figuren viser skadekostnaden ved Store Lungegårdsvann for de ulike havnivåene. I millioner kroner.

Ved å kombinere skadekostnader med sannsynlighet kan vi vurdere skaderisikoen for ulike havnivåer. Figur 11-6 viser risikoen og akkumulert risiko for Store Lungegårdsvann. Det er en høy skaderisiko ved 160-190 cm havnivå. Ved et stormflonivå på 180-190 cm er skaderisikoen estimert til omtrent 94 millioner kroner. Som vist i Figur 11-6, er det ingen risiko ved stormflonivåer høyere enn 210 cm.

Sammenlignet med Figur 11.4, hvor skadene øker betydelig ved stormflonivåer over 230 cm, indikerer Figur 11.5 at vi med utslippsscenarioet SSP3-7.0 og en sannsynlighet på 83% unngår de største skadekonsekvensene til året 2100. Imidlertid vil dette endres hvis man vurderer mer pessimistiske utslippsscenarioer som fører til raskere havnivåstigning, eller om man ser på tidsperioden etter 2100.



Figur 11-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i millioner kroner i 2100. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden til 2100 er nåverdien beregnet til å være cirka 110 millioner kroner for scenariet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

11.3.2 Ikke-prissatte virkninger

I Figur 11-3 vises scenariet som er brukt for å vurdere de ikke-prissatte effektene på delområde E, Store Lungegårdsvannet. Scenariet tar utgangspunkt i en 200-årsflom under utslippsscenarioet SSP3-7.0 med en sannsynlighet på 83%. Dette scenariet resulterer i en vannstand på 218 cm i 2100 og brukes som grunnlag for vurdering av ikke-prissatte effekter.

Figur 11-3 viser påvirkningen på veinettet og hvilke områder som vil bli oversvømt. Vanndybden over terreng i de oversvømte områdene er fargekodet, der blå indikerer lavere vanndybde over terreng, mens rød indikerer høyere vanndybde over terreng. Vurderingen inkluderer påvirkning på kulturmiljø, veiinfrastruktur, konsekvenser for trafikanter og beredskap ved hjelp av en verdimatrise som tar hensyn til kvantitet og verdi per enhet. Denne samlede vurderingen gir innsikt i de samfunnsøkonomiske konsekvensene. Ytterligere detaljer om disse vurderingene finnes i Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 11-1 Oppsummering av de ikke-prissatte konsekvensene (se Vedlegg E)

Kostnadsvirkninger	Verdi
Kulturminneverdier	Ubetydelig/ingen
Veinettet	Meget stor negativ
Forsinkelser	Meget stor negativ
Beredskap	Meget stor negativ

Verdsettelsen av kulturmiljøet anses som lav, da det ikke er identifisert betydelige kulturhistoriske elementer som vil bli påvirket. Derimot vurderes påvirkningen på veinettet som meget stor og negativ. Spesielt er det potensiell oversvømmelse av Nygårdstunnelen og hovedbrannstasjonens utfartsvei som utgjør en betydelig bekymring. Dette kan medføre store kostnader, spesielt ved stengning av tunnelen og behovet for tiltak som pumper for å fjerne vannet. Beredskapsproblemer blir også vurdert som en stor negativ faktor, da forsinket utrykning fra hovedbrannstasjonen kan ha kritisk samfunnsøkonomisk verdi i nødsituasjoner.

Disse funnene understreker betydningen av grundig planlegging, implementering av passende tiltak og tilstrekkelige ressurser for å minimere de negative samfunnsøkonomiske konsekvensene knyttet til infrastruktur og beredskap i dette området.

11.4 Vurdering av tiltak

11.4.1 Behov for sikring

Det er behov for sikring langs den nordvestlige og den sørlige kysten, der mange hus vil være utsatt på grunn av stigende havnivåer.

I de første årene kan det benyttes beredskapsløsninger i form av mobile flomvern, da vannstanden fortsatt bare vil oversvømme mindre deler av strekningen. Se Figur 11-3, som viser oversvømte områder angitt med rødt og gul (over 80 cm vanddybde over terreng), hvor behovet er nå, og de blå områdene er der hvor behovet vil oppstå senest innen 2100.

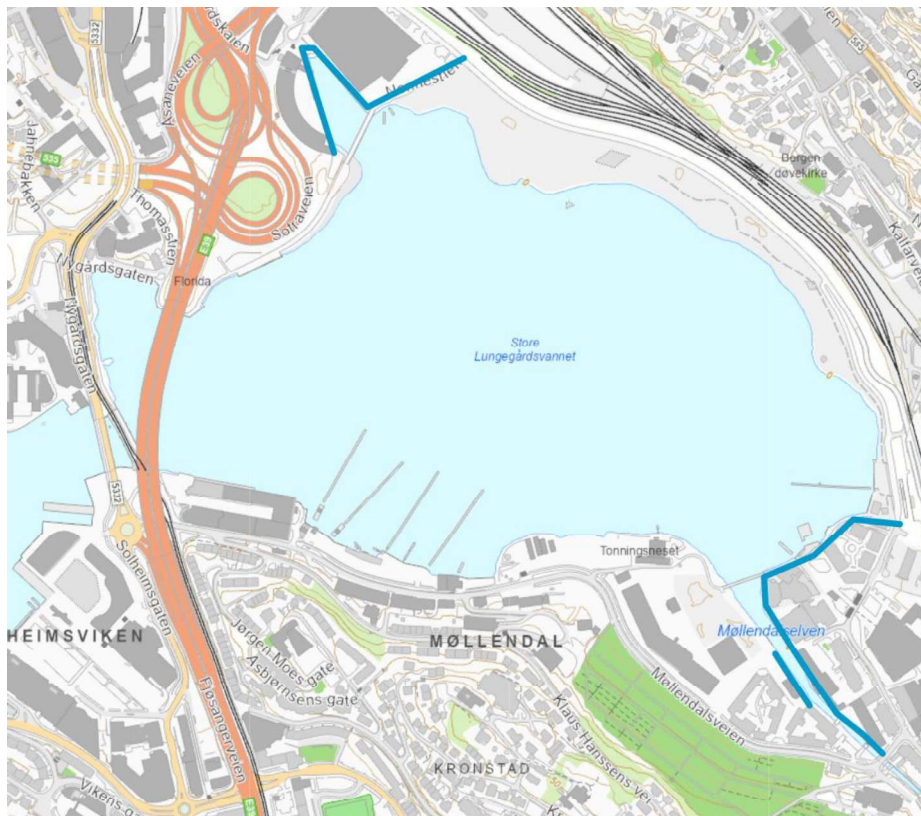
11.4.2 Kostnadsestimat

For mobile flomvern er det estimert at en lengde på ca. 1000 meter (Figur 11-7) vil kreve en investeringskostnad på 41 millioner kroner i 2025. Levetiden antas å være 25 år, og drifts- og vedlikeholdskostnadene vil utgjøre 10% av investeringskostnaden. En stor del av investeringskostnaden i 2025 er relatert til spunting, som ikke vil være nødvendig å gjenta etter 25 år. Derfor vil reinvesteringskostnaden være bare 7 millioner kroner.

Når det gjelder mur, er det også antatt en lengde på 1000 meter (Figur 11-7) og en investeringskostnad på 73 millioner kroner i 2025. Levetiden antas å være 75 år, og drifts- og vedlikeholdskostnadene vil utgjøre 3% av investeringskostnaden årlig.

En sluse er anslått å ha en kostnad på omtrent 240 millioner kroner (se Kapittel 6.6). Dette inkluderer en fylling med en relativt liten åpning og en sluse som kan stenges. Den beste beliggenheten vil naturlig være rundt Nygårdsbruen hvor innløpet er trangt.

Det er viktig å merke seg at kostnadsestimatene har svært høy usikkerhet.



Figur 11-7: Behov for sikring av mobile flomvern/mur (totale lengde ca. 1000m). Barrieren er tenkt rundt Nygårdsbruen i vest.

11.4.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabell 11-1 viser de totale kostnadene og potensiell gevinst for de tiltakene, i millioner kroner, for perioden 2025-2100. Netto nytte representerer den samfunnsøkonomiske lønnsomheten i prosjektet, og NNB (netto nytte per budsjettkrone) er et relativt mål på lønnsomhet basert på prissatte virkninger. Det gir en forenklet indikasjon på hva samfunnet får tilbake for hver krone som blir brukt til gjennomføring av prosjektet over offentlige budsjetter (DFØ, 2023).

Når vi ser på de prissatte konsekvensene, viser tabellen at ingen tiltak for Store Lungegårdsvann er samfunnsøkonomisk lønnsomme. Mur tiltaket har den minst negative netto nåverdien med -19 millioner kroner.

Når vi beregner den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av en sluse i Damsgårdsundet, som også eliminerer risikoen for oversvømmelse i Store Lungegårdsvannet, (kapittel 10.3.1) er tiltaket ikke lønnsomt innenfor utslippsscenarioet SSP3-7.0 med en sannsynlighet på 83%.

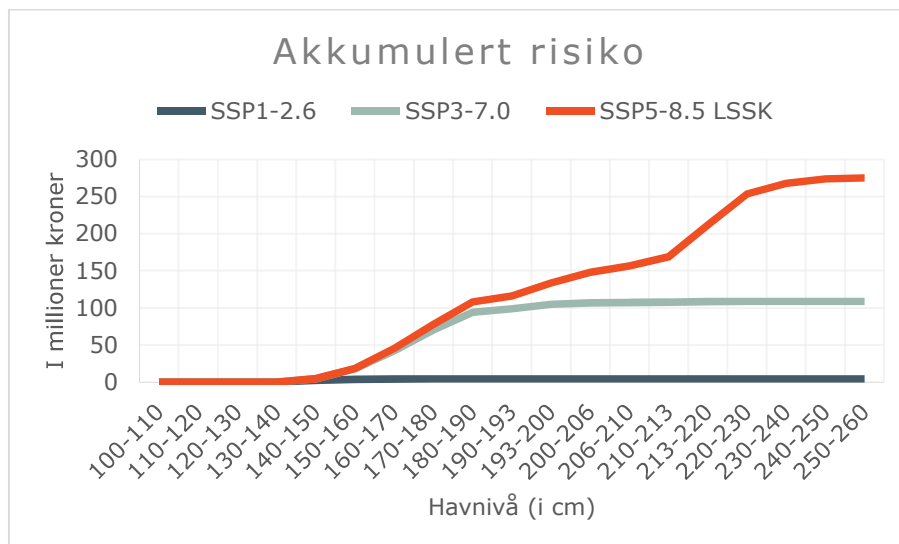
Tabell 11-1 Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

	Mobile flomvern	Mur	Sluse
Total mulig gevinst	kr 109	kr 109	kr 109
Total kostnad	-kr 153	-kr 128	-kr 415
Netto nåverdi	-kr 45	-kr 19	-kr 306
Netto nytte per budsjettkrone	-0,29	-0,15	-0,74
Rangering	2	1	3

11.4.4 Usikkerhet

I dette kapitelet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarioer på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Store Lungegårdsvannet. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Store Lungegårdsvannet.

Utslippsscenario vi bruker i analysen har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. Figur 11-8 viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario for Store Lungegårdsvannet. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka fem million kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i ca 275 millioner.



Figur 11-8 Akkumulert risiko for Store Lungegårdsvannet, for utvalgte klimascenarier

I Tabell 11-2 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere.

Mur tiltaket viser seg å være det mest lønnsomme alternativet når vi endrer utslippsscenarioet til det mest pessimistiske (SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom). Mobilt flomvern viser også seg å være samfunnsøkonomisk lønnsomt i dette scenarioet. På den annen side viser ingen av tiltakene seg å være lønnsomme ved en kostnadsøkning på 20% eller under det mest optimistiske utslippsscenarioet (SSP1-2.6, 50% utfallsrom).

Tabell 11-2 Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endret utslippsscenario eller økning i kostnad

	Mobile flomvern	Mur	Sluse
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,97	-0,97	-0,99
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,29	-0,15	-0,74
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	0,79	1,16	-0,34
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,41	-0,29	-0,83

11.4.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

I Tabell 11-3 blir de ikke-prissatte effektene vurdert kvalitativt på en 5-trinns skala, og deretter blir de ulike mulige tiltakene rangert i henhold til de ikke-prissatte virkningene.

Tabell 11-3 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Målrettede effekter	+	Ikke relevant	++	Ikke relevant	++
Landskap - påvirkning	+	Ikke relevant	-	Ikke relevant	+
Landskap - potentiale	-	Ikke relevant	+	Ikke relevant	+
Kulturminneverdie	Ingen påvirkning	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ingen påvirkning
Infrastruktur	+	Ikke relevant	++	Ikke relevant	++
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	-
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	-
Rangering	3	Ikke relevant	2	Ikke relevant	1

I det etterfølgende beskrives de ulike tiltakene i en lokal kontekst.

Mobile flomvern er en mulighet for å sikre kystlinjen, spesielt i begynnelsen av perioden når visse deler av strekningen er truet. Ettersom havnivået stiger, vil behovet for flomvern øke, og det kan være utfordrende å beskytte hele strekningen med mobile flomvern. Dette vil kreve betydelig innsats fra beredskapstjenestene. Det er viktig å merke seg at det er en risiko for brudd ved bruk av mobile flomvern, og derfor kan det ikke garanteres 100% funksjonalitet. Imidlertid er bølgepåvirkningen ved Store Lungegårdsvannet begrenset. Derfor får mobile flomvern en liten positiv vurdering når det gjelder målorienterte effekter.

Jekking er ikke relevant for denne strekningen, da det ikke er utsatte trebygg som trenger beskyttelse.

Mur kan brukes som et alternativ til mobile flomvern og kan gi økt sikkerhet, også mot høyere havnivåer. Mur vil ha en negativ påvirkning på landskapet, men området anses som mindre attraktivt enn f.eks. Vågen. Murtiltaket kan imidlertid bli godt tilpasset landskapet.

Utfylling er ikke relevant i denne sammenhengen.

Sluser eller barrierer vil være en effektiv beskyttelse mot oversvømmelse i bukten. Dette vil tillate beskyttelse av hele kystlinjen uten å påvirke landskapsverdiene. For øyeblikket er det hovedsakelig småbåttrafikk i Store Lungegårdsvannet, og denne trafikken vil mest sannsynlig ikke bli påvirket av en slik sluseløsning. Imidlertid vil vannutskiftningen bli mindre, og strømningsforholdene, spesielt rundt slusen, kan endres. Dette må vurderes nøye i planleggingsfasen. Samlet sett vil slusen ha en negativ påvirkning på miljøet.

Basert på en helhetlig vurdering av de ikke-prissatte effektene, anses sluser som den mest hensiktsmessige sikringsmetoden ved Store Lungegårdsvannet, etterfulgt av mur og mobile flomvern.

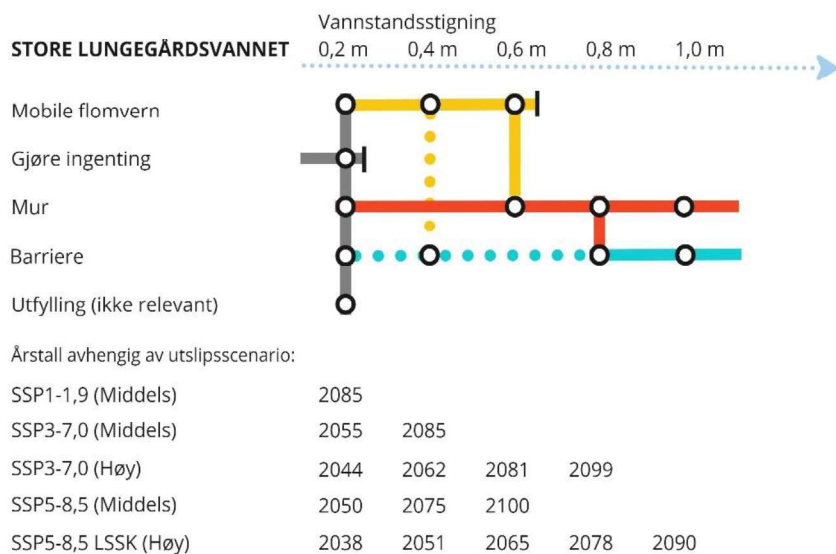
11.5 DAPP

Diagrammet nedenfor viser de ulike sikringstiltakene og kombinasjonene av disse for å beskytte Store Lungegårdsvannet mot oversvømmelse.

Den nåværende situasjonen er bare holdbar på kort sikt, og det vil være nødvendig å etablere mur eller mobile flomvern. Mobilt flomvern er effektivt opp til en havnivåstigning på ca. 0,6 meter. Basert på anbefalt utslippsscenario for kommunal planlegging (SSP 3-7.0, høy = øvre 83% utfallsrom), forventes dette å skje rundt 2081. Etter 2081 anbefales å skifte strategi fra mobile flomvern til mur eller sluse.

Ingen av de tiltakene er kostnadseffektivt, da etableringskostnadene ikke står i forhold til den mulige fordelen.

En barriere/sluse rundt Nygårdsbruen kan være aktuelt på lang sikt. En barriere/sluse i Damsgårdssundet beskytter også Store Lungegårdsvannet (se kapittel 10).



Figur 11-9:DAPP analyse

11.6 Samlet vurdering

På nordsiden av Store Lungegårdsvannet er det et potensielt problemområde rundt brannstasjonen og ADO-arenaen. Hvis vannet oversvømmer dette området (rundt en høyde på 210 cm), vil det fylle et stort område fra ADO-arenaen til togstasjonen. Dette området kan enkelt sikres ved hjelp av mobile flomvern eller murverk på den nordlige delen av Store Lungegårdsvannet. På den sørlige delen, rundt Møllendalselven, kan det også sikres ved bruk av murverk eller mobile flomvern.

Murverk anses som det mest økonomiske alternativet, til tross for at det ikke er lønnsomt ifølge den samfunnsøkonomiske analysen. Murverk har også en langsiktig effektivitet og anses derfor som det foretrukne alternativet. På lengre sikt kan en sluse være en potensiell løsning (Tabell 11-4).

Tabell 11-4 Samlet vurdering

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap. 11.4.3)	2	NA	1	NA	3
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 11.4.5)	3	NA	2	NA	1
Rangering	3	NA	1	NA	2
Annet	Det er en lang strekning og vil kreve stor arbeidskraft	Ikke relevant	Stor sikkerhet for funksjon	Ikke relevant	Stor sikkerhet for funksjon
Samlet vurdering	Bare mulig på kort sikt	Ikke relevant	Mest opplagt på kort og lang sikt	Ikke relevant	Mulig løsning på lang sikt

12 Laksevåg

12.1 Introduksjon

Laksevåg er definert i prosjektet som det området fra Puddefjordsbroen i sørøst til Nordrevågen i nordvest (se Figur 1-4 og Figur 12-1).

Historisk var området en egen tettbebyggelse utenfor bygrensene, som utviklet seg utover 1800-tallet rundt verftsvirksomheten. Senere vokste en mangeslunget industrivirksomhet frem langs Damsgårdsveien. En del av den opprinnelige bebyggelsen er bevart, både tett trehusbebyggelse rundt Laksevågsbukten og næringsbebyggelse langs sjøen. Også ubåt-havnen, som okkupasjonsmakten etablerte under 2.verdenskrig, er et unikt kulturmiljø og mye av dette er bevart. Selve ubåt-bunkeren «Bruno» ble vedtaksfredet av Riksantikvaren i 2004.

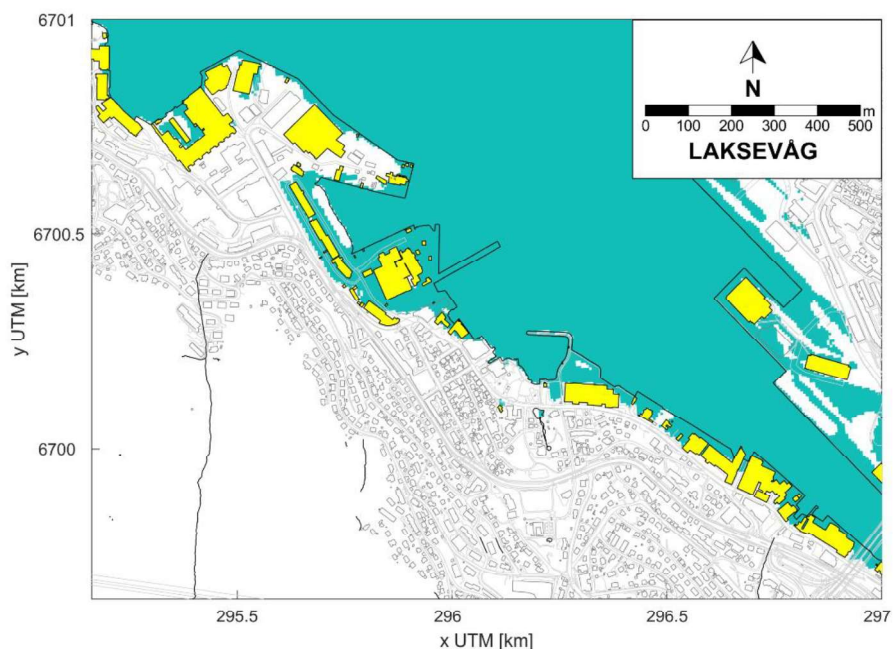
Laksevåg-området er preget av både eldre og nyere utfyllinger i sjøen og ligger relativt lavt. Det har en lang kystlinje og er utsatt for bølger ved vindretninger mellom nordvest.. Det finnes ulike planer for relativt omfattende utfyllinger i sjøen, særlig utenfor Laksevågbukten (Figur 5-4), noe som vil påvirke kystlinjen i store deler av området.



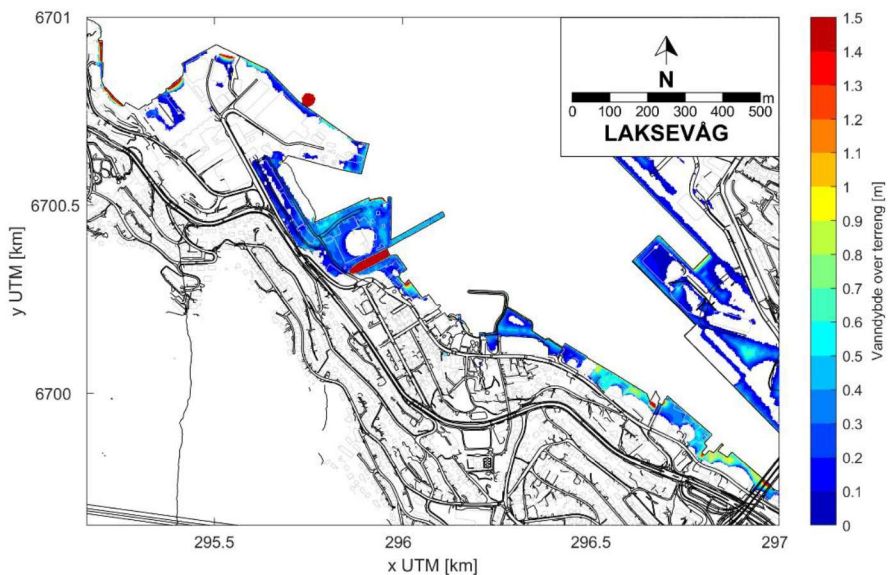
Figur 12-1 Utsikt mot Laksevåg (Sangramsing N. Kayte)

12.2 Utsatte bygninger og infrastruktur

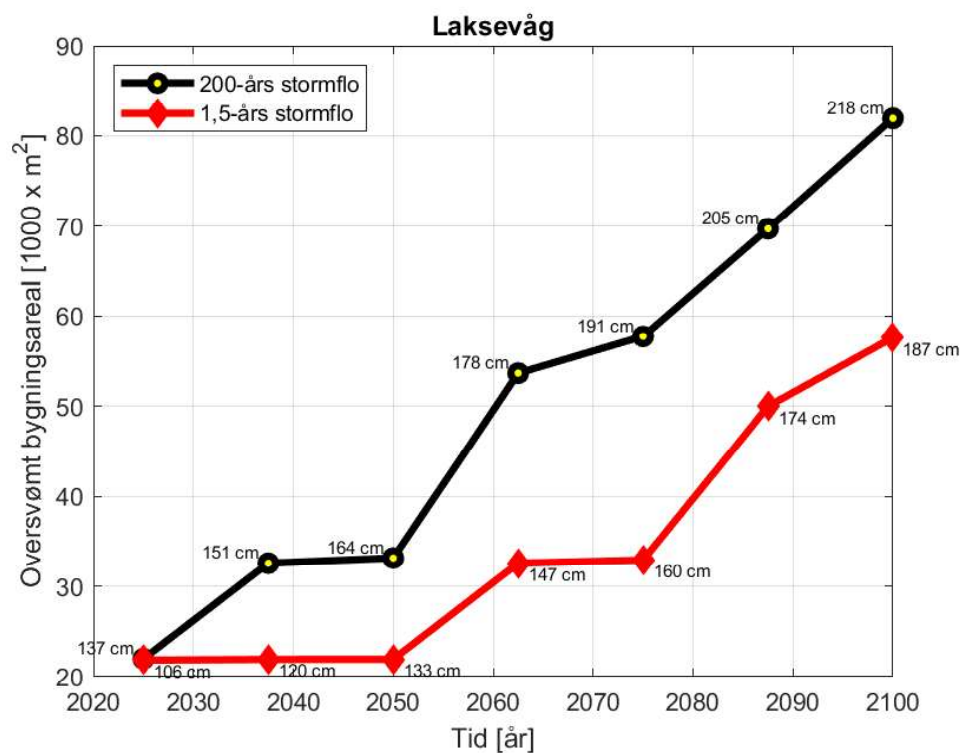
Figur 12-2 og Figur 12-3 viser at de oversvømte områdene (med en 200-års gjentaksintervall i 2100, basert på utslippsscenarioet SSP3-7.0 og en sannsynlighet på 83% utfallsrom) i dette delområdet ligger nær kystlinjen. De eiendommene som ligger utsatt i Figur 12-2 er primært industribygninger. Det er snakk om lave vanndybder over terreng på opptil 50 cm. Imidlertid kan det være områder med dypere oversvømmelse, spesielt i den østlige delen rundt Puddefjordsbruene. De laveste områdene blir oversvømt med en vannstand på 140 cm, noe som er omtrent nivået for en 200-års hendelse i dag.



Figur 12-2 Oversvømte bygninger (gul markert) ved 218 cm vannstand (200-års gjentakintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Se Vedlegg A for oversvømmelseskart for forskjellige vannstander.



Figur 12-3 Vanndybde over terreng ved 218 cm vannstand (200-års gjentakintervall i 2100 ved SSP3-7.0 utslippsscenario - 83% utfallsrom). Ingen store (evakuerings)veier som blir oversvømt.



Figur 12-4 Oversvømt bygningsareal i Laksevåg over tid. Rød linje: 1,5-års stormflo, Svart linje: 200-års stormflo. Basert på klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom. Vannstander er indikert med tall.

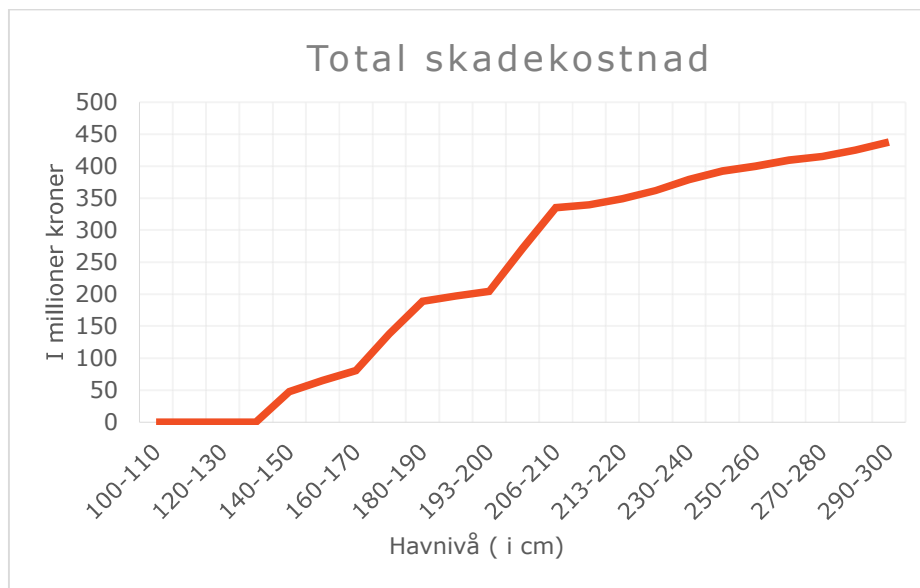
Figur 12-4 viser bygningsareal som oversvømmes i Laksevåg over tid ved en 1,5-års stormflo og en 200-års stormflo for klimautslippsscenario SSP 3-7.0 med 83% utfallsrom.

12.3 Etablering av nullalternativet

I dette kapittelet vil vi se på hvilke konsekvenser det får for Laksevåg om vi ikke innfører tiltak for å sikre mot fremtidig havnivåstigning og stormflo.

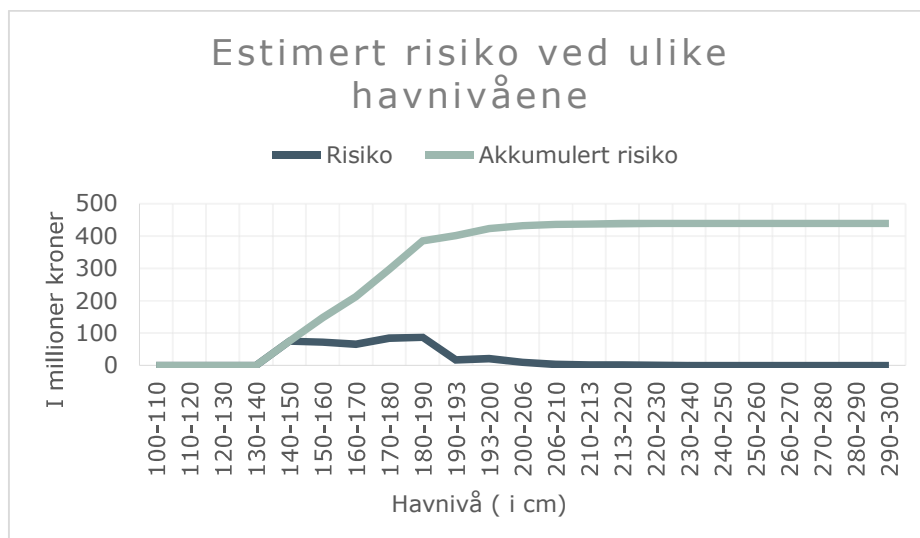
12.3.1 Prissatte virkninger

Figur 12-5 viser skadekostnadene for Laksevåg. Det stiger jevnt oppover fra 140 cm til 206-110 cm vannstand.



Figur 12-5 Figuren viser skadekostnaden i Laksevåg for de ulike vannstandene. I millioner kroner. For hele analyseperioden 2025-2100

Om vi ser på skadekostnaden sammen med sannsynligheten, får vi skaderisiko for de ulike havnivåene. Figur 12-6 viser risiko og akkumulert risiko for Laksevåg. Høyeste risiko er knyttet til en vannstand på 180-190 cm med en verdi på 87 million kr. Akkumulert over hele perioden er akkumulert risiko beregnet til 440 million kr.



Figur 12-6 Figuren viser estimert skaderisiko og akkumulert risiko i millioner kroner. For hele analyseperioden 2025-2100

Nåverdien for hele perioden:

For hele perioden er nåverdien beregnet til å være ca. 440 millioner kroner for scenarioet SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall

12.3.2 Ikke-prissatte virkninger

I Figur 12-3 vises scenariet som er brukt for å vurdere de ikke-prissatte effektene for delområde F, Laksevåg. Scenariet tar utgangspunkt i en 200-årsflom under utslippsscenarioet SSP3-7.0 med en sannsynlighet på 83%. Dette scenariet fører til en vannstand på omtrent 2 cm i 2100, og det brukes som utgangspunkt for vurdering av de ikke-prissatte effektene.

Kartet viser påvirkningen på veinettet og hvilke områder som vil bli oversvømt. Vanndybden over terreng i de oversvømte områdene er fargekodet, der blå indikerer lavere vanndybde over terreng, mens rød indikerer høyere vanndybde over terreng. Vurderingen inkluderer påvirkningen på kulturmiljø, veiinfrastruktur, konsekvenser for trafikanter og beredskap. Dette gjøres ved hjelp av en verdimatrise som tar hensyn til kvantitet og enhetsverdi, og summen gir en samfunnsøkonomisk påvirkning. For mer detaljert informasjon om vurderingene, se Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser for mer detaljert beskrivelse av vurderingene.

Tabell 12-1: Oppsummering av de ikke-prissatte virkningene for Laksevåg (se Vedlegg E)

Kostnadsvirkninger:	Laksevåg
Kulturminneverdier	Ubetydelig/ingen
Infrastruktur	Ubetydelig/ingen
Forsinkelser	Ubetydelig/ingen
Beredskap	Ubetydelig/ingen

I Laksevåg er den samfunnsøkonomiske virkningen vurdert som lav eller ubetydelig (Tabell 12-1) basert på kriteriene presentert i kapittel 3.2.4. Virkningen på kulturmiljøet antas å være lav, med begrenset mengde og lav verdi. Ifølge beregningene vil ingen hovedveier bli oversvømt i dette scenarioet, noe som resulterer i en lav verdi med hensyn til skader på veinettet. Selv om ingen veier i Laksevåg vil bli oversvømt, kan det være noe påvirkning på trafikanter og kollektivreisende når trafikken flyttes og potensielt forårsaker forsinkelser på andre veier, spesielt i Bergen sentrum. Imidlertid antas denne påvirkningen å være begrenset, og verdien vurderes derfor som lav eller ubetydelig. Beredskapsproblemene i området vurderes også som lave, både med hensyn til mengde og verdi, noe som resulterer i en ubetydelig eller ingen samfunnsøkonomisk påvirkning.

12.4 Vurdering av tiltak

12.4.1 Behov for sikring

Det er behov for sikring på deler av kystlinjen der flere hus vil være utsatte på grunn av stigende havnivåer. I de første årene kan det benyttes beredskapsløsninger i form av mobile flomvern, da vannstanden fortsatt kun vil oversvømme mindre deler av strekningen. Se Figur 12-3, som viser oversvømte områder angitt med rødt og gult (over 80 cm vanndybde over terreng), hvor behovet er nå, og de blå områdene der behovet vil oppstå senest innen 2100.

12.4.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av de prissatte virkningene

Tabell 12-2 viser totale kostnader og potensiell gevinst, i millioner kroner, for perioden 2025-2100. Netto nytte representerer den samfunnsøkonomiske lønnsomheten i prosjektet, og NNB (netto nytte per budsjettkrone) er et relativt mål på lønnsomhet basert på prissatte virkninger. Det gir en enkel indikasjon på hva samfunnet får i retur for hver krone som blir brukt til prosjektet over offentlige budsjetter (nytte per kostnadsenhet, basert på prissatte virkninger) (DFØ, 2023).

I Tabell 12-2 er de prissatte virkningene for Laksevåg oppsummert for hele analyseperioden 2025-2100. Vi kan observere at begge tiltakene går omtrent i null sett ut fra et samfunnsøkonomisk nytteperspektiv, med mur som det beste alternativet.

Basert på lønnsomhetsvurderingen viser begge tiltakene omtrent null netto nytte, og den faktiske lønnsomheten vil avhenge av en reduksjon i usikkerheten knyttet til kostnadsoverslagene for tiltakene i Laksevåg, spesielt for utslippsscenarioet SSP3-7.0 med en sannsynlighet på 83% utfallsrom. Mur tiltaket kommer best ut, med en netto nytte på 33 millioner kroner.

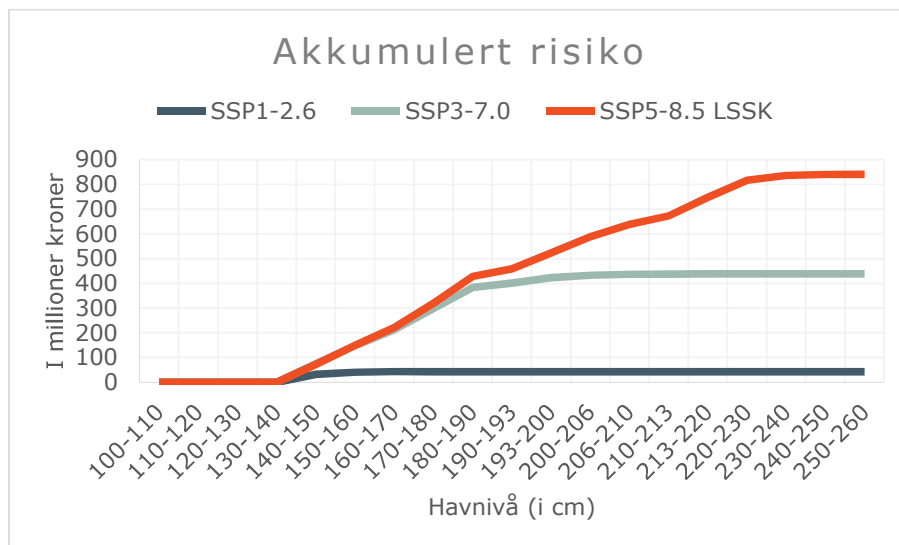
Tabell 12-2: Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av de prissatte konsekvensene. I millioner kroner. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst	kr 439	kr 439
Total kostnad	-kr 471	-kr 406
Netto nytte	-kr 32	kr 33
Netto nytte per budsjettkrone	-0,07	0,08
Rangering	2	1

12.4.4 Usikkerhet

I dette kapitelet vil vi gå gjennom konsekvensen av ulike klimascenarier på og hvordan det påvirker den samfunnsøkonomiske lønnsomheten til de ulike tiltakene i Laksevåg. Vi vil også se på effekten kostnadsendringen har på den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved de ulike tiltakene som er aktuelle i Laksevåg.

Utslippsscenario vi bruker i analysen har mye å si for risikoen som Bergen utsettes for. Figur 11-8 viser hvordan den totale risikoen endrer seg når vi ser på et mer pessimistisk eller mer optimistisk klimascenario for Laksevåg. For SSP1-2.6, med medium utfallsrom vil den samlede risikoen være på cirka 45 millioner kroner, mens den for SSP5-8.5 LSSK vil være rett i ca 840 millioner (Figur 12-8).



Figur 12-8 Akkumulert risiko for Laksevåg, for utvalgte klimascenarier

Tabell 12-3 viser følsomhet i samfunnsøkonomisk lønnsomhet representert ved netto nytte per budsjettkrone når vi endrer utslippsscenarioene eller kostnaden ved tiltakene. Vi vil her se på hvordan resultatet endrer seg når vi bare endrer utslippsscenarioet, alle andre forutsetninger er lik som tidligere. Mur er det mest lønnsomme alternativet når vi endrer utslippsscenario til det mest pessimistiske (SSP 5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom), men mobilt flomvern er også samfunnsøkonomisk lønnsomst i dette scenarioet. Ingen av tiltakene er lønnsomme ved en 20% kostnadsøkning eller det mest optimistiske utslippsscenarioet (SSP 1-2.6, 50% utfallsrom).

Tabell 12-3: Følsomhet i netto nytte per budsjettkrone ved endret utslippsscenario eller økning i kostnad

	Mobile flomvern	Mur	Sluse
SSP1-2.6, 50% utfallsrom	-0,97	-0,97	-0,99
SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,29	-0,15	-0,74
SSP5-8.5 LSSK, 83% utfallsrom	0,79	1,16	-0,34
Med kostnadsøkning SSP3-7.0, 83% utfallsrom	-0,41	-0,29	-0,83

12.4.5 Multikriterieanalyse av de ikke-prissatte virkningene

De ikke prissatte effektene blir vurdert kvalitativt på en 5-trinns skala, og deretter blir de ulike mulige tiltakene rangert i henhold til de ikke prissatte virkningene.

Tabell 12-4 Multikriterieanalyse ikke-prissatte virkninger

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Måltrettede effekter	+	Ikke relevant	++	+	Ikke relevant
Landskap - påvirkning	+	Ikke relevant	--	-	Ikke relevant
Landskap - potensiale	-	Ikke relevant	+	++	Ikke relevant
Kulturminner	++	Ikke relevant	--	-	Ikke relevant
Infrastruktur	+	Ikke relevant	++	++	Ikke relevant
Maritime tilgang	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
Miljø (vannutskiftning)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
Rangering	1	Ikke relevant	3	2	Ikke relevant

I det følgende beskrives de ulike tiltakene i en lokal kontekst.

Mobile flomvern er en mulig løsning for å sikre kystlinjen. Dette vil være spesielt relevant i begynnelsen av perioden, når deler av strekningen er truet. Når vannstanden stiger, vil behovet for tiltak øke, og det vil være utfordrende å sikre hele kystlinjen med flomvern. Dette vil i så fall kreve betydelige beredskapstiltak. Det er viktig å være oppmerksom på at det er risiko for brudd ved bruk av mobile flomvern av typen "water tubes", så det kan ikke garanteres 100% funksjonalitet. For eksempel oppstod det en hendelse i Danmark i oktober 2024 der en water tube brast. Ved valg av teknisk løsning for mobile flomvern må dette tas i betraktning. Mobile flomvern vil ikke ha negative innvirkninger på landskapsverdier. Derfor vurderes mobile flomvern å ha en liten positiv effekt på målorienterte effekter.

Mur er en løsning som kan etableres i stedet for mobile flomvern. Mur er en fast installasjon med stor funksjonssikkerhet under hendelser. På deler av strekningen der det er tilstrekkelig plass, kan mur erstattes med jordvoller. Mur har en betydelig positiv effekt på målorienterte effekter på grunn av funksjonssikkerheten. Umiddelbart kan mur ha en negativ påvirkning på landskapet, men det finnes eksempler der mur kan blandes inn i landskapet som kan motvirke den negative effekten og utnytte et potensial, ved for eksempel å bygge inn benker som gjør at man kan sitte langs kysten. Samlet sett vurderes den landskapsmessige påvirkningen av murverk å være negativ.

Utfylling i havet er en metode for å sikre lavtliggende områder bak kystlinjen. Det finnes store planer for utfyllinger i sjøen her (Figur 6-5). Utfylling er en trygg metode og scorer derfor høyt på målorienterte effekter. Den landskapsmessige påvirkningen er stor og negativ, men som med murverk vil det også være mulig å utnytte landskapets potensial. Samlet sett vurderes den samlede landskapsmessige påvirkningen å kunne bli positiv.

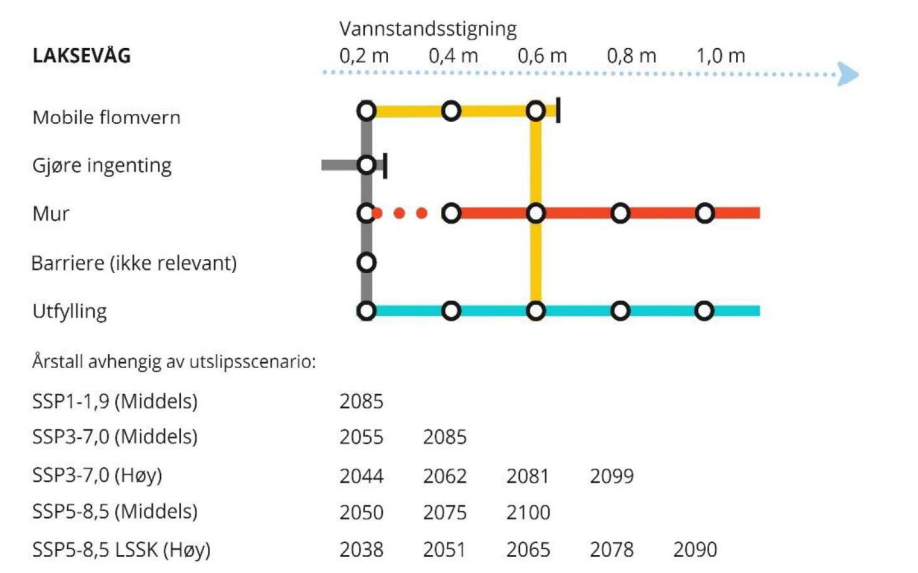
Sluser eller barrierer er ikke relevante eller mulige langs kyststrekningen i Laksevåg.

Basert på en helhetlig vurdering av ikke-prissatte virkninger, vurderes at mobile flomvern er best, etterfulgt av utfyllinger. De planene for de utfyllingene må integreres i en plan for helhetlig sikring av kystlinjen.

12.5 DAPP

DAPP Diagrammet nedenfor (Figur 12-9) viser de ulike sikringstiltakene og kombinasjonene av disse over tid for å beskytte Laksevåg mot oversvømmelse.

Den nåværende situasjonen er bare holdbart på kort sikt, og det vil være nødvendig å etablere mur eller mobile flomvern. Mobilt flomvern er effektivt opp til en havnivåstigning på ca. 0,6 meter. Basert på anbefalt utslippsscenario for kommunal planlegging (SSP 3-7.0, høy = øvre 83% utfallsrom), forventes dette å skje rundt 2081. Etter 2081 anbefales å skifte strategi fra mobile flomvern til mur. Utfyllingsplanene må integreres i planleggingen fra starten.



Figur 12-9:DAPP analyse

12.6 Samlet vurdering

Det er store planer om utfyllinger langs kystlinjen i Laksevåg. Disse omfattende planene (Figur 6-5) dekker en betydelig del av kystlinjen og bør integreres sømløst med eksisterende kyst. De resterende områdene som ikke blir beskyttet av disse utfyllingene, må sikres med mobile flomvern eller murverk. Hvis disse planene ikke fullføres, må det vurderes å installere mobile flomvern eller mur langs hele kystlinjen. På lang sikt vil mur gi den beste løsningen og kommer best ut av en samfunnsøkonomisk vurdering (Tabell 12-5).

Tabell 12-5: Samlet vurdering

	Mobile flomvern	Jekking	Mur	Utfylling	Barriere /sluser
Rangering basert på prissatte virkninger (Kap.12.4.3)	2	NA	1	NA	NA
Rangering basert på ikke-prissatte virkninger (Kap. 12.4.5)	1	NA	3	2	NA
Rangering	1	NA	3	2	NA
Annet	Det er en lang strekning og vil kreve stor arbeidskraft.	Ikke relevant	Stor sikkerhet for funksjon.	Relevant hvor mulig.	Ikke relevant
Samlet vurdering	Mest opplagt på kort sikt	Ikke relevant	Bør anvendes hvor mulig, hvor utfylling ikke er opplagt.	Bør anvendes hvor mulig, som alternativ til mur og mobile flomvern	Ikke relevant

13 Diskusjon

13.1 Fordeler og ulemper med de ulike tiltakene

Mobilt flomvern i kombinasjon med spunting er et av de tiltakene som kommer best ut på de fleste områdene. Mobilt flomvern har en relativ lav investeringskostnad, men det har en høy drift- og vedlikeholdskostnad. Drift- og vedlikeholdskostnaden øker i takt med hvor ofte vi må benytte oss av mobile flomvern for å sikre områdene. Om det er behov for å bruke mobilt flomvern flere ganger i året vil lønnsomheten til dette tiltaket forsvinne ved at drift og vedlikeholdskostnadene øker mer enn den samfunnsøkonomiske nytten som oppstår ved unngått skade.

Det vil også være vanskelig å sette ut mobilt flomvern på alle områder samtidig, da er man avhengig av store mengder arbeidskraft og god koordinering for å få det til i tide. Hvis alle delområdene blir vernet med mobile flomvern blir det en total lengde på 11,4 km (Tabell 13-1), som er trolig for lang strekning til å installere mobilt flomvern innen 1-2 dager i forkant av en stormflo.

Tabell 13-1: Lengde kystlinjen per delområde som trenger vern

	Lengde kystlinjen som trenger vern
Sandviken	4,0 km (Figur 7-7)
Vågen	0,7 km (Figur 8-7)
Dokken	1,5 km (Figur 9-7)
Damsgårdssundet	1,0 km (Figur 10-7)
Store Lungegårdsvannet	1,0 km (Figur 11-7)
Laksevåg	3,0 km (Figur 12-7)
Total	11,4 km

Mur er et annet tiltak som kommer godt ut på grunn av relativt lave investeringskostnader og lave drift og vedlikeholdskostnader. Ulempen med mur er at det vil resultere i en fasadeendring langs kystlinjen. Det er heller ikke alle steder dette er aktuelt som for eksempel ved Bryggen i Vågen. Det vil andre steder være et tiltak som fungerer godt, som langs Store Lungegårdsvannet vil man kunne ha god effekt av et slikt tiltak.

Jekking er et tiltak som er dyrt, og det vil måtte gjøres en vurdering i hvert enkelt hus/bygning. Tiltaket fungerer godt for det som blir jekket, men er såpass dyrt at det kun bør benyttes der det er ønsket om å ta vare på bygninger med kulturmiljø, som for eksempel Bryggen i Vågen.

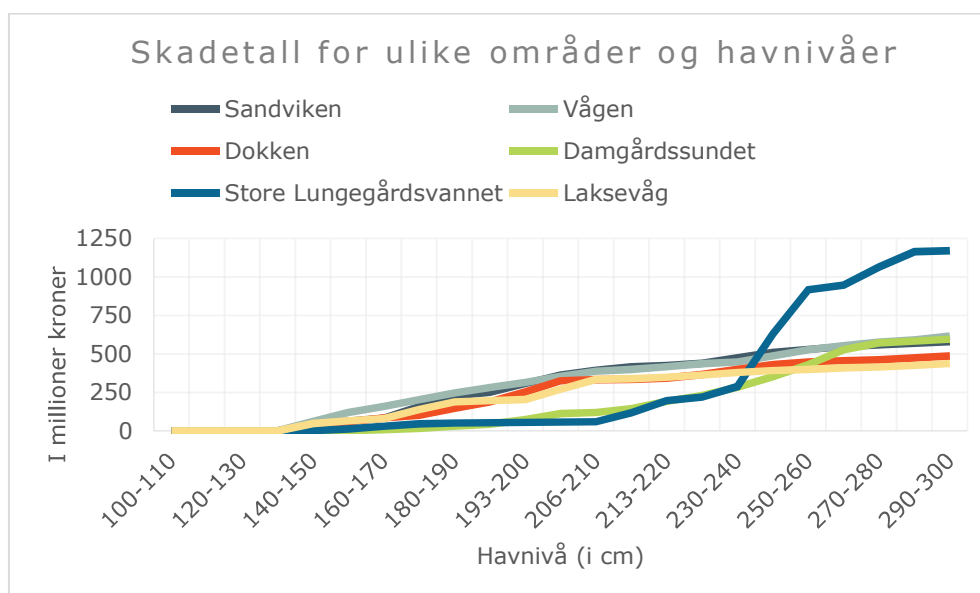
Bruken av sluser (i kombinasjon med en utfylling) som alternativ vil medføre utfordringer for havmiljøet på grunn av redusert vannutskiftning, samt svekke den maritime tilgangen til Bergen. Ved å velge en bredere barriere kan man unngå disse ulempene, men kostnadene vil øke betydelig. Dette tiltaket er svært effektivt, også ved høyere stormflonivåer. En stor ulempe er imidlertid at sluser/barrieren er meget kostbar sammenlignet med andre tiltak. Per i dag er ingen av de foreslåtte slusene samfunnsøkonomisk lønnsomme. Sluser er imidlertid det foretrukne alternativet på lang

sikt i Vågen, når havnivået har steget noen desimeter og mobile flomvern ikke lenger er effektive.

13.2 Samlet samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Det er knyttet stor usikkerhet til hvor raskt havnivået stiger, og hvor ofte vi vil oppleve ulike nivåer av stormflo. Den samfunnsøkonomiske analysen er gjort i dag, og vi ser 75 år fremover i tid.

Figur 13-1 viser at skadetallene øker mer jo høyere stormflonivå som oppstår. Desto raskere havnivået stiger, desto oftere vil gjentakelsesperioden være for de ulike stormflonivåene. Det er en del usikkerhet knyttet til den samfunnsøkonomiske analysen, bl.a. de forskjellige utslippsscenarioene.



Figur 13-1 Oversikt over skadetallene på de ulike delområdene ved ulike stormflonivåer gjennom hele analyseperioden fra 2025-2100.

Tabell 13-2 viser et sammendrag av kostnadene som ble presentert i hvert delområde. Utfylling av landområder er ikke med i den samfunnsøkonomiske vurderingen som er gjort i denne rapporten. Utfyllinger fra andre utbyggingsprosjekter kan imidlertid bidra til sikring mot oversvømmelse, og dette vil da være kostnadseffektivt sikringsmetode om det uansett er prosjekter som allerede skal bli gjennomført for å nå andre samfunns mål. Det er viktig at man utnytter utfyllingsprosjektene til å sikre de områdene bak kystlinjen, og på den måten vil utfylling gi synergieffekter i form av sikring.

Tabell 13-2: Oversikt over kostnader

Alle tall i millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking	Sluser
Sandviken				
Investeringskostnad	173	305	5625	
Reinvestering	31			
Vågen				
Investeringskostnad	30	53	2000	613
Reinvestering	5			
Dokken				
Investeringskostnad	65	114		
Reinvestering	12			
Damgårdssundet				
Investeringskostnad	45	79		610
Reinvestering	8			
Store Lungegårdsvannet				
Investeringskostnad	41	73		236
Reinvestering	7			
Laksevåg				
Investeringskostnad	131	231		
Reinvestering	23			

Vi ser at de aller fleste tiltakene ikke er samfunnsøkonomisk lønnsomme, men at dette kan endre seg basert på hvor raskt havnivået stiger siden dette igjen påvirker høyden på stormflohendelsene. I Tabell 13-3 kan vi se at isolert sett er det samfunnsøkonomisk lønnsomt med mobile flomvern i Vågen og Dokken, men å sette opp mobilt flomvern for begge disse områdene ved en hendelse kan være ressurskrevende. For Vågen fra rundt år 2060 og Dokken fra rundt år 2080 kan det være fornuftig å bytte tiltak da mobile flomvern vil være mindre effektivt med høye havnivåer. Det er derfor anbefalt (se DAPP analysene) å endre strategi til noe annet enn mobile flomvern på disse tidspunktene. Det er usikkerhet knyttet til drift og vedlikehold og valget av type mobilt flomvern, og dette må bli sett i sammenheng med hyppigheten av stormflohendelser når det blir valgt løsning.

Tabell 13-3 Sammenndrag av netto nytte per tiltak og område (i millioner kroner). Grønn indikerer positiv netto nytte og rød indikerer negativ netto nytte.

Netto nytte per område i millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking	Sluse
Sandviken	-144	-51	-4288	
Vågen	290		-1205	-404
Dokken	125	160		
Damsgårdssundet	-62	-86		-911
Store Lungegårdsvann	-45	-19		-306
Laksevåg	-32	33		

Tabell 13-4 viser et sammendrag av de ikke-prissatte virkningene når det ikke blir gjort tiltak.

Tabell 13-4: Sammendrag av de ikke-prissatte virkningene

	Sandviken	Vågen	Dokken	Dams- gård	Store Lunegård dsvann	Laksevåg
Virkning av kulturmiljø	Stor negativ	Meget stor negativ	Ubetydelig /ingen	Ubetydelig /ingen	Ubetydelig /ingen	Ubetydelig /ingen
Infrastruktur	Liten negativ	Liten negativ	Ubetydelig /ingen	Middels negativ	Meget stor negativ	Ubetydelig /ingen
Forsinkelser	Middels negativ	Stor negativ	Middels negativ	Ubetydelig /ingen	Meget stor negativ	Ubetydelig /ingen
Beredskap	Liten negativ	Middels negativ	Liten negativ	Liten negativ	Meget stor negativ	Ubetydelig /ingen

Dette er viktige konsekvenser av stormflohendelser som burde inngå i den totale vurderingen av hvilke tiltak som besluttes å jobbe videre med. Vi ser at det ved stormflohendelser vil være flere områder som kan få konsekvenser enten i form av skade, eller i form av forsinkelser i trafikken og redusert fremkommeligheten i Bergen.

13.2.1 Fordelingsvirkninger

Selv om den samfunnsøkonomiske analysen viser at tiltaket totalt sett er lønnsomt for samfunnet, kan enkelte grupper komme dårligere ut som følge av tiltaket. Ofte vil det være slik at det er noen grupper som vinner, og noen som taper på at et offentlig tiltak iverksettes. Hvordan nytte- og kostnadsvirkningene fordeler seg mellom ulike grupper i samfunnet, kalles fordelingsvirkninger. (DFØ, 2023)

Det vil være stor kostnad for de enkeltpersoner som blir rammet av oversvømmelser som konsekvens av høye havnivåer. Dette har vi blant annet sett i Nesbyen kommune etter flommen Hans i august 2023. Ett år etter flommen er det fremdeles 17 innbyggere som ikke kan flytte tilbake til hjemmene sine (Henning Rønhovde, 2024). Det vil være verdier som går tapt og påkjenning for de som blir berørt. Enkeltbedrifter og lokalt næringsliv kan også bli påvirket negativt ved at de for eksempel mister kunder i perioder eller får skader på næringseiendommen som tar tid å reparere.

Markedsprisene for enkelte eiendommer som blir oversvømt oftere og oftere vil også trolig synke. Dette vil også ha stor innvirkning på eierne av disse boligene, spesielt i perioder der markedsprisen for boliger ellers i samfunnet er økende. Dette kan også gi utslag på sosiale ulikhet ved at over tid på at de flomutsatte eiendommene vil bli solgt billigere, og da tiltrekke seg lavinntektsfamilier, enslige osv.

Tiltakene kan også begrense tilgangen til enkelte deler av byen og gjøre enkelte eiendommer mindre attraktiv enn det de er i dag.

13.3 Problemstillinger og avgrensinger

Hvis sluser vurderes videre, må man undersøke ferskvannstilførselen fra landsiden nærmere. Under stormflomhendelser, når slusen er lukket, fortsetter ferskvannet å strømme inn i det stengte områder fra elver og overvann. Dette fører til en økning i vannstanden på innsiden på grunn av ferskvannstilførselen. Det må vurderes om denne økningen i vannstanden vil utgjøre et flomproblem, eller om det er behov for ekstra tiltak, for eksempel å pumpe vann fra innsiden til havet rundt slusen. Det er lite sannsynlig at en stormflo vil sammenfalle med elve- eller overvannsflom, men dette må undersøkes nærmere.

I denne rapporten har ikke alle fremtidige planer i Bergen sentrum blitt vurdert. For områder som ligger lavt i dag og som skal reetableres, som for eksempel bygging av boliger på tidligere industriområder, kan det være aktuelt å bruke overskuddsmasser til å fylle opp og heve terrenget til et flomsikkert nivå. Dette vil gjøre områdene mer robuste mot fremtidig havnivåstigning, uten behov for ekstra tiltak som mur eller mobile flomvern.

GPS innmålinger av høyde av bygg har vært uvurderlig i beregning av oversvømt areal. Ikke alle bygninger har blitt målt inn, særlig de litt høyereliggende bygninger som ligger over 2,2m. Vår anbefaling er å gjøre dette for å ha et bedre grunnlag for videre vurderinger.

I denne rapporten har vi begrenset tidshorisonten til 2100. Tabell 2-1 viser også havnivåstigningstall for 2150 hvor det kommer frem at havnivået kommer til å stige videre i fremtiden etter all sannsynlighet. Det anbefales derfor å se nærmere på mer langsiktige løsninger.

Jekking kan være et aktuelt tiltak å vurdere for verdifulle trebygninger langs sjøkanten. Dette er for tiden et spesialisert fagfelt med få aktører. Hvis det i fremtiden blir økt behov for denne kompetansen på grunn av havnivåstigninger, er det mulig at flere entreprenører vil komme inn på markedet, og erfaring og kompetanse vil øke, noe som kan føre til lavere priser. Det anbefales å gjøre grundigere vurderinger av prissettingen av jekking i de økonomiske vurderingene.

Ved høyere havnivåer vil mobilt flomvern sannsynligvis slutte å være effektivt. Det kan fungere som permanente flomvern når havnivået blir for høyt, men det er også en risiko for at det kan svikte helt på et tidspunkt. Det forventes at de fleste områder vil oppleve redusert effektivitet av mobile flomvern mot slutten av analyseperioden, rundt år 2080. Imidlertid er det høy usikkerhet knyttet til både tidspunktet for når de slutter å være effektive og havnivået vi vil ha på den tiden. Denne usikkerheten er ikke inkludert i den samfunnsøkonomiske vurderingen, men det henvises til DAPP-analysen for informasjon om tidspunktet når mobile flomvern anbefales å bli erstattet av andre tiltak.

13.4 Utarbeiding av tiltak i planlegging

Per i dag kan kommunen stille krav til oversvømmelsesrisiko når det gjelder nye bygg, i henhold til TEK17 §7.2. Hver ny bygning må være trygt plassert med tanke på stormflo og havnivåstigning, og hver eier er ansvarlig for sin eiendom. De tiltakene som er anbefalt i denne rapporten gjelder for eksisterende bygg der disse kravene ikke gjelder.

Kommunen har for øyeblikket ikke direkte myndighet til å pålegge de tiltakene som blir anbefalt i rapporten. Dette må løses gjennom diskusjon med huseierne, eller endring i regelverket.

Et annet viktig hensyn er ansvarsfordeling. Når et tiltak skal beskytte flere bygninger, må man nøye vurdere hvem som har ansvaret for kostnader, drift og vedlikehold, samt hvem som skal bære ansvaret for eventuelle skader dersom tiltaket ikke fungerer som tiltenkt.

14 Anbefalinger

Sandviken: Sandviken er en kystlinje som har mange bygninger som er utsatt for oversvømmelse. Mange kulturminneverdige bygninger ligger direkte ved sjøkanten. Vår anbefaling er å iverksette tre tiltak samtidig. Deler av området kan bli beskyttet med mobile flomvern, mens andre deler bør sikres med mur. Bygningene som ligger direkte ved sjøkanten kan heves. Det er viktig å begrense bruken av mobile flomvern på grunn av behovet for innsats andre steder. I den neste fasen bør man vurdere hvilke tiltak som passer best for hvilke bygninger.

Vågen: En stor del av området rundt Bryggen, Torget og C. Sundtgate er utsatt for havnivåstigning. I de første årene kan området rundt Bryggen og Torget beskyttes med mobile flomvern. På grunn av verdensarvområdet er permanente mur eller terrengtilpasning ikke egnet. På sørsiden av Vågen er det et komplekst område med moderne bygninger som ligger direkte ved vannet. På lang sikt, når havnivået øker, vil en sluse/barriereløsning være den eneste effektive måten å beskytte Vågen på. Selv om dette ikke er samfunnsøkonomisk lønnsomt frem mot år 2100, kan det beskytte verdensarvområdet på best mulig måte. Valg av sluse/barrieretype må bli vurdert nærmere.

Dokken: Det er flere bygninger langs Dokken som er utsatt for oversvømmelse. Noen av de eldre bygningene kan heves (for eksempel Nøstegaten og Nordnesbodene). Deretter bør det bli vurdert bruk av mobile flomvern og mur som tiltak. Bruken av mobile flomvern bør begrenses mest mulig på grunn av innsatsen som kreves under en hendelse med høyt havnivå. Det er planer for utvikling av Dokken, om dette blir gjennomført vil fyllingene bidra til å beskytte eksisterende kystlinje. Videre planlegging for å forebygge havnivåstigning må integreres i den videre planleggingen av Dokken-bydelen.

Damsgårdssundet: På nordsiden av Damsgårdssundet er det flere bygninger som er utsatt for fremtidig stormflo og havnivåstigning. Dette kan løses ved bruk av mobile flomvern eller mur. Mur er sannsynligvis det mest hensiktsmessige valget, da bruk av mobile flomvern krever mye innsats og bør begrenses mest mulig. En mur kan tilpasses landskapet. En sluse i Damsgårdssundet kan beskytte området bak, inkludert Store Lungegårdsvannet. Ved første øyekast ser det ut til at oversvømming i Damsgårdssundet og området bak kan løses relativt enkelt med mur, og at en sluse her er mindre egnet.

Store Lungegårdsvannet: Det er flere bygninger langs Store Lungegårdsvannet som er utsatt for fremtidig havnivåstigning og stormflo. Det er et lavtliggende område rundt ADO og brannstasjonen som må sikres. Når havnivået stiger ytterligere, kan potensielt hele området mellom Store og Lille Lungegårdsvannet bli oversvømt. Dette området kan sikres med enten mobile flomvern eller en mur på nordsiden av Store Lungegårdsvannet. Videre er området rundt Møllendalselven utsatt. Dette området kan også beskyttes med mobile flomvern eller en mur. Bruken av mobile flomvern bør begrenses på grunn av innsatsen som kreves under en hendelse. En annen mulighet er å bygge en sluse under Nygårdsbruen, men dette er en dyrere løsning. Mur som kan tilpasses landskapet virker derfor som det mest hensiktsmessige tiltaket.

Laksevåg: Mange bygninger langs kystlinjen i Laksevåg er utsatt for havnivåstigning og stormflo. Det meste av området er industriområdet. Det er planer om store utfyllinger langs kystlinjen, og disse planene bør integreres i håndteringen av oversvømmelsesrisiko

for å beskytte den eksisterende kystlinjen. Resten av området kan sikres med enten mobile flomvern eller mur. Bruken av mobile flomvern bør begrenses mest mulig, og derfor er mur som kan tilpasses landskapet mer egnet.

14.1 Forslag til videre arbeid

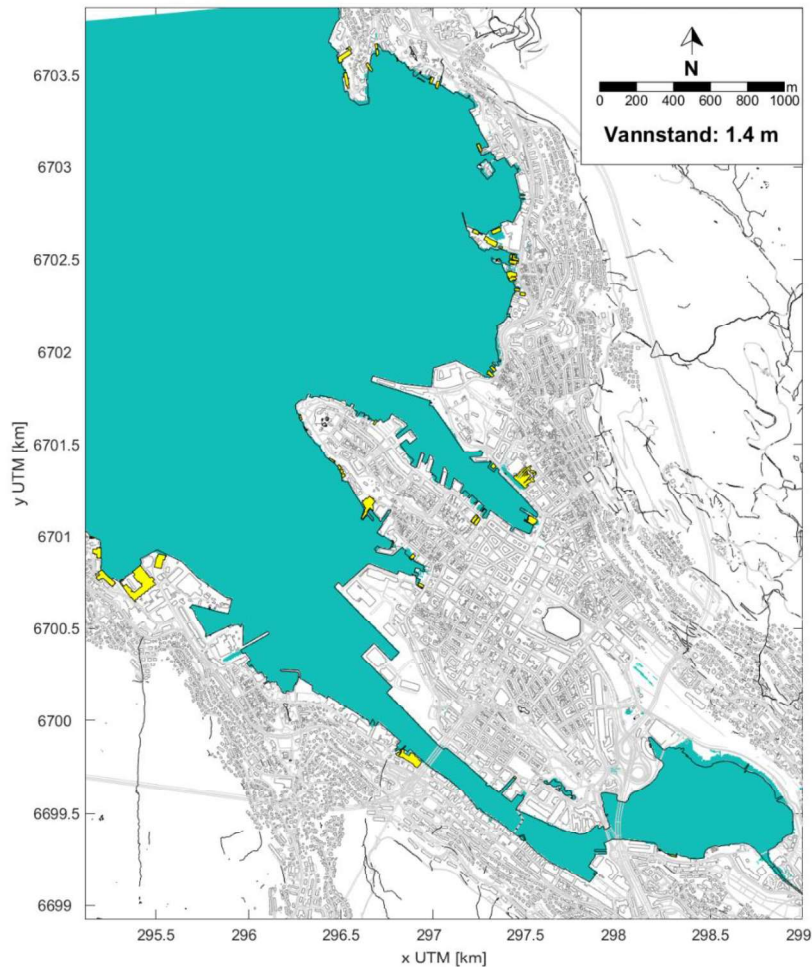
Følgende videre arbeid anbefales i nærmere fremtid.

- > Det må begynne med arbeid for en mer detaljert utredning per delområde.
- > Det anbefales å utrede ulike løsninger for sluser i Vågen. Ifølge Figur 8-9 har vi mindre enn 40 år før en slik løsning bør være på plass. Mobile flomvern anbefales ikke etter 2062 ved det anbefalte klimautslippsscenario for kommunal planlegging.
- > Gjøre mer detaljerte kostnadsberegninger. Blant annet drift- og vedlikehold for mobile flomvern.
- > Samfunnsøkonomisk lønnsomhet av kombinasjoner av tiltak kan vurderes videre.

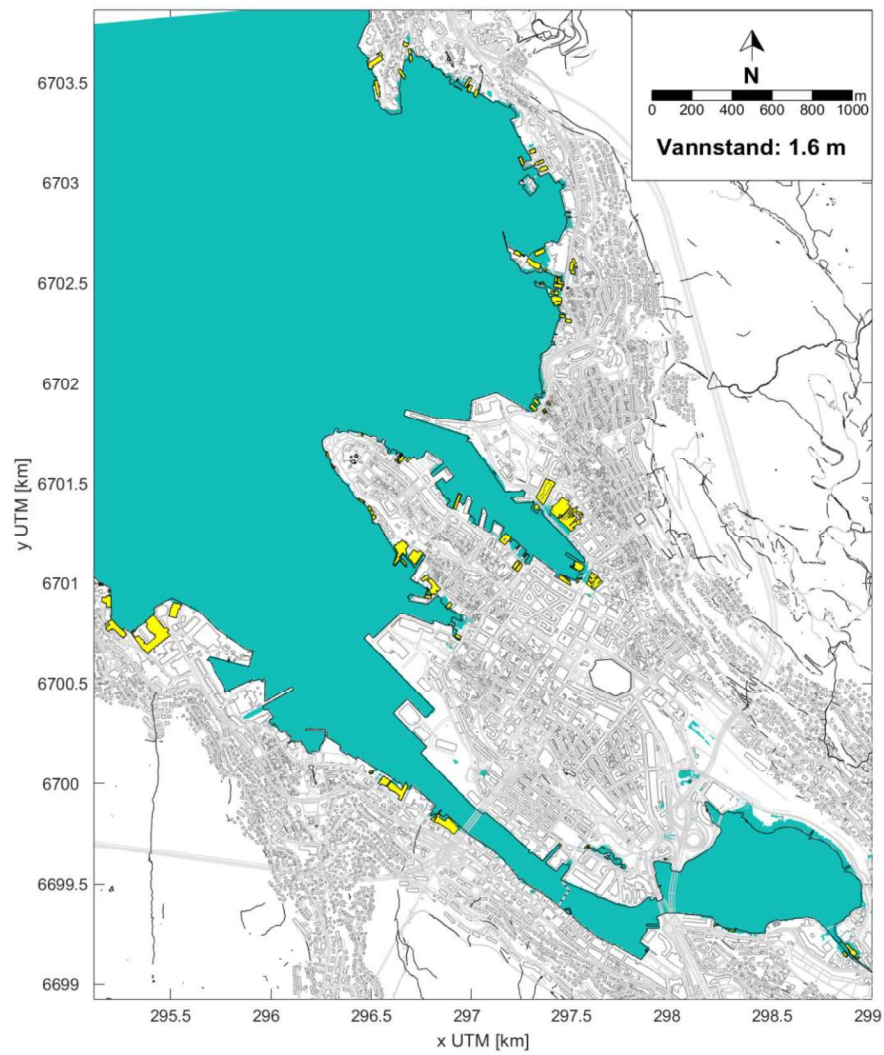
15 Referanser

- Arkitema. (2021). *Morgendagens Dragør. Klimarobust Kystkommune. Udviklingsplan*.
Dragør: Dragør Kommune.
- COWI. (2017, april). Opdateret overslag for sikring af Københvan mod stormflod.
Københavns Kommune .
- COWI. (2023). *Modellering av vannutskiftning i Puddefjorden*.
- Deltares. (2018). *Overview storm surge barrierers*.
- DFØ. (2023). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*.
- DFØ. (2023). *Veileder til utredningsinstruksen*.
- DSB. (2024). *Havnivåstigning og høye vannstander i samfunnsplanlegging*.
- Finansdepartementet. (2012). *NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser*.
- Finansdepartementet. (2021). *Rundskriv R-109 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser*.
- Gjevik, B. (2009). *Flo og fjære langs kysten av Norge og Svalbard*.
- Grieg Foundation, Visjon Vest og GC Rieber Fondene. (2009). *Reginal Havstigning Prosjektrapport*. Bergen.
- Henning Rønhovde, F. S. (2024, 8 7). *nrk.no*. Hentet fra
https://www.nrk.no/buskerud/ett-ar-etter-ekstremvaeret-_hans__-flomofre-pa-nesbyen-bor-fremdeles-i-kofferten-1.16993094
- Klima-og miljødepartementet. (2023). *Meld. St. 26 (2022-2023)*.
- NASK. (2024). *Norsk naturskadepool. Oversikt stormfloskader i Hordaland*. Hentet fra
nask.finansnorge.no. Mars 2024.
- NCCS. (2024). *Sea-level rise and extremes in Norway: Observations and projections base don IPCC AR6*. . Norsk klimaservicesenter, report 1/2024.
- Norconsult/Asplan Viak. (2019). BT5 - Stormflo og havnivåstigning. Oppdatering av stormflotallene. Bybanen til Åsane. Reguleringsplan med teknisk forprosjekt.
- Nordhaus, W. (2011). *The University of Chicago Press Journals* . Hentet fra
<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/reep/rer004>
- Richter, K., Nilsen, J., & Drange, H. (2012). Contributions to sea level variability along the Norwegian Coast for 1960-2010. *Journal of Geophysical Research* 117, C05038,
<https://doi.org/10.1029/2011JC007826>, 117(C05038).
doi:<https://doi.org/10.1029/2011JC007826>
- Riksantikvaren. (2024, 5 16). Hentet fra
<https://riksantikvaren.no/fredninger/sandviksbodene-i-bergen/#close%20title=:https://riksantikvaren.no/fredninger/sandviksbodene-i-bergen/#close%20title=>
- Shoreline management guide. (2004). *Living with coastal erosion Europe: sediment and space for sustainability. A guide to coastal erosion management practices in Europe*.
- Statens vegvesen. (2024). *N200 Vegbygging*.
- Stormrådet. (2017, august). Bodil skader dec 13 region og kommune. Stormrådet.
- TU. (2023). *Teknisk ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/damsgards-og-nygardstunnelene-skal-oppgraderes-hver-for-seg/525253>

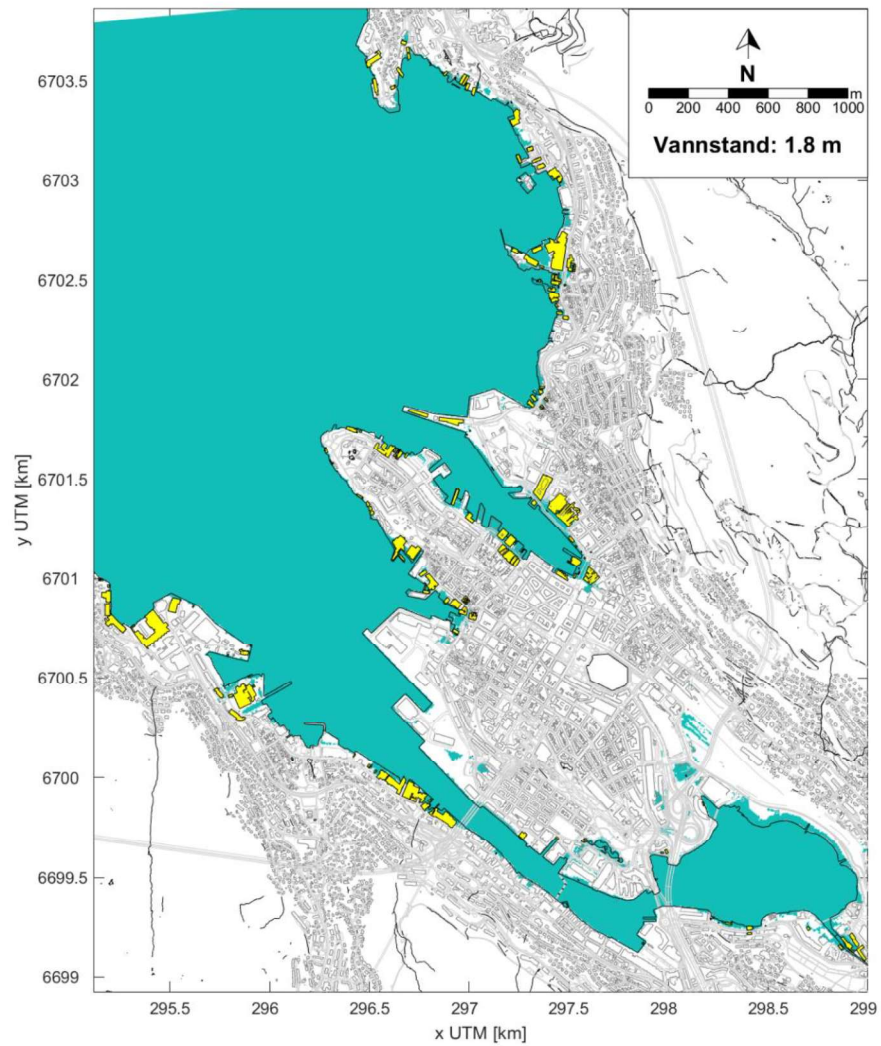
16 Vedlegg A: Oversvømmelseskart



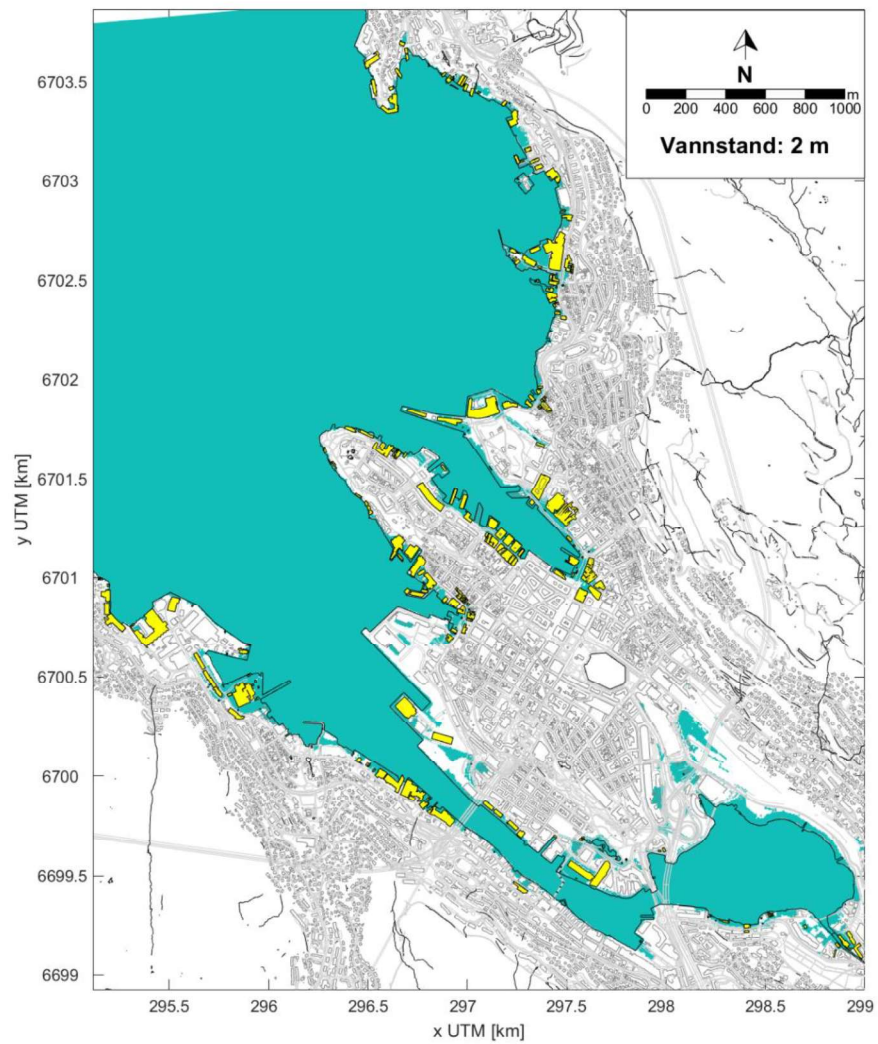
Figur 16-1 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 1,4m NN2000 (gul markert).



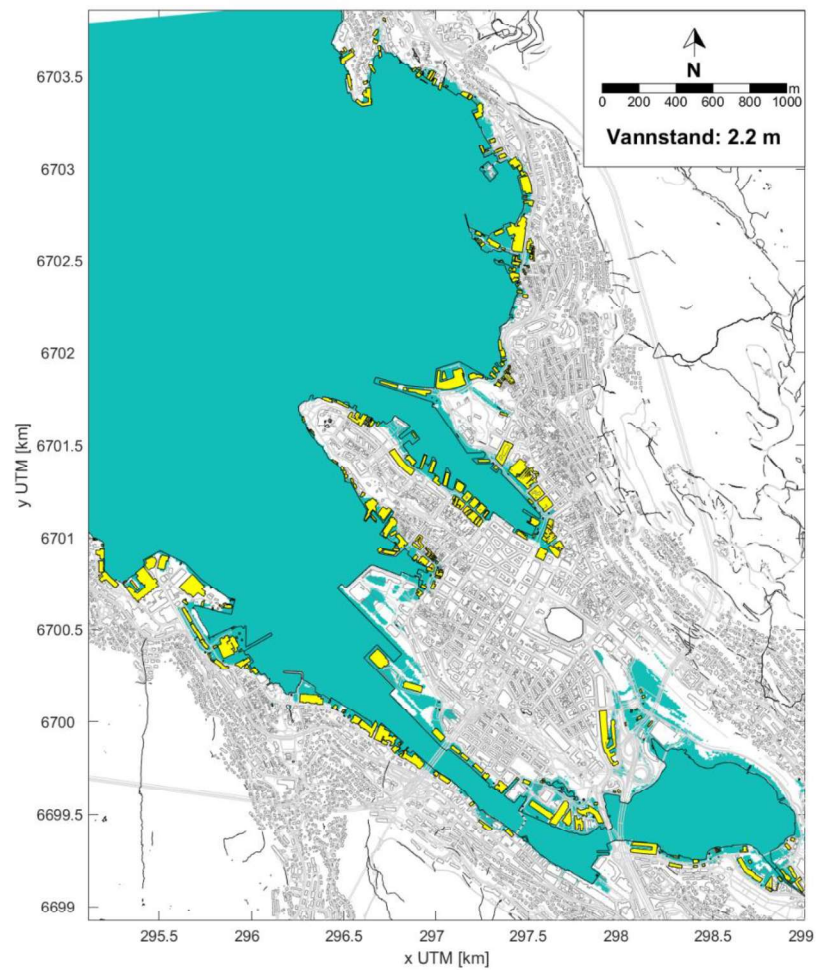
Figur 16-2 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 1,6m NN2000 (gul markert).



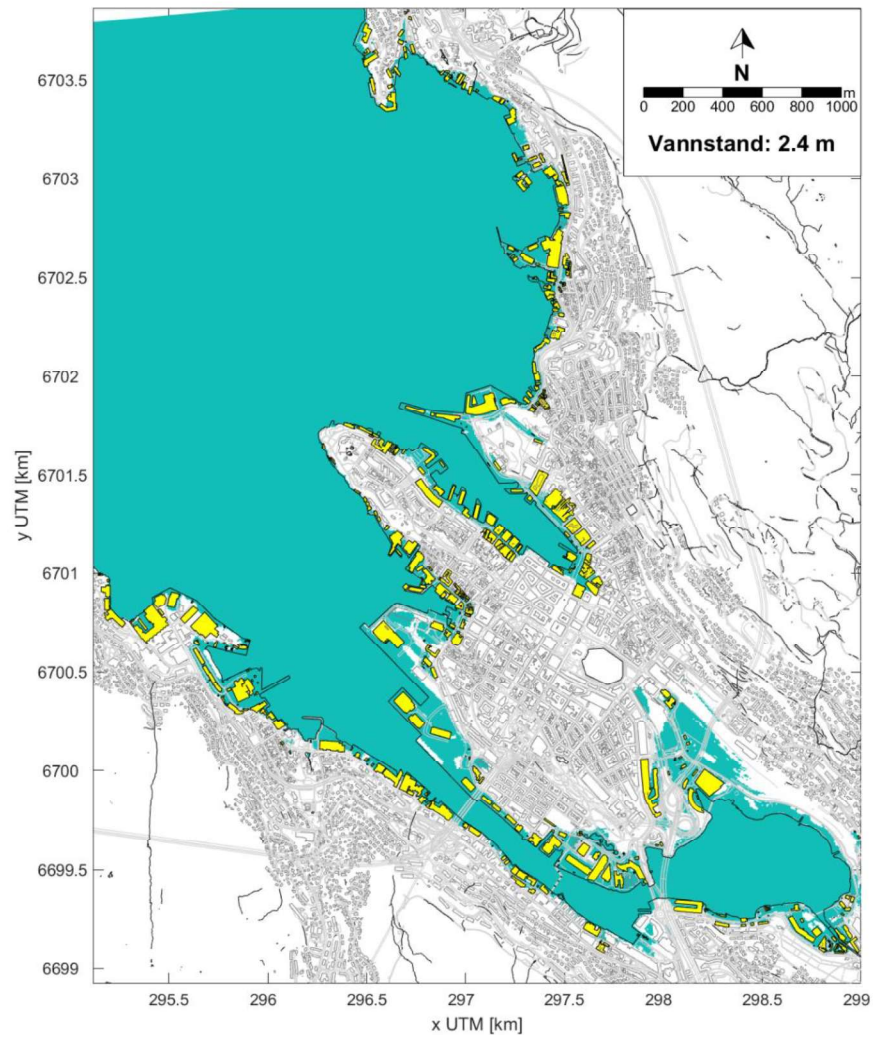
Figur 16-3 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 1,8m NN2000 (gul markert).



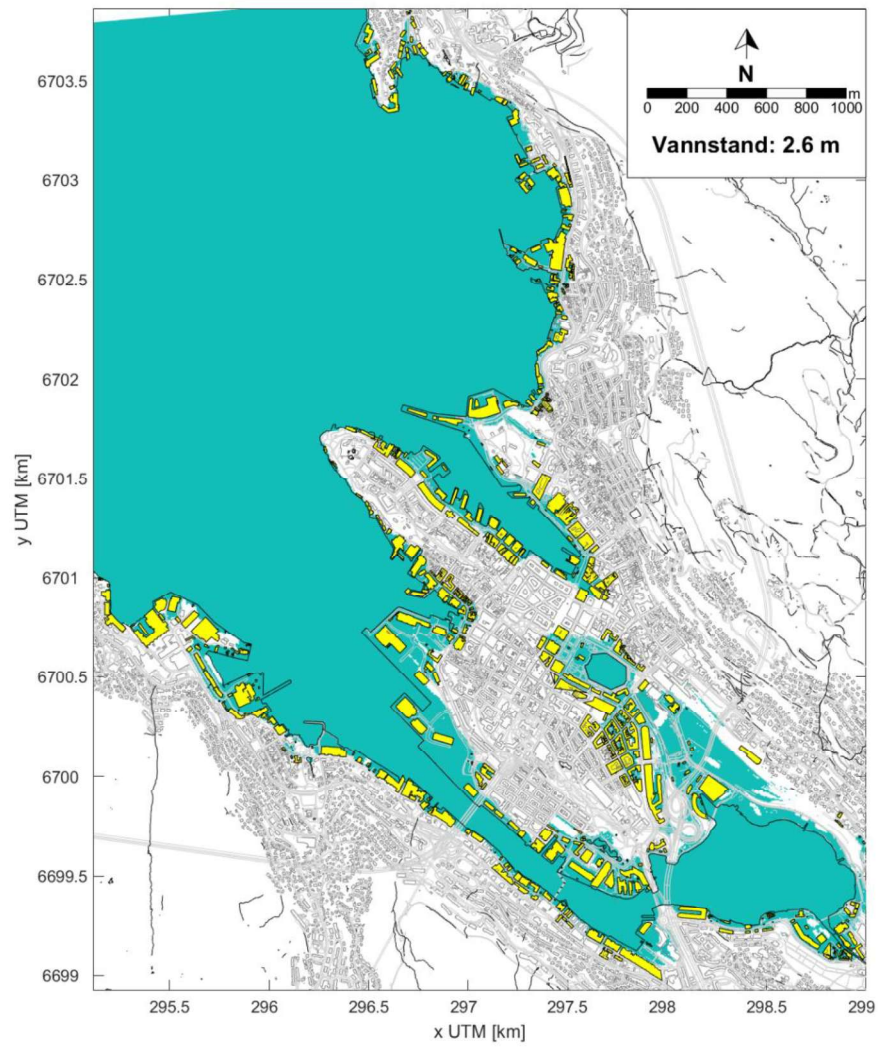
Figur 16-4 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 2,0m NN2000 (gul markert).



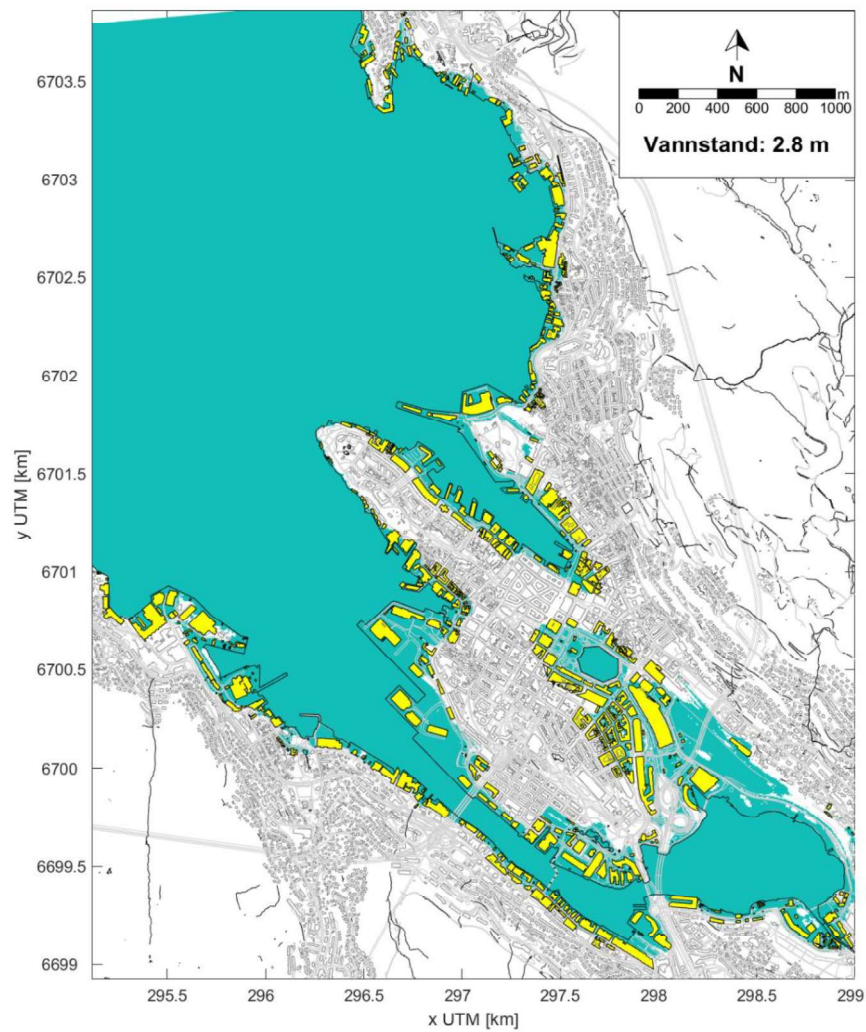
Figur 16-5 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 2,2m NN2000 (gul markert).



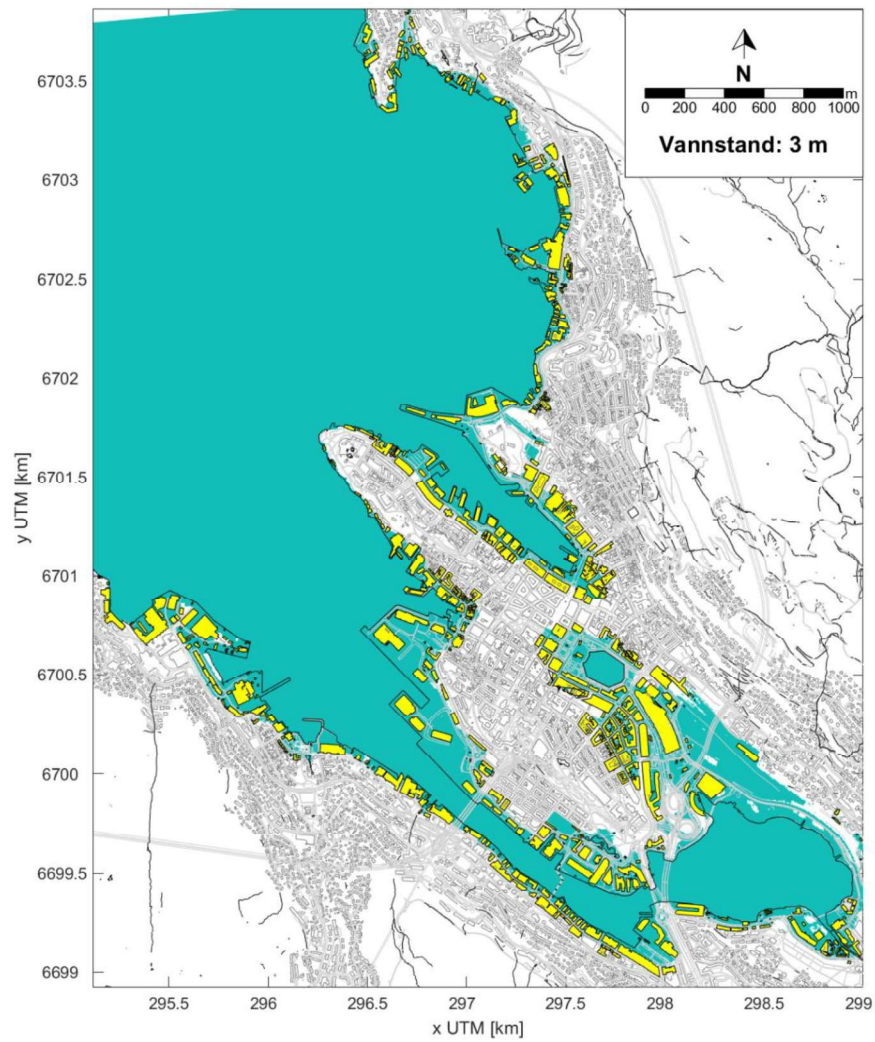
Figur 16-6 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 2,4m NN2000 (gul markert).



Figur 16-7 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 2,6m NN2000 (gul markert).

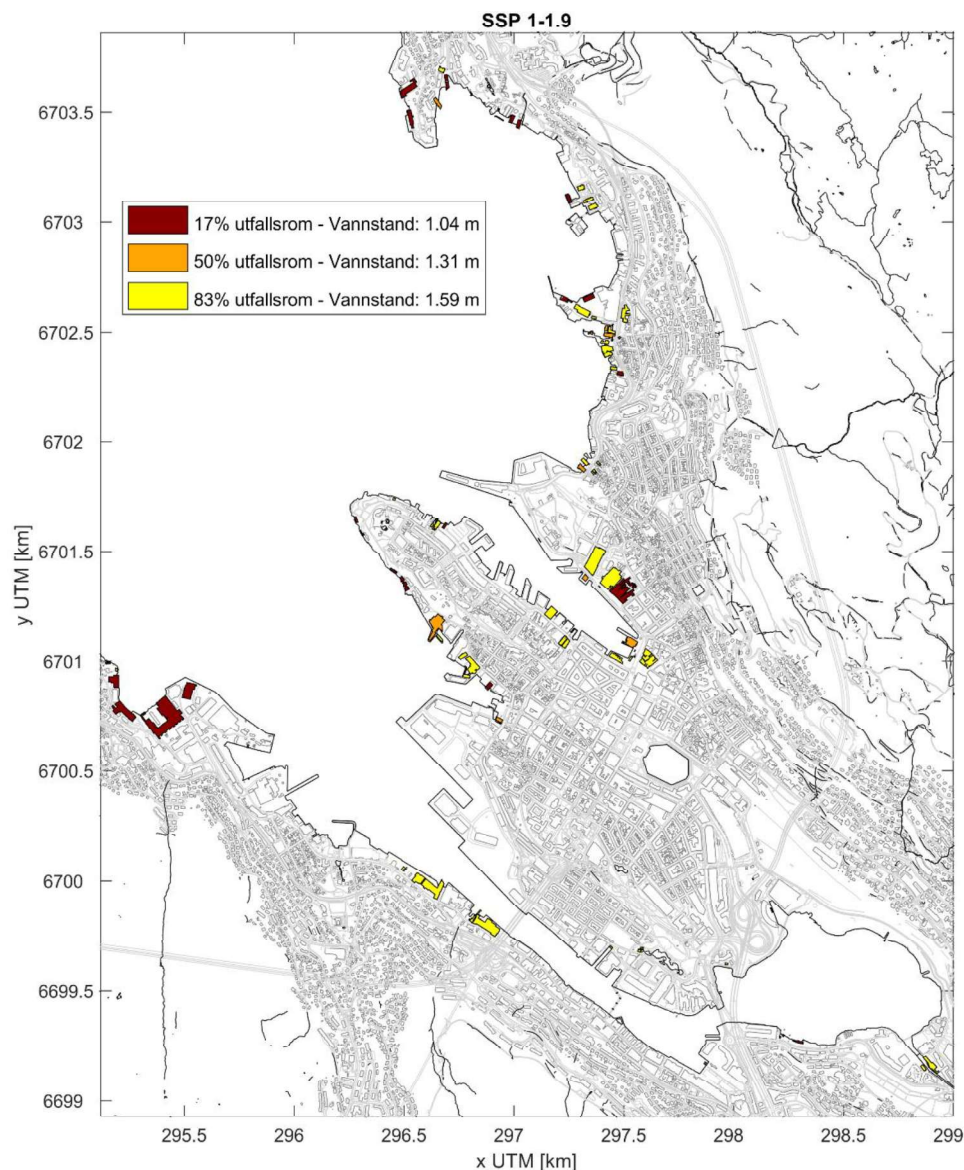


Figur 16-8 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 2,8m NN2000 (gul markert).

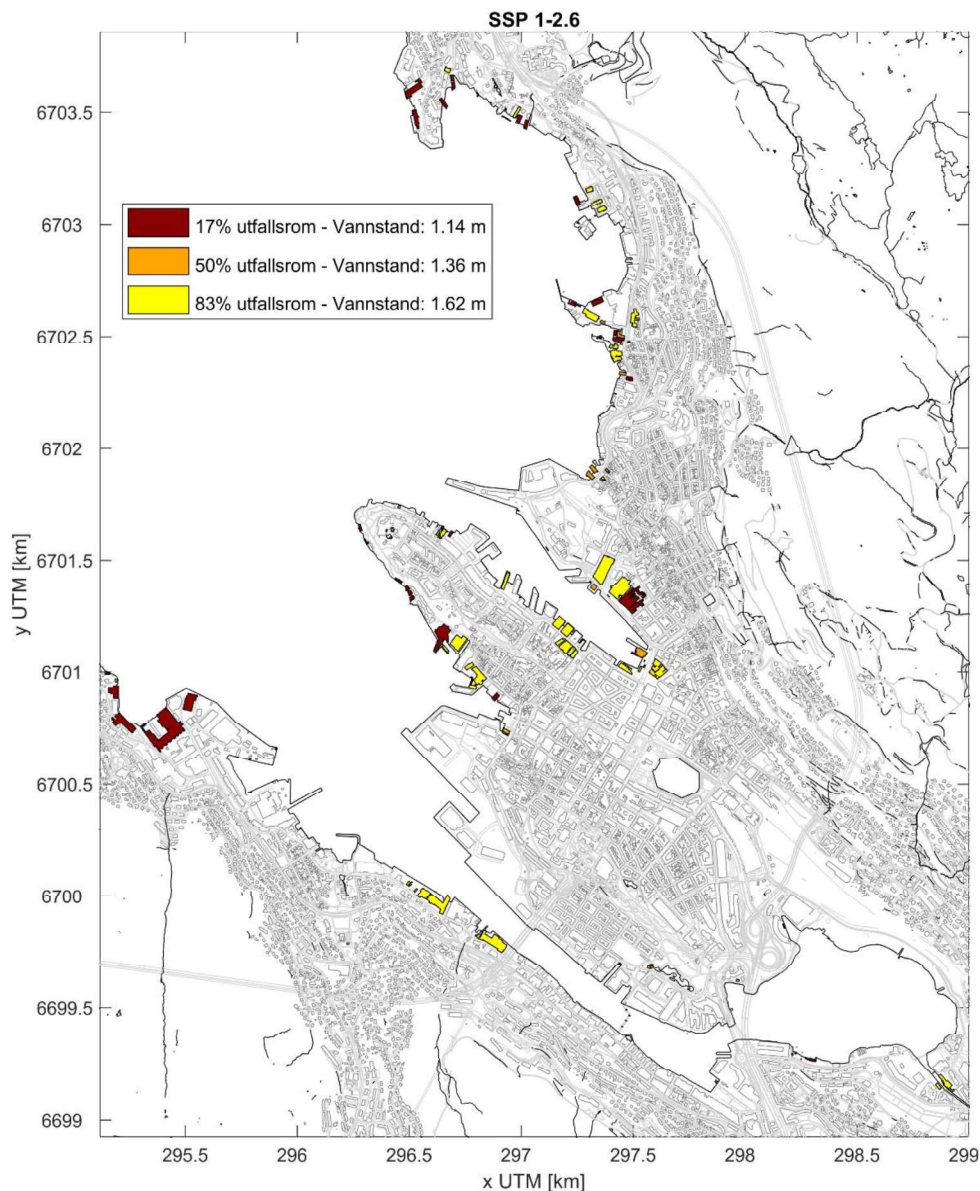


Figur 16-9 Bygninger som blir oversvømt ved vannstand på 3,0m NN2000 (gul markert).

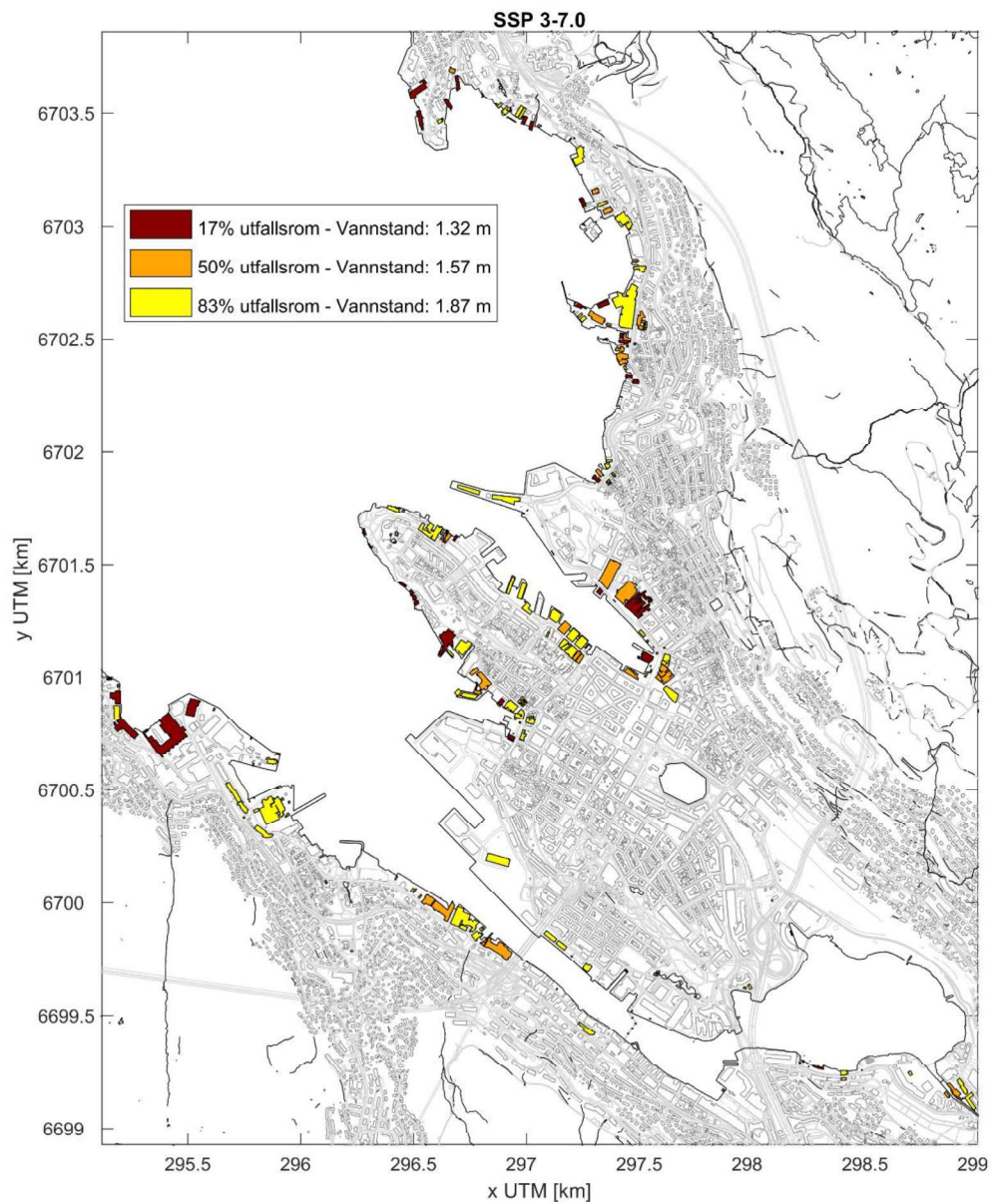
17 Vedlegg B: Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang i året per utslippsscenario



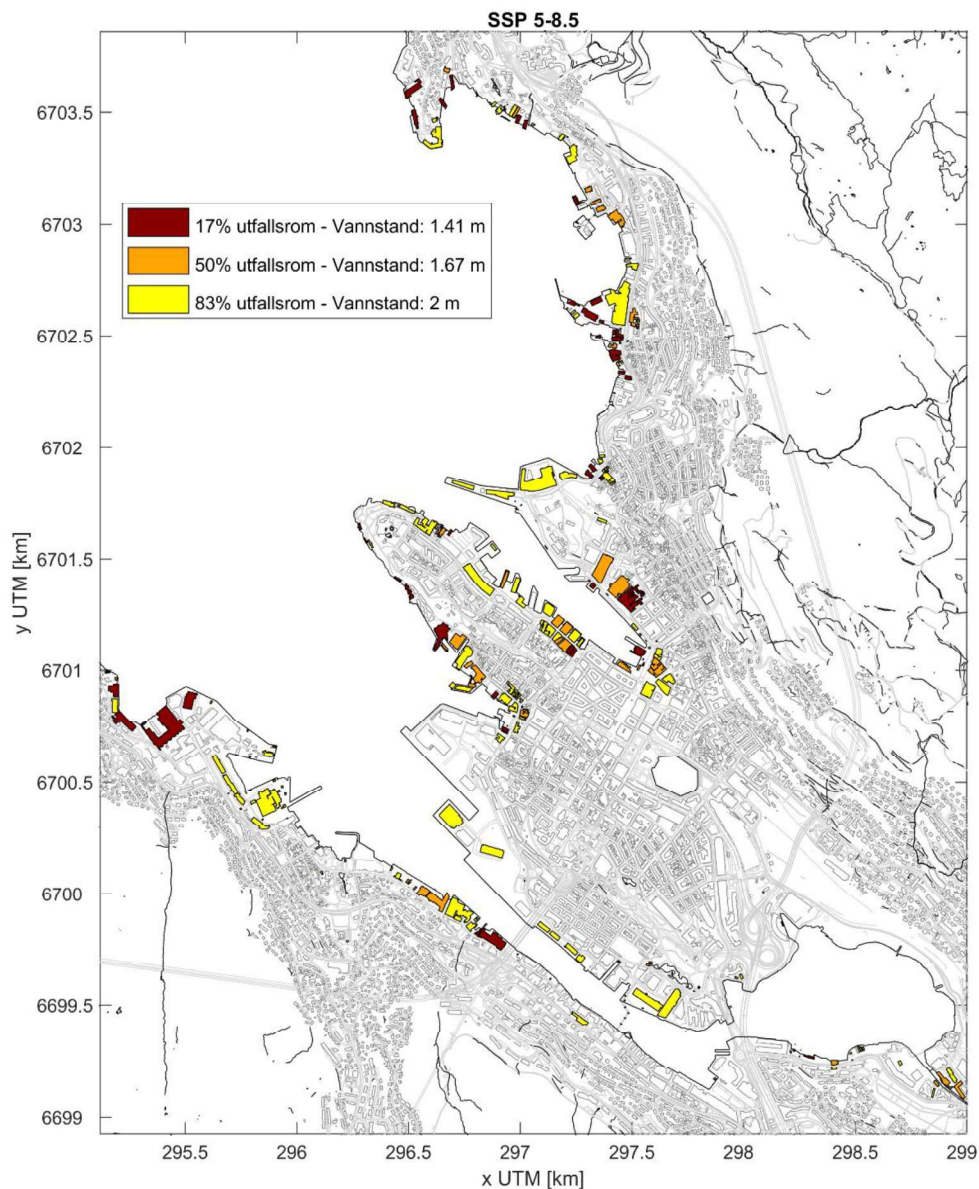
Figur 17-1 Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslippsscenario SSP 1-1.9. Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang i året i 2100 ved klimautslippsscenario SSP 1-1.9. Røde indikerte bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%); oransje ved median utfallsrom (50%); og gul ved høyt utfallsrom (83%).



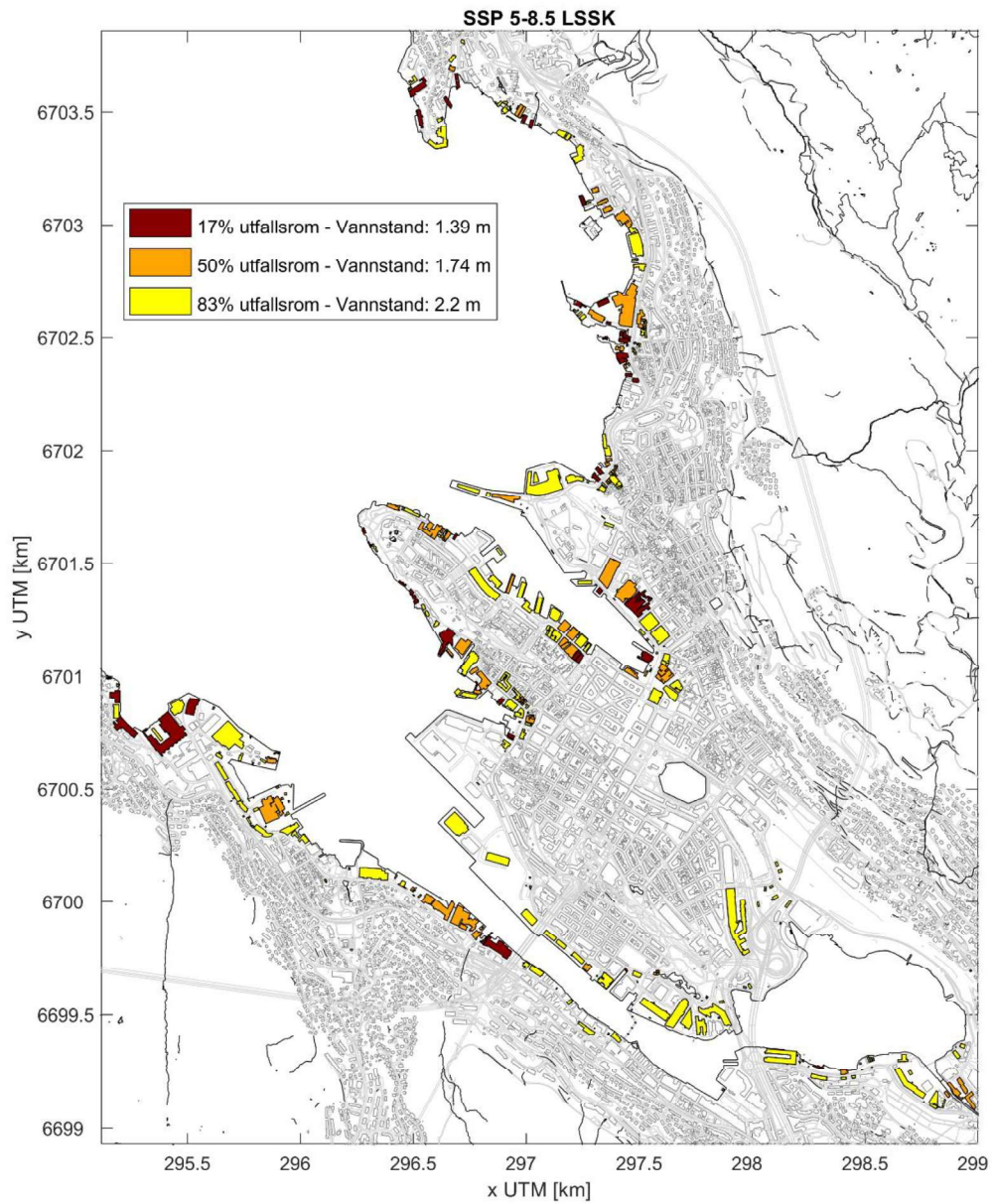
Figur 17-2: Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslipsscenario SSP 1-2.6. Røde indikerte bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%); oransje ved median utfallsrom (50%); og gul ved høyt utfallsrom (83%).



Figur 17-3 Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslipsscenario SSP3-7.0. Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang i året i 2100 ved klimautslipsscenario SSP 3-7.0. Røde indikerte bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%); oransje ved median utfallsrom (50%); og gul ved høyt utfallsrom (83%).



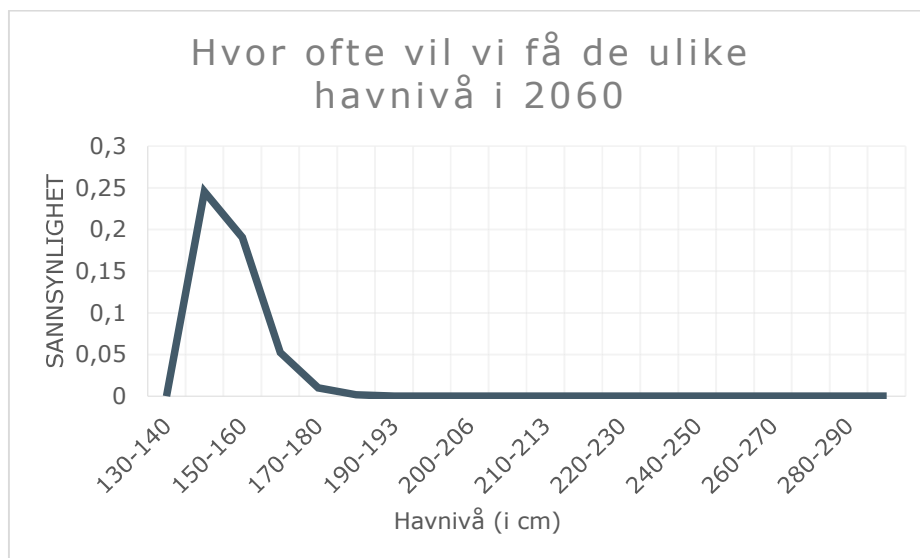
Figur 17-4 Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslipsscenario SSP 5-8.5. Rødt indikerer bygninger som blir oversvømt ved lavt utfallsrom (17%); oransje ved median utfallsrom (50%); og gul ved høyt utfallsrom (83%). Disse bygningene anses som tapt i et samfunnsøkonomisk perspektiv, siden det er ikke lønnsomt å fikse skaden.



Figur 17-5 Bygninger som blir oversvømt oftere enn en gang annethvert år i 2100 ved klimautslipsscenario SSP 5-8.5 LSSK. Røde indikerte bygninger blir allerede oversvømt ved lavt utfallsrom (17%); oransje ved median utfallsrom (50%); og gul ved høyt utfallsrom (83%).

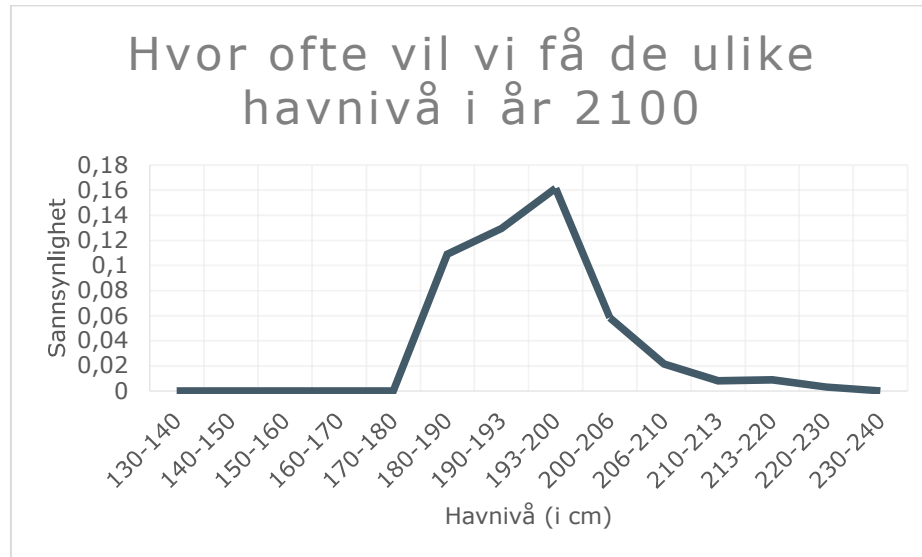
18 Vedlegg C: Sannsynligheten for ulike havnivå

Figur 18-1 viser sannsynligheten for de ulike vannstandene i år 2060 som et eksempel. Det vil være 25% sannsynlig å få et havnivå på 140-150 cm og 5% sannsynlig for å få et havnivå på 160-170 cm. Havnivå på over 190 cm er lite sannsynlig i modellen.



Figur 18-1 Sannsynligheten for en de ulike havnivåene i 2060. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.

Figur 18-2 viser den modellerte sannsynligheten for at vi får et gitt havnivå i 2100. Som vi kan se er sannsynligheten satt til null for de laveste vannstandene (opp til 170 cm) da disse i modellen blir oversvømt oftere enn annethvert år.



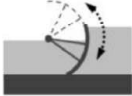
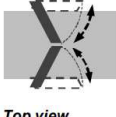
Figur 18-2 Sannsynligheten for en stormflohendelse i år 2100. For utslippsscenario SSP3-7.0 med 83-persentilen som sannsynlig utfall.⁹

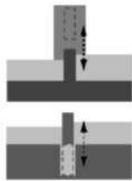
⁹ Det er noe variasjon i kurven som kan bli forklart av at vi har ulike vannstandsintervaller for sikkerhetsklassene

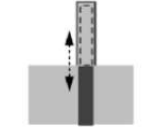
19 Vedlegg D: Ulike typer stormflobarrierer

Hentet fra (Deltares, 2018)

Table 2.1 Overview advantages and disadvantages of each type of barrier

Type of barrier	Schematic	Main advantages	Main disadvantages
Sector gate – vertical axis	 <i>Top view</i>	- requires relatively light operating mechanisms; - movable under water pressure; - when open, gates do not obstruct the natural waterway characteristics; - can support head difference in both directions if designed for it.	- typically associated with high costs; - vulnerable pivoting points; - large construction area required for the gate chambers.
Sector gate – horizontal axis	 <i>Cross-section</i>	- light operating mechanisms; - can be used for flow regulation; - both overflow and underflow possible; - can support head difference in both directions if designed for it; - facilitates inspection and maintenance if possible to rotate to a position above the water column.	- considerable forces on the pivoting points; - sensitivity to waste and silt; - limits clearance when rotated upwards; - possibility of vibrations when gate is near closed position.
Mitre gate	 <i>Top view</i>	- economic use of materials since required thickness is typically small; - shallow gate recesses; - simple operating mechanism; - when open, gates do not obstruct the natural waterway characteristics.	- risk of blockage by waste, debris and ice; - sensitive to differential ground settlement; - support water level difference in one direction only; - possibility of opening by vessel collapse against the gate.

Swinging gate	 <i>Top view</i>	- unlimited clearance for navigation; - shallow gate recesses; - can support head difference in both directions if designed for it; - suitable for narrow width passages.	- high risk of blockage by waste, debris and ice; - heavy operating mechanism.
Vertical lift gate	 <i>Cross-section</i>	- can support head difference in both directions; - good inspection and maintenance possibilities for gates held vertically above water; - little sensitivity to waste and ice; - suitable for areas with limited building space; - unlimited clearance for the gates stored underwater. - preventing corrosion as oxygen cannot reach the gate when it is stored under water	- operating mechanism; - costly support towers; - clearance for navigation can be an issue for the gates held above water; - for the drop gates (stored underwater), accessibility for inspection and maintenance, and sensitivity to waste and silt can be a problem; - strong geotechnical foundation is required for the gates stored underwater.

Rotary segment gate	 <i>Cross-section</i>	- large torsion stiffness, allows mechanisms in one side of the gate; - light operating mechanisms; - when open, gates do not obstruct the natural waterway characteristics; - can support head difference in both directions if designed for it; - facilitates inspection and maintenance when rotated above water; - not visible when open.	- considerable forces on the pivoting points; - sensitivity to waste and silt; - possibility of vibrations when gate is near closed position.
Inflatable tube	 <i>Cross-section</i>	- less required maintenance (no corrosion); - limited disturbance of the waterway; - light weight; - not visible when open.	- limited experience with this type of gate; - shorter service life (rubber); - susceptible to abrasion.
Flap gate	 <i>Cross-section</i>	- not visible when open - forces are transmitted to the bottom of the waterway (stability); - simple civil work.	- sensitive to vibrations; - corrosion risk in underwater hinges; accessibility issues. - sensitive to sediment transport (abrasion), waste and silt; - danger if not enough clearance for shipping;
Rolling gate	 <i>Top view</i>	- can support head difference in both directions; - light operating mechanism; - suitable for large waterway openings;	- large construction area required for the gate chamber; - expensive gate guiding system; - risk of accumulation of waste and silt in the sills - sliding gates (lighter), might be sensitive to waves.

20 Vedlegg E Vurdering av ikke-prissatte konsekvenser

20.1 Sandviken

Tabell 20-1 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Påvirkning på kulturmiljø	Mange bygninger som blir berørt. Særsilt vil Sandviksbodene (Riksantikvaren, 2024) påvirkes som er et sett med sjøboder i fire grupper og totalt 12 sjøboder.	Trehusbebyggelsen i Sandviken anses å ha stor kulturminneverdi, og flere av husene kan dateres til et sted mellom 1672 og 1892.	Stor negativ
Påvirkning på veinettet	Veien som blir liggende under vann i gjeldende scenario har en lengde på ca. 400 meter og en bredde på ca. 10 meter.	Lav sannsynlighet for at veien forsvinner, men veldig kostbart om vannet finner egne kanaler som gjør at veien forsvinner.	Liten negativ
Konsekvenser for trafikanter som følge av oversvømte veier	9000 ÅDT (årlig døgn biltrafikk) i tillegg kommer syklende, gående og andre brukere av veien. Veien blir også brukt til kollektivtrafikk som ikke fanges opp i årsdøgntrafikk.	Det finnes omkjøringsmuligheter i dette området. Men i området B i fFigur 7-3 vil det oppstå problemer.	Middels negativ
Beredskapsproblemer	Sandviken er et område med relativt tett bebyggelse og trange gater. Når hovedveien blir oversvømt vil det føre til mer trafikk på sidegatenettverket.	Tre steder blir oversvømt. Det vil resultere i mer trafikk på mindre og trange veier, og noe omkjøring. Dette vil kunne skape noe større problemer for beredskap. Stormflo er ofte kortvarig, og vannstanden vil gå tilbake.	Liten negativ

20.2 Vågen

Tabell 20-2 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Påvirkning på kulturmiljø	Vågen har en rekke bygg som har høy kulturminneverdi, og «Bryggen i Bergen» står oppført på UNESCOs verdensarvliste. I tillegg er det flere bygg og historiske steder, og området er vernet.	Bryggen i Bergen er viktig for kulturmiljøen til Bergen, og vil ha stor enhetsverdi da man ikke kan akseptere skader på bygningsmassen. Havnivå som ikke nødvendigvis gir skader på bryggen i Bergen, men gjør den utilgjengelig vil være svært negativt for byen. Det er viktig for både befolkning og andre tilreisende at bryggen er tilgjengelig for mennesker.	Meget stor negativ
Påvirkning på veinett	Lengden på veien er ca. 1,2 km med en bredde på 8 meter. Veien går over Bryggen og Torget.	Veien har platå med lav sannsynlighet for at veien forsvinner som følge av retur av vannstand.	Liten negativ
Konsekvenser som følge av oversvømte veier	Årsdøgntrafikk Bryggen: 8631. Årsdøgntrafikk Torget: 12 000. Vågen er et viktig knutepunkt for alle som ferdes i Bergen sentrum. Transportknutepunkt rundt punkt B i figuren. Derfor trolig flere berørte, som for eksempel gående.	En varslet stenging av Torget under en flomhendelse vil ikke nødvendigvis være kritisk. Fløyfjellstunnelen er tilstrekkelig omkjøringsvei for å flytte seg mellom nord og sør i Bergen. Det vil også være mulig å legge kollektiv gjennom tunnelen. Det er også andre omkjøringsmuligheter. Det vil likevel være risiko for en del forsinkelser siden Torget er et viktig knutepunkt i byen. Gående og syklende vil også bli rammet av stenging av Torget, men det finnes også andre muligheter for dem.	Stor negativ

Beredskapsproblem er	Torget er et viktig knutepunkt for ferdsel i Bergen og vil i dette scenarioet ligge under vann.	Det vil gjøre fremkommeligheten til deler av Sandviken og Vågen vanskelig. I tillegg vil det være mer trafikk på de trangere veiene gjennom sentrum som vil redusere fremkommeligheten for nødetatene i sentrum. Det er ikke kritisk med mindre Fløyfjellstunnelen blir stengt samtidig, men dette er lite sannsynlig.	Middels negativ
-----------------------------	---	--	------------------------

20.3 Dokken

Tabell 20-3 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Virkning av kulturmiljø	Det finnes noen historiske bygninger som blir berørt.	Verdi av historiske bygninger er høy.	Liten negativ
Påvirkning på veinett	Lav	Ingen	Ubetydelig
Konsekvenser for trafikanter som følge av oversvømte veier	Årsdøgntrafikk er ca. 17 000. Med store deler av godsterminal og utkjøringsveien vil i vårt scenario ligge under vann. Dette vil ha stor betydning for transport av gods i timene med en flomhendelse. På sikt skal området gå fra godsterminal til ny, moderne bydel i Bergen. Vi antar derfor det vil være færre berørte utover i analyseperioden.	Omkjøringsmulighet for de fleste bilister. Gods vil bli rammet ved høyt havnivå, med færre omkjøringsmuligheter. Godsterminalen blir rammet slik det er i dag, men den er planlagt at skal flyttes. Stor andel tungtrafikk.	Middels negativ
Beredskapsproblemer	Veiene som blir påvirket av stormflo i Dokken vil ikke påvirke beredskap i særlig grad. Men en del industri hvor det kan skje alvorlige ulykker.	Det vil være en del omkjøringsmuligheter.	Liten negativ

20.4 Damsgårdssundet

Tabell 20-4 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Samfunnsøkonomisk virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Virkning av kulturmiljø	Lav	Lav	Ubetydelig/ingen
Påvirkning på veinett	Den er vurdert som lav. Det er ca. 400 meter med vei vil ligge under vann. Og et lite område vil bli isolert.	Sannsynligheten for skade på veien er generelt sett lavt, men konsekvensene vil være kostbare.	Ubetydelig/ingen
Konsekvenser for trafikanter som følge av oversvømte veier	Middels trafikkert vei med årsgjennsnittstrafikk på 3800. Med gode omkjøringsmuligheter. Vil «hindre» adkomst til næringsbygg, og universitetsbygg.	Et område vil bli innestengt, men ellers gode omkjøringsmuligheter. Høyt havnivå vil ikke påvirke trafikanter i dette området i særlig stor grad.	Ubetydelig/ingen
Beredskapsproblemer	Hindret tilgang på næringsbygg	Gode omkjøringsmuligheter	Liten negativ

20.5 Store Lungegårdsvannet

Tabell 20-5 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Virkning av kulturmiljø	Lav	Lav	Ubetydelig/ingen
Konsekvenser på veinettet	I dette området finner vi Nygårdstunnelen som vil delvis oppleve at vann siger inn i tunnelen ved	Potensielt høy kostnad.	Meget stor negativ

	stormflo. I tillegg vil hoved brannstasjonens utfartsåre være under vann.		
Konsekvenser som følge av oversvømte veier	Årsdøgntrafikk: 45 681 i Nygårdstunellen ¹⁰	Stor kostnad ved stengt tunnel, når stormfloen trekker seg tilbake vil tunnelen ikke tømmes for vann og man vil måtte bruke pumper eller annen sikring mot vann.	Meget stor negativ
Beredskapsproblemer	Rundt store Lungegårdsvann ligger hoved brannstasjonen i Bergen. Veinettet ut av brannstasjonen er dekket av vann i dette scenarioet. Det er uklart hvorvidt det vil hindre uttrykning, men det vil i hvert fall kunne forsinke ved veldig høyt havnivå.	Forhindret og forsinket uttrykning fra hoved brannstasjonen kan være kritisk i flere situasjoner og har potensielt stor samfunnsøkonomisk verdi.	Meget stor negativ

20.6 Laksevåg

Tabell 20-6 Vurdering av de ikke-prissatte virkningene

Virkning	Kvantum	Enhetsverdi	Verdi
Virkning av kulturmiljø	Lavt kvantum	Lav verdi	Ubetydelig/ingen
Påvirkning på veinett	Lavt kvantum Ingen veier vil bli oversvømt i dette scenarioet.	Lav verdi Ødelagt veinett vil ha stor kostnad. Men siden ingen vei vil bli oversvømt anser	Ubetydelig/ingen

¹⁰ Nygårdstunnelen er planlagt oppgradert med vann og frostsikring i nær fremtid (TU, 2023)

		vi enhetsverdien som lav/ubetydelig.	
Konsekvenser som følge av oversvømte veier	Lavt kvantum Ingen veier vil bli oversvømt. Det vil derfor i dette området ikke påvirke trafikanter og kollektivreisende. Om store deler av Bergen sentrum opplever et høyt havnivå kan det komme ringvirkninger også til veiene til Laksevåg, men dette er vurdert å ha et begrenset omfang.	Lav verdi Siden ingen veier i dette området blir oversvømt, anser vi enhetsverdien som lav/ubetydelig.	Ubetydelig/ingen
Beredskapsproblemer	Lavt kvantum	Lav verdi	Ubetydelig/ingen

21 Vedlegg F: Usikkerhetstabeller

21.1 Sandviken

Tabell 21-1 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking
	Total mulig gevinst	42,30	42,30	21,15
	Total kostnad	-630,18	-536,64	-4336,17
	Netto nåverdi	-587,88	-494,35	-4315,02
	NNB	-0,93	-0,92	-1,00
	Rangering	2	1	3
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking
	Total mulig gevinst	kr 486	kr 486	kr 243
	Total kostnad	-kr 630	-kr 537	-kr 4 336
	Netto nåverdi	-kr 144	-kr 51	-kr 4 093
	NNB	-kr 0,23	-kr 0,09	-kr 0,94
	Rangering	2	1	3
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking
	Total mulig gevinst	991,54	991,54	495,77
	Total kostnad	-630,18	-536,64	-4336,17
	Netto nåverdi	361,36	454,90	-3840,40
	NNB	0,57	0,85	-0,89
	Rangering	2	1	3

I Tabell 21-2 viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for Sandviken. Vi ser at alle tiltakene blir mindre samfunnsøkonomisk lønnsomme dersom vi får en kostnadsøkning.

Tabell 21-2 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking
	Total mulig gevinst	486,035	486,035	243,0175
	Total kostnad	-630,176	-536,645	-4336,17
	Netto nåverdi	-144,141	-50,6097	-4093,15
	NNB	-0,22873	-0,09431	-0,94396
	Rangering	2	1	3
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Jekking
	Total mulig gevinst	486,035	486,035	243,0175
	Total kostnad	-756,211	-643,974	-6504,26
	Netto nåverdi	-270,176	-157,939	-6261,24
	NNB	-0,35728	-0,24526	-0,96264
	Rangering	2	1	3

21.2 Vågen

Tabell 21-3 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
	Total mulig gevinst	37,33	6,22	62,21
	Total kostnad	-114,04	-1541,75	-1077,68
	Netto nåverdi	-76,72	-1535,53	-1015,48
	NNB	-0,67	-1,00	-0,94
	Rangering	1	3	2
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
	Total mulig gevinst	404,51	67,42	674,18
	Total kostnad	-114,04	-1541,75	-1077,68
	Netto nåverdi	290,46	-1474,33	-403,50
	NNB	2,55	-0,96	-0,37
	Rangering	1	3	2
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
	Total mulig gevinst	715,16	119,19	1191,94
	Total kostnad	-114,04	-1541,75	-1077,68
	Netto nåverdi	601,12	-1422,56	114,25
	NNB	5,27	-0,92	0,11
	Rangering	1	3	2

Tabell 21-4 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
	Total mulig gevinst	404,5086	67,41811	674,1811
	Total kostnad	-114,044	-1541,75	-1077,68
	Netto nåverdi	290,4648	-1474,33	-403,503
	NNB	2,546958	-0,95627	-0,37442
	Rangering	1	3	2
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Jekking	Sluse
	Total mulig gevinst	404,5086	67,41811	674,1811
	Total kostnad	-136,853	-2312,62	-1616,53
	Netto nåverdi	267,656	-2245,21	-942,346
	NNB	1,955798	-0,97085	-0,58294
	Rangering	1	3	2

21.3 Dokken

Tabell 21-5 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
	Total mulig gevinst	25,33	25,33
	Total kostnad	-235,35	-200,42
	Netto nåverdi	-210,02	-175,09
	NNB	-0,89	-0,87
	Rangering	2	1
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur

	Total mulig gevinst	360,69	360,69
	Total kostnad	-235,35	-200,42
	Netto nåverdi	125,34	160,27
	NNB	0,53	0,80
	Rangering	2	1
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
	Total mulig gevinst	777,13	777,13
	Total kostnad	-235,35	-200,42
	Netto nåverdi	541,78	576,71
	NNB	2,30	2,88
	Rangering	2	1

Tabell 21-6 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
	Total mulig gevinst	360,6877	360,6877
	Total kostnad	-235,348	-200,418
	Netto nåverdi	125,3394	160,27
	NNB	0,53257	0,79968
	Rangering	2	1
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
	Total mulig gevinst	360,6877	360,6877
	Total kostnad	-282,418	-240,501
	Netto nåverdi	78,26969	120,1865
	NNB	0,277141	0,499733
	Rangering	2	1

21.4 Damsgårdssundet

Tabell 21-7 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	0,94	0,94	5,35
	Total kostnad	-115,21	-138,97	-1072,41
	Netto nåverdi	-114,28	-138,04	-1067,06
	NNB	-0,99	-0,99	-1,00
	Rangering	1	2	3
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	52,99	52,99	161,73
	Total kostnad	-115,21	-138,97	-1072,41
	Netto nåverdi	-62,22	-85,98	-910,68
	NNB	-0,54	-0,62	-0,85
	Rangering	1	2	3
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	234,36	234,36	509,56
	Total kostnad	-115,21	-138,97	-1072,41
	Netto nåverdi	119,15	95,39	-562,85
	NNB	1,03	0,69	-0,52
	Rangering	1	2	3

Tabell 21-8 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	52,9907	52,9907	161,7271
	Total kostnad	-115,215	-138,974	-1072,41
	Netto nåverdi	-62,224	-85,9831	-910,683
	NNB	-0,54007	-0,6187	-0,84919
	Rangering	1	2	3
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	52,9907	52,9907	161,7271
	Total kostnad	-138,258	-166,769	-1608,62
	Netto nåverdi	-85,2669	-113,778	-1446,89
	NNB	-0,61672	-0,68225	-0,89946
	Rangering	1	2	3

21.5 Store Lungegårdsvannet

Tabell 21-9 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	4,42	4,42	4,42
	Total kostnad	-153,38	-127,50	-414,90
	Netto nåverdi	-148,96	-123,09	-410,48
	NNB	-0,97	-0,97	-0,99
	Rangering	2	1	3
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	108,74	108,74	108,74
	Total kostnad	-153,38	-127,50	-414,90
	Netto nåverdi	-44,64	-18,77	-306,16
	NNB	-0,29	-0,15	-0,74
	Rangering	2	1	3
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	275,20	275,20	275,20
	Total kostnad	-153,38	-127,50	-414,90
	Netto nåverdi	121,82	147,70	-139,70
	NNB	0,79	1,16	-0,34
	Rangering	2	1	3

Tabell 21-10 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse
	Total mulig gevinst	108,7364	108,7364	108,7364
	Total kostnad	-153,38	-127,503	-414,9
	Netto nåverdi	-44,6435	-18,7662	-306,163
	NNB	-0,29106	-0,14718	-0,73792
	Rangering	2	1	3
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur	Sluse

Total mulig gevinst	108,7364	108,7364	108,7364
Total kostnad	-184,056	-153,003	-622,35
Netto nåverdi	-75,3195	-44,2667	-513,613
NNB	-0,40922	-0,28932	-0,82528
Rangering	2	1	3

21.6 Laksevåg

Tabell 21-11 Endring i samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ulike klimascenarier

SSP1-2.6	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst		43,16	43,16
Total kostnad		-470,87	-406,11
Netto nåverdi		-427,70	-362,95
NNB		-0,91	-0,89
Rangering		2	1
SSP3-7.0	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst		438,75	438,75
Total kostnad		-470,87	-406,11
Netto nåverdi		-32,11	32,64
NNB		-0,07	0,08
Rangering		2	1
SSP5-8.5 LSSK	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst		840,56	840,56
Total kostnad		-470,87	-406,11
Netto nåverdi		369,69	434,45
NNB		0,79	1,07
Rangering		2	1

Tabell 21-12 Viser endringen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved kostnadsøkning

Uten kostnadsendring	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst		438,7538	438,7538
Total kostnad		-470,866	-406,11
Netto nåverdi		-32,1124	32,64425
NNB		-0,0682	0,080383
Rangering		2	1
Med kostnadsøkning	I millioner kroner	Mobile flomvern	Mur
Total mulig gevinst		438,7538	438,7538
Total kostnad		-565,039	-487,331
Netto nåverdi		-126,286	-48,5777
NNB		-0,2235	-0,09968
Rangering		2	1