

Økonomiske konsekvenser af over- svømmelser

Nationale skadesberegninger og vurde-
ring af behov for klimasikring

Kirsten Halsnæs, Per S. Kaspersen, Villy Mik-Meyer og
Tanya Sunding

Hovedrapport

November 2024

Økonomiske konsekvenser af oversvømmelser

Nationale skadesberegninger og vurdering af behov for klimatilpasning

Af

Kirsten Halsnæs, Per S. Kaspersen, Villy Mik-Meyer og Tanya Sunding.

LNH water ApS og Scalgo ApS har bidraget til rapportens analyser.

Denne analyse er finansieret af CIP Fonden og Forsikring & Pension.

Udgivet af: DTU, Institut for Ledelse, Teknologi og Økonomi
<https://www.man.dtu.dk/om-instituttet>

Indholdsfortegnelse

1.	Introduktion	12
2.	Oversvømmelseskortlægning	14
2.1	Klimascenarie	14
2.2	Oversvømmelser fra skybrud	14
2.2.1	Metode til beregning af oversvømmelser fra skybrud	14
2.3	Oversvømmelser fra stormfloder	15
2.3.1	Metode til beregning af oversvømmelser fra stormfloder	15
2.3.2	Kystinddeling og returperioder	17
2.3.3	Kvalitetssikring af oversvømmelsesberegninger	18
3.	Skadesberegninger	21
3.1	Metode til beregning af skader fra oversvømmelser	21
3.1.1	Oversigt over modellens forudsætninger for de beregnede sektorer	22
3.2	Forudsætninger for skadesberegningerne	26
3.3	Resultater af skadesberegningerne	26
3.3.1	Beregning af omkostninger ved oversvømmelser fra skybrud	27
3.3.2	Beregning af omkostninger ved oversvømmelser fra stormfloder	31
4.	Vurdering af behov for klimasikring	35
4.1	Beregning af klimasikring til oversvømmelser fra skybrud	35
4.2	Beregning af klimasikring til oversvømmelser fra stormfloder	37
5.	Beregning af gevinster ved klimasikring	45
5.1	Reduktion af skader ved forskellige sikringsniveauer	45
5.2	Gevinst af klimatilpasning mod skybrud	46
5.3	Gevinst af klimatilpasning mod stormfloder	47
6.	Kort overblik over resultater fra andre analyser	48
7.	Konklusion	50
8.	Referencer	51
9.	Appendix	53
9.1	Appendix A – oversvømmelsesberegninger	53
9.1.1	Stormflodshøjder anvendt til kortlægning af oversvømmelser	53
9.2	Appendix B - Følsomhedsanalyser – gevinst af klimatilpasning	54
9.2.1	Gevinst af klimatilpasning mod skybrud	54
9.3	Appendix C – Estimering af tilpasningsomkostninger	57

Summary – Økonomiske konsekvenser af oversvømmelser

Klimaforandringerne vil betyde store og stadig voksende skader som følge af oversvømmelser fra skybrud og stormfloder i Danmark. De forventede skader er omkring 406 mia. kr. fra i dag og 100 år frem. DTU har for F&P og CIP Fonden beregnet de samlede skadesomkostninger på landsplan af skybrud og oversvømmelser og har i tilknytning hertil også beregnet et overordnet skøn over omkostningerne til at reducere skaderne gennem klimasikring. Det vil også koste milliarder at klimasikre på landsplan, men det kan betale sig. Udgifterne til klimasikring er i de fleste tilfælde lavere end skadesomkostningerne ved oversvømmelser afhængig af niveauet af klimasikring. Det kan faktisk godt allerede nu betale sig at investere milliarder i klimasikring, fordi vi allerede i den nærmeste fremtid kan opnå betydelige besparelser i skadesomkostninger. Det er første gang, at der er lavet en samlet beregning af skadesomkostninger og omkostninger til klimasikring til imødegåelse af oversvømmelser for de næste 100 år for hele Danmark.

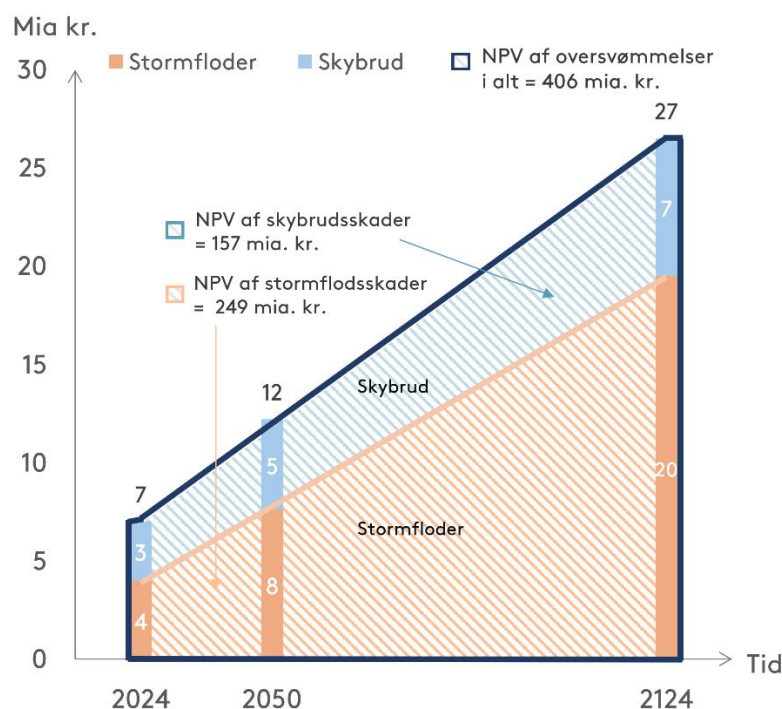
Skadesomkostninger ved oversvømmelser fra skybrud og stormflod kan løbe op i 406 mia. kr.

Beregningerne viser, at i løbet af de næste 100 år vil de samlede forventede skader på boliger, sommerhuse, erhvervsbygninger, transport, landbrug og turisme blive omkring 406 mia. kr. fordelt med omkring 157 mia. kr. til skybrud og omkring 249 mia. kr. til stormfloder regnet tilbage til dagens værdi. Dertil kommer en række yderligere samfundsmæssige værdier som bl.a. sundhed, natur og den samlede erhvervsproduktion. Data for disse områder er på nuværende tidspunkt mere usikre, og beregningerne indeholder derfor ikke skadesomkostninger for dem. En mere omfattende analyse af disse områder, på basis af inddragelse af et bredere datagrundlag, vil være vigtigt i at bringe et forstærket beslutningsgrundlag for klimasikring. Hvis vi alene ser på udgifterne til dækning af skadesomkostninger ved oversvømmelse af bygninger i form af boliger, sommerhuse og erhvervsbygninger baseret på skadesstatistik fra tidligere oversvømmelser, så vil omkostningerne i de næste 100 år kunne løbe op i omkring 359 mia. kr. regnet tilbage til dagens værdi.

Alle beregninger af skadesomkostninger ved skybrud og stormfloder er foretaget på basis af data fra DMI's KlimaAtlas baseret på et median SSP2-4.5 klima scenarie, som svarer til globale gennemsnitlige temperaturændringer på omkring 3 °C i år 2100. Ifølge den seneste Adaptation Gap Rapport fra FN's Miljøprogram, er det netop dette scenarie verden er på vej imod. Skadesomkostninger er foretaget med DTU's Skadesøkonomi model.

De forventede skadesomkostningerne ved skybrud kan blive fordoblet men for stormfloder kan fremtidige skadesomkostninger blive 6 gange højere

Skaderne ved oversvømmelser fra skybrud og stormfloder vil vokse år for år, da klimaændringerne betyder flere skybrud og stigende havniveau. De forventede årlige skadesomkostninger ved oversvømmelser fra skybrud og fra stormfloder forventes at stige fra omkring 7 mia. kr. i dag til omkring 12 mia. kr. i år 2050 og til ca. 27 mia. kr. i år 2124. For bygningerne alene vil de årlige skadesomkostninger fra oversvømmelser fra skybrud og fra stormfloder stige fra omkring 6 mia. kr. i dag til omkring 11 mia. kr. i år 2050 og til knapt 24 mia. kr. i år 2124. Figur 1 illustrerer, hvordan skaderne ved oversvømmelser kan udvikle sig over tid opdelt på skybrud og stormfloder for de næste 100 år.

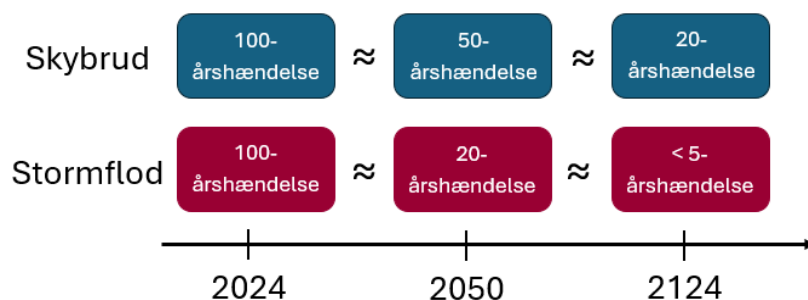


Figur 1: Forventede årlige skader og nutidsværdien (NPV) af de samlede skader fra oversvømmelser fra skybrud og stormfloder over de næste 100 år for hele Danmark¹

Som det ses af Figur 1 er omkostningerne til skybrud og stormfloder beregnet til at være omtrent samme størrelsesorden i 2024, men over tid vokser omkostningerne til oversvømmelser fra stormfloder langt hurtigere end udgifterne til skybrud. I 2124 er de forventede skadesomkostninger ved skybrud således beregnet til at være omkring 7 mia. kr., hvilket er en fordobling ift. dagens niveau, mens de forventede skadesomkostninger ved stormfloder er beregnet til at være omkring 20 mia. kr., hvilket er næsten en 6-dobling af dagens omkostningsniveau. En vigtig faktor bag disse forskelle i udviklingen af omkostninger til henholdsvis skybrud og stormflod er, at klimaforandringerne forventes at betyde flere skybrud, men stigningen på dette område er langt mindre over tid end den stigning i stormfloder, som forventes at ske pga. klimarelaterede havspejlsstigninger.

Over vores 100-årige scenarieperiode betyder det, at det som i dag er klassificeret som f.eks. en 100-års hændelse svarer til en hyppigere hændelse i fremtiden. Figur 2 viser udviklingstendenser over tid for hyppighed af skybrud og stormfloder. Der er variation i, hvordan hyppigheden af hændelserne vil ændre sig over tid i forskellige steder i landet. Variationen er specielt gældende for stormfloder, og Figur 2 illustrerer dermed kun den overordnede struktur af ændringer i hyppighederne som resultat af de forventede klimaændringer.

¹ Forventede omkostninger beregnes som produktet af de økonomiske skader ved en oversvømmelseshændelse og sandsynligheden for givne hændelser



Figur 2: Overordnet struktur i ændringer af hyppigheder for skybrud og stormfloder i perioden år 2024 til år 2124

Som det ses af Figur 2 bliver en 100-års skybrudshændelse i år 2024 sammenlignelig med en 50-års hændelse i år 2050 og en 20-års hændelse i år 2124, mens en 100-års stormflodshændelse i år 2024 bliver sammenlignelig med en 20-års hændelse i år 2050 og mindre end en 5-års hændelse i år 2124. Det betyder, at investeringer i et højt klimasikringsniveau på et tidligt tidspunkt kan være mere attraktivt for stormfloder end for skybrud. Det betyder også, at hvis vi f.eks. sikrer os til et 100 års stormflodsniveau i dag og dette niveau fastholdes indtil år 2124, så vil vi ikke være sikret til et niveau højere end en 5-års hændelse i fremtiden.

Skybrud forvolder størst skade, der hvor der er flest værdier, og vandet har sværest ved at komme væk. Derfor er det også landets fire største byer, som har udsigt til at blive hårdest ramt af skybrud. Det gælder Aarhus, København, Odense og Aalborg kommuner, som alle kan forvente at få årlige skybrudsskader på bygninger på mere end 2,5 mia. kr. I gennemsnit forventes 8.000 bygninger at få skybrudsskader hvert år med det klima vi har i dag. Størstedelen udgøres af helårsboliger (forventeligt 4.700 helårsboliger rammes af skader hvert år). Om 100 år er det forventede årlige antal bygninger, som rammes af skybrudsskader 16.200, heraf udgør helårsboliger 10.000. Det svarer til en fordobling af det forventede årlige antal berørte boliger i år 2124 sammenlignet med i dag.

De kommuner, som er mest udsat for stormflod, ligger langs kysterne. De mest udsatte kommuner er Aalborg, Vejle og København, som alle kan forvente årlige skader på mere end 6 mia. kr. Lemvig kommune kan også forvente høje skader, og det beror på, at områderne langs Vestkysten omkring Thyborøn og Harbøre er i høj risiko som følge af havvandsstigninger. På landsplan betyder det, at det forventede antal boliger, sommerhuse og erhvervsbygninger, der årligt rammes af stormflodsrelaterede skader, stiger fra ca. 3.200 i dag til 16.800 i år 2124. Der er i dag flest sommerhuse ved kysterne, der er udsat for stormflod, men i fremtiden vil helårsboliger udgøre den største kategori, fordi vandet ved en stormflodsoversvømmelse vil trænge længere ind i landet. Erhvervsbygninger vil også være langt mere udsatte end i dag.

Trods store investeringsomkostninger kan klimasikring betale sig

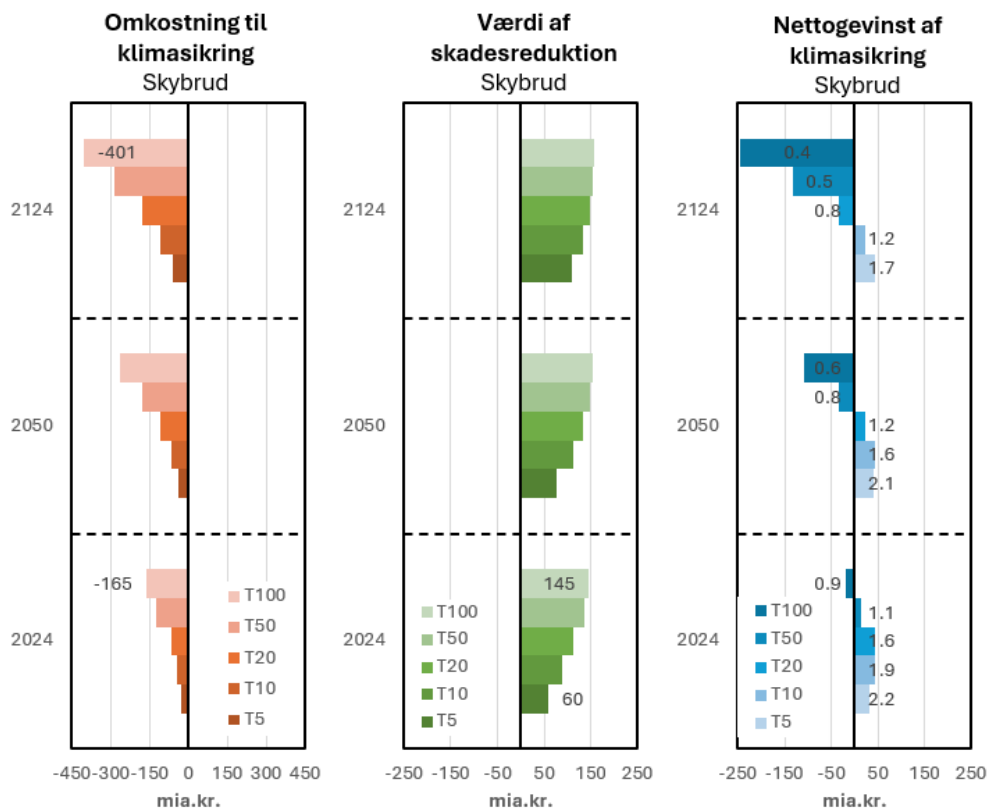
I en økonomisk vurdering af hvor langt samfundet bør gå i klimasikring til at imødegå oversvømmelser fra skybrud og stormfloder, drejer det sig om at sammenligne omkostningerne til klimasikring med gevinsten i form af skadesreduktion knyttet til formindskede oversvømmelser. Et eksempel på en sådan sammenligning kan gøres for en klimasikring til at imødegå en oversvømmelse fra en 20 års skybrudshændelse i dag, som vil udgøre 69 mia. kr. og, som vil reducere skadesomkostningerne ved oversvømmelser med 112 mia. kr. En investering i klimasikring giver her

1,6 gange så stor en gevinst, som omkostningen ved klimasikringen. Et andet eksempel på omkostninger til klimasikring versus skadesreduktion relateret til stormfloder er, at klimasikring til at imødegå oversvømmelser fra en 100-års hændelse i dag vil udgøre 37 mia. kr. mens skadesreduktionen ved reducerede oversvømmelser vil være 67 mia. kr. En investering i klimasikring giver her 1,8 gange så stor en gevinst, som omkostningen ved klimasikringen.

Der er en vigtig forskel i, hvor langt det kan betale sig at gå i sikringsniveauer, når skybruds- og stormflodssikring sammenlignes. Hvis der kommer større skybrudshændelser end sikringsniveauet, som der er investeret i, så vil klimasikringen stadig afhjælpe en nogle af skaderne ved en større hændelse, fordi en del af vandet ledes væk af de etablerede løsninger. Derimod er der ingen gevinst ved en klimasikring til et stormflodsniveau, som er mindre end en faktisk hændelse. Skadesomfanget bliver ikke nedbragt ved et lavere sikringsniveau end en faktisk stormflodshøjde, for vandet vil i det tilfælde løbe over klimasikringsanlæg som f.eks. diger eller højvandsmure. Det betyder, at det økonomisk kan betale sig at satse på relativt høje beskyttelsesniveauer for stormfloder. Dette er også en konsekvens af, at den ekstra omkostning ved f.eks. at bygge et dige højere ikke er særlig stor.

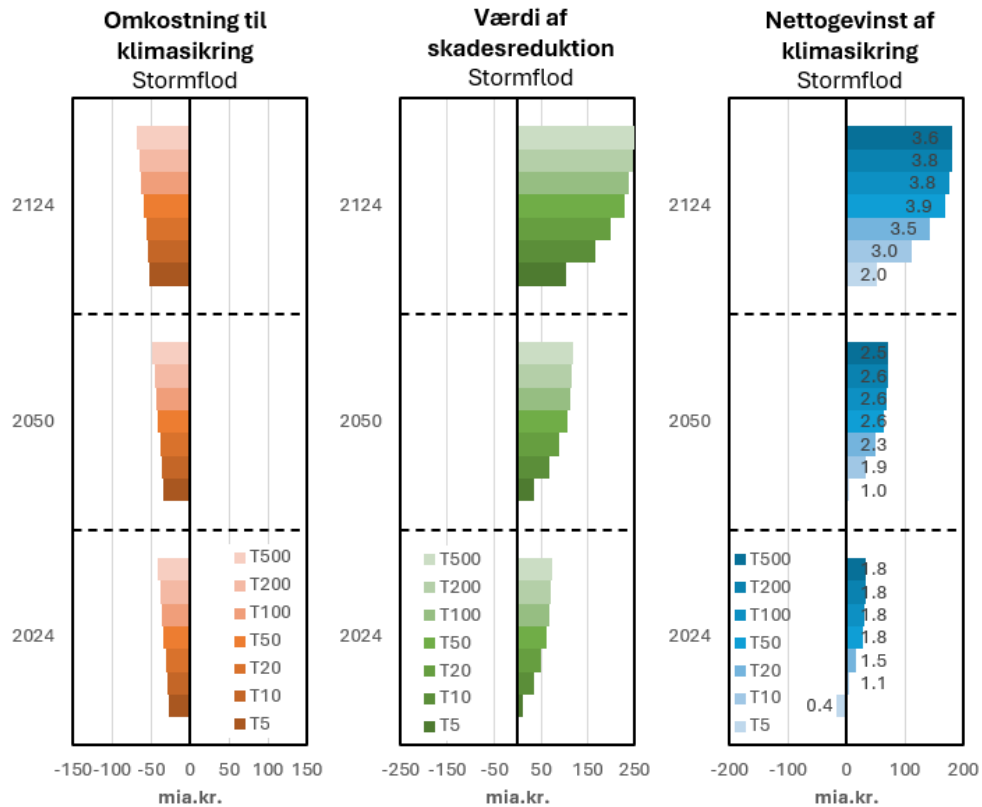
Det er især i byerne, vi ser en positiv gevinst ved at sikre bebyggelse og andre værdier mod oversvømmelser. Ved oversvømmelser fra skybrud, består klimasikring i at lede overfladevandet væk, hvor det ved oversvømmelser fra stormfloder består i at begrænse havvandets indtrængen ved f.eks. diger, sluser og højvandsmure. De nationale omkostninger forbundet med klimasikring imod oversvømmelser fra skybrud og stormfloder er regnet med to forskellige metoder. Omkostningerne til klimasikring mod skybrud er estimeret på baggrund af standardpriser for afledning af overfladevand og følger kommunernes og vandselskabernes praksis. Omkostningerne forbundet med kystsikring er mere komplicerede at beregne, da vi ikke kan gøre brug af nationale standarder og praksisser. Vi har derfor anvendt nogle forsimplede antagelser om, at oversvømmelsesrisikoen på nationalt plan udelukkende vil nedbringes ved hjælp af diger, højvandsmure, klitforstærkninger og sluser. Vi har her udeladt en række andre løsningstiltag som f.eks. pumper, naturbaserede løsninger eller beskyttelsesanlæg med specielle rekreative egenskaber, da vores landsdækkende estimater ikke kan tage højde for lokale forhold.

Klimasikrings omkostningerne for skybrudshændelser fordelt på returperioder og fremtidige scenarier er vist i Figur 3. Det fremgår her, at værdien af skadesreduktionen stiger med højere sikringsniveauer, samt at nettogevinsten ved klimasikring varierer afhængig af det valgte sikringsniveau. Eksempelvis viser figuren, at der i år 2024 er en positiv nettogevinst ved at klimasikre op til en 50-års hændelse, mens omkostningerne versus skadesreduktion ikke fører til nettogevinster ved hændelser ved større returperioder. I år 2124 ændrer forholdene sig. Her er det kun økonomisk fordelagtigt at klimasikre for skybrudshændelser med lavere returperioder, da omkostningerne ved større hændelser bliver høje sammenlignet med skadesreduktionen.



Figur 3: Skybrud. Omkostning til klimasikring, værdi af skadesreduktion og nettogevinst af klimasikring (inkl. ratio for værdi af skader sammenholdt med omkostning til sikring angivet i figuren for nettogevinst).

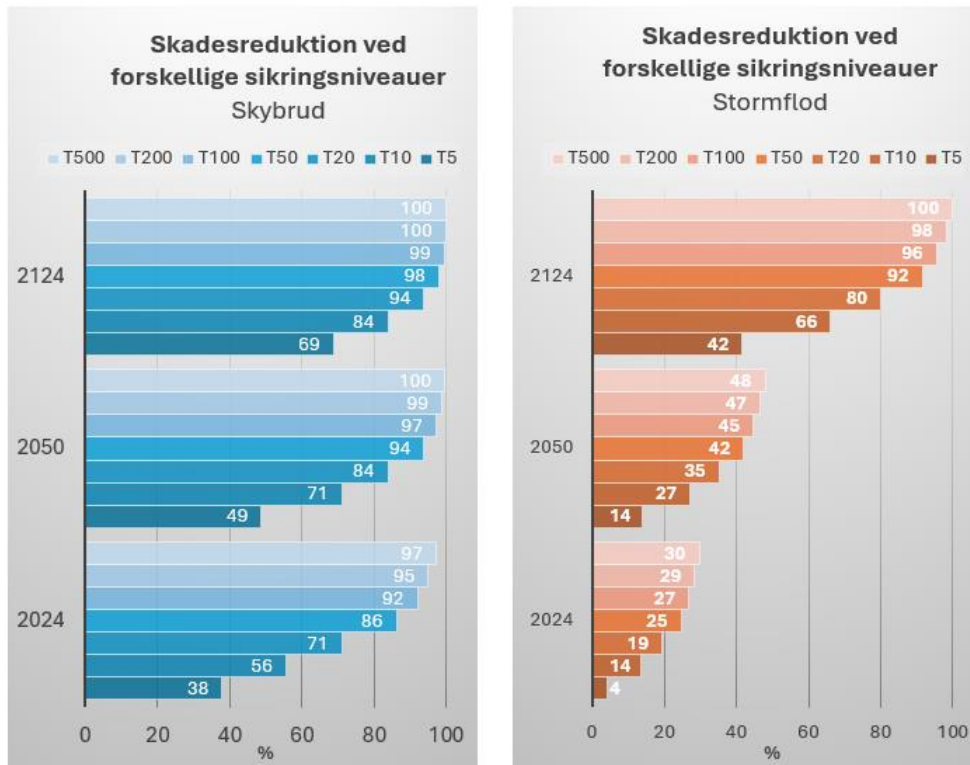
Klimasikring for stormflodshændelser fordelt på returperioder og fremtidige scenarier er vist i Figur 4. Ligesom ved klimasikring for skybrud ser vi, at værdien af skadesreduktionen stiger med højere sikringsniveauer, og at nettogevinsten ved klimasikring varierer afhængig af det valgte sikringsniveau. Eksempelvis viser figuren, at der i år 2024 er en positiv nettogevinst ved at klimasikre mod stormfloder helt op til en 500-års hændelse, mens gevinsten stiger yderligere ved at sikre imod højere fremtidige niveauer i år 2050 og år 2124.



Figur 4: Stormflod. Omkostninger til klimasikring, værdi af skadesreduktion og nettogevinst af klimasikring (inkl. ratio for værdi af skader sammenholdt med omkostning til sikring angivet i figuren for nettogevinst).

Den særlige fordel ved klimasikring mod skybrud er, at der stadig opnås en skadesreduktion ved hændelser, der overstiger det valgte sikringsniveau. Et anlæg designet til en 50-års hændelse vil eksempelvis fortsat aflede en betydelig mængde overfladevand ved en 100-års hændelse, hvilket reducerer skadesomkostninger på tværs af hændelsesniveauer. Figur 5 illustrerer forskellen i skadesreduktion mellem skybruds- og stormflodssikring ved forskellige sikringsniveauer. For et skybrudssikringsniveau svarende til nutidige 5-års hændelser reduceres de forventede skadesomkostninger med 38% i dag, mens stormflodssikring på samme niveau kun reducerer de forventede skader med 4%. Der er således en væsentlig større økonomisk gevinst ved lavere sikringsniveauer for skybrud end for stormflod.

I modsætning til skybrud, medfører stormflodssikring kun skadesreduktion op til det niveau, anlægget er designet til. Ved overskridelse af designniveauet løber vandet over anlægget, og skaderne kan blive lige så omfattende, som hvis der ikke var nogen beskyttelse. Fra en økonomisk betragtning giver det derfor mening at beskytte til relativt høje sikringsniveauer mod stormfloder. Dette understøttes af, at meromkostningen ved at forhøje kystbeskyttelsen, f.eks. med 60-70 cm til beskyttelse mod en 500-års hændelse i år 2124 frem for en tilsvarende hændelse i år 2024 er relativt lille sammenlignet med den forventede skadesreduktion.



Figur 5: Reduktion af den samlede værdi af skader ved forskellige sikringsniveauer for skybrud og stormfloder

Afsluttende kommentarer

Beregningerne for hele landet af omkostninger ved oversvømmelser fra skybrud og stormfloder, at det godt kan betale sig i dag at investere i klima-sikring. For sikring mod skybrud kan sikring i dag betale sig op til dagens 50 års hændelser, og for stormfloder kan sikring betale sig helt op til 500 års hændelser i år 2024. Disse resultater er vigtige input til overordnet national beslutningstagning om klimasikring og finansiering. De er dog ikke udtømmende ift. kommunale og lokale beslutninger om klimasikring. Der er mange lokale forhold, som spiller ind på, hvad konsekvenserne af oversvømmelser er, og derudover er der også en lang række lokale løsninger som f.eks. naturbaserede løsninger, som kan skabe en række fordele, som ikke er taget med i overordnede nationale beregninger. Et område, som også bør analyseres nærmere og inddrages i beregninger af konsekvenserne af oversvømmelser, er menneskelige aspekter, byliv og helbred så vel som lighedsmæssige aspekter ved skader fra oversvømmelser og klimasikring.

Nøgleforudsætninger for beregningerne

Analysen bygger på følgende nøgleforudsætninger:

- Fremskrivninger af fremtidige skybrudshændelser og stormflodshøjder er baseret på RCP 4.5 scenariet i DMI's KlimaAtlas for perioden år 2024 til år 2124.
- Oversvømmelsesberegningerne er foretaget med SCALGO modellen af Scalgo og med DHYM modellen af DTU, hvor der for alle kyststrækninger er foretaget en gennemgang af oversvømmelseskort og korrigeret for fejl i vandets strømningsmuligheder f.eks. knyttet til eksisterende klimasikring.

- Skadesberegningerne for skybrud og stormfloder er foretaget med DTU's SkadesØkonomi model.
- Skadesomkostninger er baseret på faste i år 2024-priser og under forudsætning af bygningsmassen mv. og andre aktiver er som i dag. Derudover er der ikke indregnet befolkningsudvikling.
- Beregningerne forudsætter, at der ikke er implementeret klimasikring ud over dagens tiltag.
- Omkostningerne til klimasikring for skybrud er baseret på en pris på 10.000 kr. per m³ fjernet vand
- Omkostningerne til klimasikring for stormfloder er baseret på uformel kommunikation og kortmateriale fra Kystdirektoratet om den fysiske udstrækning af kystzoner med klimasikringsbehov og forudsætninger baseret på en gennemgang af projekter fra kystpuljen, og af Sund og Bælt's rapporter om klimasikring i København, Tårnby, Dragør og Hvidovre, samt data fra PLASK.

1. Introduktion

I de seneste årtier har Danmark oplevet en række oversvømmelser forårsaget af både skybrud og stormfloder. Listen over skybrudshændelser dækker blandt andet København i år 2011 med skader for ca. 5 mia. kr. Af nyere stormflodshændelser kan nævnes Stormen Bodil i december år 2013, som oversvømmede store områder ud til Ise-og Roskilde fjord m.m., samt stormen i oktober år 2023, der oversvømmede store områder i den sydøstlige del af landet. Skaderne for hver af disse stormfloder overstiger 1 mia. kr.

Ud over betydelige økonomiske tab for samfundet, medfører ekstreme vejrhændelser en række negative menneskelige konsekvenser. Dels blandt dem, der direkte rammes af hændelserne, og dels blandt dem, der frygter at tilsvarende hændelser kan ramme dem. Med fremtidige klimaændringer forventes det, at de ekstreme vejrphenomener vil forekomme hyppigere og med øget intensitet, hvilket kan føre til endnu højere omkostninger og større påvirkning på tværs af en række forskellige sektorer i Danmark. Nærværende analyse er den første nationale kortlægning af den fremtidige risiko for oversvømmelser fra skybrud og stormfloder samt, de tilhørende forventede skader for hhv. bygninger, landbruget, transport og infrastruktur, og turisme. Analysen dækker perioden fra år 2024 til år 2124, og er baseret på mellemhøjt udledningsscenario (SSP2-4,5) og de dertil forventede klimaændringer. Analysen dækker skybrud og stormflodshændelser, der statistisk set vil forekomme med hhv. 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500-års intervaller nu (år 2024) og i fremtiden (år 2124).

Til oversvømmelseskortlægning fra skybrud, er der anvendt et skybrudskort fra SCALGO sammenkoblet med forventede fremtidige skybrudsintensiteter. Til oversvømmelseskortlægning fra stormflod, benyttes den forventede fremtidige vandstandsstigning for det valgte klimascenario sammenkoblet med nutidige højvandsstatistikker (Kystdirektoratet, 2024). Oversvømmelsernes udbredelse for de forskellige scenarier er estimeret ved en fint opløst statisk oversvømmelsesmodel. Oversvømmelseskortene er underlagt en omfattende kvalitetssikring, for at mindske fejlkilder forbundet med forsimplende modelantagelser. Til at vurdere de fremtidige skader, benyttes programmet SkadesØkonomi sammenkoblet med de estimerede landsdækkende oversvømmelseskort for de forskellige hændelser. Skadesøkonomimodellen er udviklet af DTU og et kommunalt samarbejde i regi af det offentlige digitaliseringsfællesskab OS2. Den valgte metode muliggør en detaljeret national vurdering af, hvordan klimaforandringer vil påvirke både omfanget og hyppigheden af oversvømmelser, og hvordan omkostningerne ved disse hændelser forventes at udvikle sig over de næste 100 år.

Analyserne bygger særligt på officielle danske datakilder, beregningsstandarder og praksisser. Klimascenarierne bygger således på DMIs klimaatlas, oversvømmelsesmodellen SCALGO er anvendt i en lang række analyser af kommuner og andre, og forudsætninger om omkostninger ved oversvømmelser fra skybrud og stormflod følger praksis i Spildevandskomiteens anbefalinger for skybrud og Skadesøkonomimodellen, som bl.a. anvender data for forsikringsudbetalinger fra tidligere stormfloder. Forudsætningerne om omkostningerne ved klimasikring bygger på praksis i vandselskabernes vurdering af projekter og på data fra planlagte og gennemførte stormflods projekter.

Ud over de forventede skader som følge af oversvømmelser, indeholder analysen et estimat af omkostningerne forbundet med klimatilpasning for skybrud og stormflod fordelt på forskellige sikringsniveauer. Omkostningerne til klimasikring sammenholdes med de forventede skader over tid i

en cost-benefit-analyse. Den samlede analyse indeholder de sædvanlige usikkerheder forbundet med projektering af klimaændringer i form af nedbør og stormfloder langt ud i fremtiden, samt usikkerhederne forbundet med antagelserne, som indgår i beregninger af skader ved oversvømmelser og klimasikring.

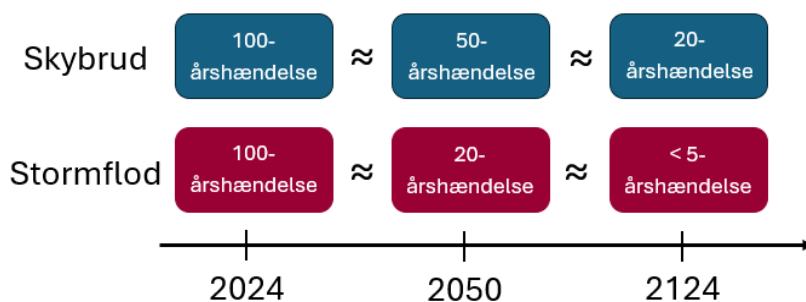
I forbindelse med den samlede analyse for Danmark er det vigtigt at understrege, at de overordnede nationale konklusioner ikke direkte kan oversættes til, hvilke investeringer i klimasikring, som kan betale sig lokalt. Analyser af lokal klimasikring må baseres på kontekst-specifikke beregninger af risiko for oversvømmelser og en bredere vifte af muligheder for klimasikring end, hvad der indgår i de nationale analyser.

2. Oversvømmelseskortlægning

2.1 Klimascenarie

Analysen tager udgangspunkt i et mellemhøjt udledningsscenario (SSP2-4,5), som skildrer en fremtid med et drivhusgasudslip svarende til en global temperaturstigning på ca. 3°C i år 2100 (relativt til år 1850-1900). Klimaforandringerne, som følger den globale opvarmning, forventes at medføre en stigning i nedbørsmængden på ca. 10 % samt en estimeret havspejlsstigning op mod 50 cm i Danmark hen mod år 2100. (Klimaatlas, år 2024). De forøgede mængder af regn og den øgede vandstand i havet vil have en væsentlig effekt på de forventede fremtidige skader fra skybrud og stormflod, hvis der ikke klimasikres.

Analysen omfatter både hyppige og mere sjældne hændelser i dag og i fremtiden. Figur 6 giver et overblik over, hvordan hyppigheden af både skybrud og stormfloder kan ændre sig over tid. Den viser, at en 100-års skybrudshændelse i år 2024 potentielt kan svare til en 50-års hændelse i år 2050 og en 20-års hændelse i år 2124. Ligeledes viser den, at en 100-års stormflodshændelse i år 2024 kan udvikle sig til en 20-års hændelse i år 2050 og forekomme oftere end en 5-års hændelse i år 2124, som følge af det stigende havvand.



Figur 6: Overordnet oversigt over ændringerne i hyppigheder for skybrud og stormfloder i perioden år 2024 til år 2124

2.2 Oversvømmelser fra skybrud

2.2.1 Metode til beregning af oversvømmelser fra skybrud

Skybrudskortet i Scalgo Live er anvendt til at udarbejde oversvømmelseskort for de hændelser som indgår i nærværende analyse. Scalgo ApS har for DTU udarbejdet de nationale oversvømmelseskort som indgår i analyserne.

Skybrudskortet anno år 2024 anvender en afstrømningsfunktion som tager højde for nedsivning for ikke-befæstede arealer og afledning til kloak for kloakerede områder. For kloakerede områder forudsættes et initialtab som er estimeret ud fra en række kørsler med koblede 1D/2D hydrodynamiske modeller for forskellige danske byområder. For hvert område er der gennemført beregninger for returperioder på 2-500 år med CDS regn input på 4 timers varighed. Med udgangspunkt i forudsætningerne for afstrømningsfunktionen i skybrudskortet i Scalgo Live er det derfor valgt også at udarbejde skybrudshændelserne, som ligger til grund for oversvømmelseskortene, som CDS regn med fire timers varighed. På den måde bør den resterende mængde vand, som er tilbage på overfladen i

vores oversvømmelseskort, og som derfor kan udløse en skade, være retvisende for danske byområder ud fra en gennemsnitsbetragtning.

Der er udarbejdet oversvømmelseskort for returperioder på 5, 10, 20, 50 og 100 år for nuværende klima, og for år 2050 og 2124. Nedbørsmængderne for de enkelte hændelser kan ses af Tabel 1. Nedbørsintensiteterne er fundet ved brug af værktøjet SVK's Regional Regnrækkeværktøj v2023, som blev udgivet af IDA Spildevandskomiteen i år 2023 (IDA Spildevandskomite, 2023). Klimafaktorerne som anvendes for de fremtidige hændelser, og som kan beregnes i regnrækkeværktøjet for specifikke geografiske steder i Danmark, svarer til de ændringer i timenedbør som findes for klimascenariet RCP 4.5 i DMI klimaatlas. Der er anvendt de samme nedbørsintensiteter for hele Danmark.

Tabel 1: Nedbørsintensiteter for skybrudshændelserne.

Hændelse	År 2024	År 2050	År 2124
5-årshændelse	30 mm	33 mm	39 mm
10-årshændelse	35 mm	40 mm	47 mm
20-årshændelse	40 mm	47 mm	57 mm
50-årshændelse	49 mm	57 mm	70 mm
100-årshændelse	55 mm	67 mm	83 mm

For skadesberegningerne er oversvømmelseskortene fra Scalgo Live blevet nedskalaret fra den oprindelige opløsning på 1,6 meter til 3,2 meter. Derudover er små arealer med overfladevand fjernet fra oversvømmelseskortene inden skadesberegningerne er gennemført. I praksis betyder dette at områder med færre end fire direkte sammenhængende celler ("4-connectivity") ikke er medtaget i analyserne.

2.3 Oversvømmelser fra stormfloder

2.3.1 Metode til beregning af oversvømmelser fra stormfloder

Til at beregne oversvømmelser fra stormfloder, er der benyttet en national statisk oversvømmelsesmodel. Den statiske model tager ikke højde for stormflodens tidsforløb og dertil knyttede dynamiske effekter. I modellen antages det således, at alle områder i en kote under stormflodens vandstand og med hydraulisk kontakt til havet bliver oversvømmet. Alternativt kan en dynamisk oversvømmelsesmodel anvendes, som simulerer vandets bevægelse ind over land gennem det tidsmæssige forløb af en stormflod. I praksis er dynamiske stormflodsmodeller mere komplekse og krævende i computerregnekraft, og det har ikke på nuværende tidspunkt været muligt at anvende en dynamisk finopløst model for hele Danmark. En sammenligning af oversvømmelsesberegninger for stormflod for lokale områder i Danmark viser, at der især er forskel mellem de to typer af modelleres beregning for små stormflodshændelser af kortere varighed, mens oversvømmelserne ved store hændelser med høje stormflodsniveauer er relativt ens med statiske og dynamiske modeller.

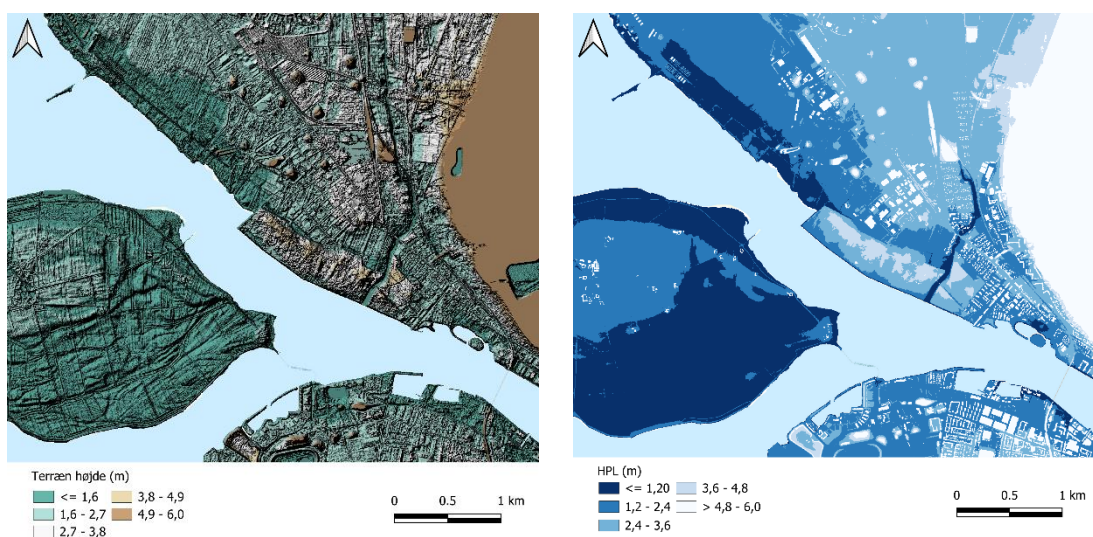
Den anvendte statistiske oversvømmelsesmodel tager udgangspunkt i de nyeste versioner (juni 2024) af følgende to datasæt fra Dataforsyningen:

- 1) Danmarks Terræn Højdemodel (DHM/terræn).
- 2) Havvand på Land (HPL).

DHM/terræn er et nationalt dækkende datasæt, der angiver højdeforskelle for terræn, dvs. uden bygninger og vegetation. Højdemodellen består af en sammensætning af flere forskellige datasæt, der alle stammer fra laserscanning ved overflyvning af Danmarks terræn. Danmark er inddelt i 55 delområder, hvor 11 delområder overflyves årligt, hvilket giver et nationalt ajourført datasæt med en 5 års cyklus. Datasættet har en geografisk opløsning på 0,4 m., og det er dermed yderst detaljeret.

HPL er baseret på DHM/terræn, og viser hvilke områder, der ved en statisk betragtning, oversvømmes ved en givet vandstand. Data er tilvejebragt ved at koble det hydrologiske tilpasningslag fra GeoDanmark med DHM/terræn. I tilpasningslaget fremgår fysiske tilpasninger der ikke umiddelbart er synlige ved overflyvning, såsom rørlagt vandløb, vandløb under veje, sluser, mm. Ved at koble en stormflodshøjde med HPL, kan oversvømmelsens udbredelse for en givet vandstand estimeres. Ved yderligere at koble oversvømmelsesudbredelsen med DHM/terræn kan vandstanden i et givet punkt udregnes ved at trække vandstanden fra DHM/terrænværdien i punktet.

Med en kvadratisk opløsning på blot 0,4 m. består det nationale datasæt af ca. 415 milliarder punkter hvilket giver en høj detaljeringsgrad. Den høje detaljeringsgrad af højdemodellen resulterer i uforholdsmæssigt høje krav til computerregnekraft. Givet det store antal nationale oversvømmelses beregninger vi har lavet, har det været nødvendigt at transformere opløsningen af dataet fra 0,4 m til 3,2 m. Vi vurderer, at reduktionen af dataets opløsning kun i mindre omfang vil påvirke resultaternes udfald, da 3,2 m stadig kan betragtes som en fin opløsning, især når vi betragter så stort et domæne som hele Danmark. Et udsnit af DHM/terræn og HPL er illustreret på Figur 7.



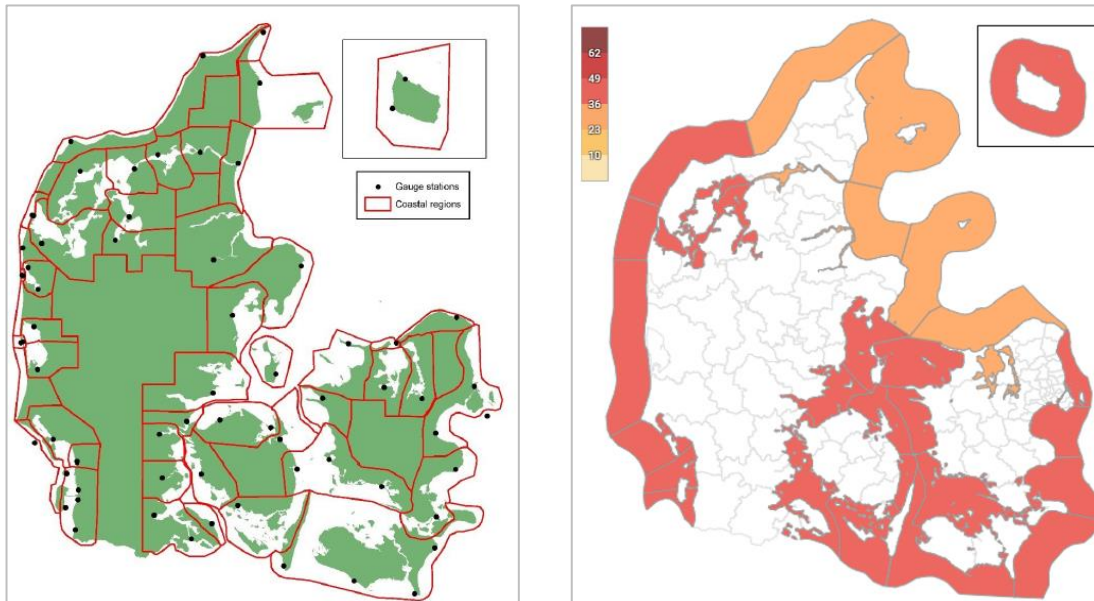
Figur 7: Udsnit af DHM/terræn (højre) og HPL (venstre) data for det vestlige Aalborg.

2.3.2 Kystinddeling og returperioder

Da stormflodshøjderne for en given hændelse varierer meget langs de danske kyster og i de indre danske farvande, er landet inddelt i 51 kystområder. Her benyttes den samme inddeling som ses i DMI's rapport om klimatilpasning (Larsen et al. 2021). Inddelingen er lavet således, at hvert kystområde indeholder mindst en målestation. Da målestationerne danner grundlag for Kystdirektoratets højvandsstatik (Kystdirektoratet, år 2024), er det muligt at differentiere vandstanden for en given hændelse i de forskellige kystområder. Oversvømmelserne i de 51 kystområder modelleres således separat, for at give en mere lokal oversvømmelseskortlægning for hver hændelse. Kystinddelingen fremgår af Figur 8.

Stormflodshøjderne i hvert kystområde er baseret på højvandsstatistikken fra Kystdirektoratet (Kystdirektoratet, år 2024). I kystområder med flere målestationer, og dermed flere højvandsstatistikker, er stormflodshøjderne for de forskellige hændelser baseret på en aritmetisk middelværdi af alle højvandsstatistikkerne i kystområdet. I højvandsstatistikken fra Kystdirektoratet er returperioder på 20, 50, 100 og 200 år angivet. De øvrige tre returperioder på 5, 10 og 500 år er bestemt ved logaritmisk inter-og ekstrapolation.

Stormflodshøjderne fra år 2024 er projiceret til år 2124 ved at tilføje den forventede vandstandsstigning under et RCP 4.5 scenarie til niveauerne fra år 2024. I DMI's klimaatlas, fremgår den forventede vandstandsstigning i perioderne 2041-2070 og 2071-2100 opdelt på 26 forskellige kyststrækninger. Den forventede vandstand i år 2124 er fundet ved ekstrapolation. Overordnet set, forventer DMI en lidt lavere vandstandsændring i det nordøstlige Danmark, sammenlignet med det sydvestlige Danmark, jf. Figur 8. Dette skyldes, at landhævningen efter den sidste istid er størst i den nordøstlige del af landet, hvorfor den relative havstigning vil være mindst her. Vi har midlet over den forventede stigning i middelvandstand for kyststrækningerne i hhv. nordøst og sydvest, så de 26 kyststrækninger er reduceret til 2 regioner. Den forventede middelvandstandsstigning i den nordøstlige region i år 2124 er 57 cm, mens den er 70 cm i sydvest. Vi har derefter tildelt hver af de 51 kystområder en middelvandstand, svarende til den region, de ligger i.

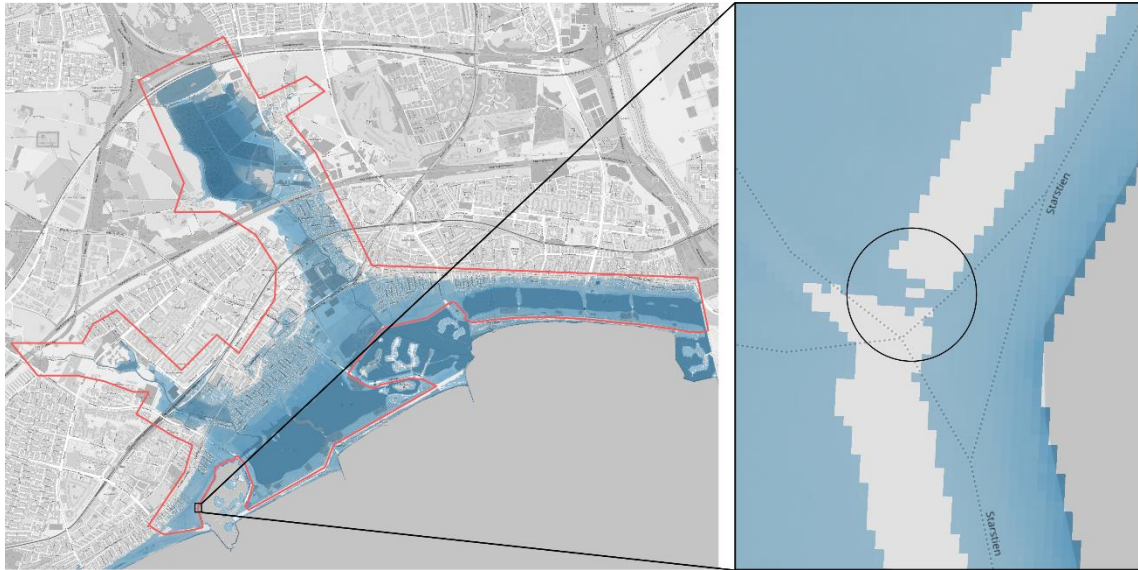


Figur 8: Venstre: Kystinddeling og målestationer (Larsen et al. 2021). Højre: Ændringen i middelvandstanden (inkl. effekten af landhævning men uden bølgebidrag) i slutningen af århundredet målt i cm. (Klimaatlas.dk)

2.3.3 Kvalitetssikring af oversvømmelsesberegninger

Statiske oversvømmelsesberegninger vil som udgangspunkt oversvømme for store arealer, da oversvømmelsesudbredelsen ikke begrænses af stormflodens tidsforløb. Grundet friktionsmodstand vil vandets udbredelsehastighed være afhængig af modstanden i den overflade, der oversvømmes. Udbredelsen vil også afhænge af andre effekter såsom infiltration, energitab i vandløb og rør mm. Da disse dynamiske effekter ikke indgår i statiske modelberegninger, er der foretaget et omfattende kvalitetstjek af modellens resultater. Kvalitetstjekket indebærer manuel korrektion af oversvømmelseskortlægningen, med henblik på at reducere fejlkilderne. På systematisk vis, er de oversvømmede områder med væsentlig betydning for den efterfølgende skadesbegning korrigeret ud fra de følgende tre typer af fejl: Statisk fejl, slusefejl og fejl fra rørlagte vandløb. Fejlens forskellige karakteristika bliver gennemgået nedenfor.

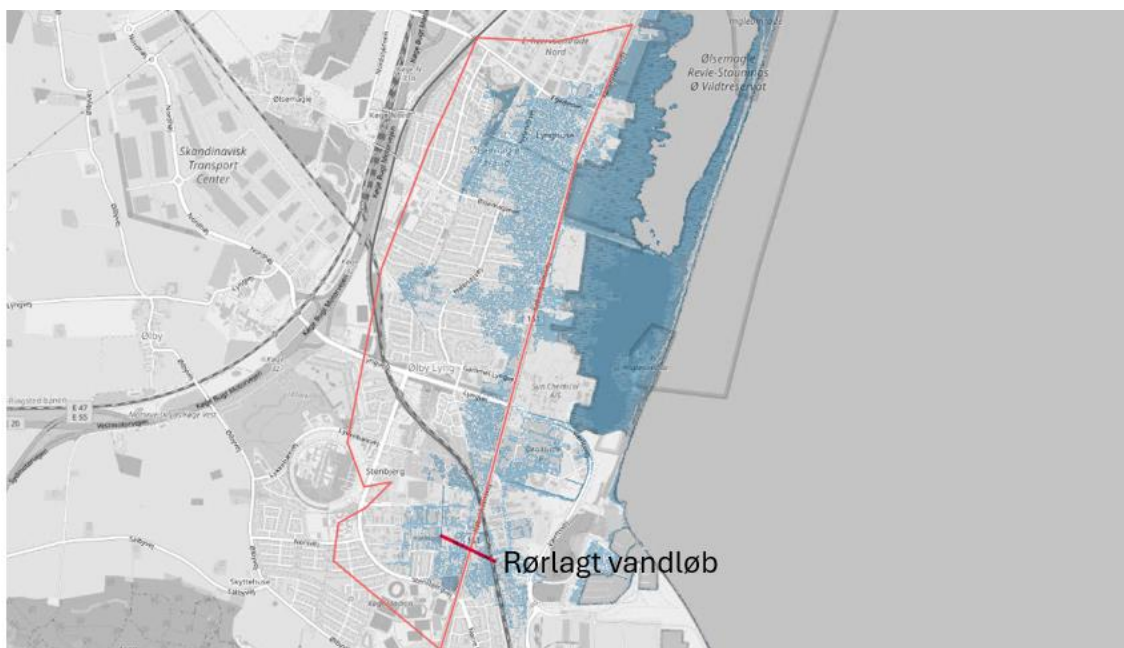
Statisk fejl: Store oversvømmede områder, der er sensitive overfor for små ændringer (få centimer) i vandstand kategoriseres som statiske fejl. Ved statiske fejl er der typisk tale om et større område, der kun er hydraulisk forbundet til havet i et enkelt lille punkt med et smalt tværsnit. I de tilfælde vurderes det, at den store volumen af vand, det kræver at oversvømme lavningen, ikke vil have tid til at strømme igennem den smalle passage før stormen er løjet af og den høje vandstand er aftaget. Et eksempel på en statisk fejl er illustreret på Figur 9. På figuren ses et oversvømmelseskort for en 500-års hændelse i år 2124 i Ishøj og Hundige. Området markeret med den røde polygon har kun hydraulisk kontakt i et enkelt lille punkt. Området i polygonen er derfor fjernet fra det korrigerede oversvømmelseskort.



Figur 9: Eksempel på statisk fejl. Oversvømmelseskort for en 500-års hændelse i Ishøj og Hundige i år 2124. Området i den røde polygon har kun hydraulisk kontakt til havet i et enkelt punkt.

Slusefejl: Sluser og højvandsporte er som udgangspunkt inkluderet i HPL dataet, hvis de optræder korrekt i tilpasningslaget fra GeoDanmark. Ved implementeringen af sluser og højvandsporte i tilpasningslaget skal det angives, hvad vej konstruktionen vender. Hvis konstruktionen vendes forkert, vil den ikke blive modelleret korrekt i HPL, hvilket giver fejl i oversvømmelseskortet. Sluser og højvandsporte er er gennemgået, og evt. fejl er korrigeret.

Fejl fra rørlagte vandløb: Oversvømmede områder, der udelukkende er forbundet til stormfloder igennem rørlagte vandløb, er i videst muligt omfang trukket ud af de korrigerede oversvømmelseskort. Korrektion bygger på en antagelse om, at vandmasserne ikke har tid til at bevæge sig igennem rørføringen, i det omfang det ses i den statiske model, før stormen er løjet af. Et eksempel på et område, der kun er forbundet med havet igennem et rørlagt vandløb, fremgår af Figur 10.



Figur 10: Eksempel på fejl fra rørlagt vandløb. Oversvømmelseskort for en 500-års hændelse Køge i år 2024. Området i den røde polygon har kun hydraulisk kontakt til havet gennem et rørlagt vandløb (angivet med rød streg).

Fordelen ved at benytte en statisk model er, at den giver mulighed for at lave nationale oversvømmelsesscenarier med stor geografisk detaljeringsgrad. Da en af de største fejkilder i oversvømmelsesberegninger ofte kan tilskrives modellens opløsning, er det en stor modelteknisk styrke at muliggøre nationale analyser med en opløsning på 3,2 meter. Med nuværende computerregnekraft havde det ikke været muligt med en dynamisk model. Det er altid en afvejning at balancere modellens detaljeringsgrad og kompleksitet i forhold til resultat usikkerhed og ressourceforbrug. I mange tilfælde vil en simpel statisk model og en kompleks dynamisk model give næsten ens resultater. Tilsvarende vil en statisk model med tilstrækkelig fin opløsning give bedre resultater end en dynamisk model med tilstrækkelig grov opløsning. Forskellene mellem en statisk og dynamisk model under fremtidige klimascenarier vil sandsynligvis i mange tilfælde være mindre end usikkerheden omkring fremtidige vandstande, hvilket i dette tilfælde taler for brugen af en simpel model. Efter korrektion af de tre fejlkategorier, vurderes det, at oversvømmelseskortene udgør et godt nationalt estimat af de berørte områder for de analyserede hændelser i hhv. år 2024 og år 2124. Der vil stadig være usikkerhed forbundet med resultaterne, hvilket der altid vil være, i så geografisk omfattende oversvømmelsesanalyser.

3. Skadesberegninger

3.1 Metode til beregning af skader fra oversvømmelser

Skadesøkonomi beregningsmodellen OS2-SkadesØkonomi (<https://www.os2.eu/os2skadesokonomi>) er anvendt til at beregne økonomiske skader for både oversvømmelser fra skybrud og stormfloder. Modellen er oprindelig udviklet af DTU, og der foregår et løbende samarbejde mellem en række kommuner, der leder OS2-SkadesØkonomi, og DTU om videre udvikling og anvendelse af modellen.

Modellen sammenholder information om områder, som kan forventes at blive oversvømmet ved en given hændelse, jævnfør oversvømmelseskortene, med information om den geografiske placering af enheder (bygninger, mennesker, veje, landbrug mm.) som kan forventes at tage skade eller blive påvirket negativt som følge af oversvømmelsen. Det er med SkadesØkonomi muligt at beregne skader for ti forskellige sektorer, hvoraf der for seks af disse beregnes et økonomisk tab. For de resterende sektorer udpeges de enheder, som er oversvømmelsestruede. Figur 11 viser de sektorer som er omfattet af værktøjet OS2-SkadesØkonomi. En del af sektorerne er endnu ikke fuldt udviklet, så de økonomiske tab kan beregnes, men sårbare områder kan udpeges i modellen som f.eks. økosystemer og kritisk infrastruktur. Denne analyse omfatter kun sektorer, hvor der direkte kan beregnes økonomiske tab i modellen. Indenfor de økonomiske skadesberegninger viser erfaringer med anvendelse af OS2-SkadesØkonomi for danske kommuner, at bygningsskader udgør ca. 75% af de økonomiske tab. Derudover udgør reducerede indtægter fra turisme og konsekvenser for mennesker og helbred hver ca. 10% af de samlede tab, dog med store variationer fra sted til sted og for forskellige oversvømmelsestyper. Skader på vej og trafik og afgrødetab for landbruget udgør i de fleste tilfælde op til 5 % af skaderne.

I denne analyse er sektorerne bygninger, turisme, vej og trafik og omfattet til beregning af skadesomkostninger for skybrud, og for stormflod er sektorerne bygninger, turisme, vej og trafik og landbrug omfattet. For skybrud er afgrødetab for landbruget ikke medtaget, da der på nuværende tidspunkt ikke er et tilstrækkeligt empirisk grundlag for at beregne økonomiske tab som følge heraf. Mennesker og helbred er ikke medtaget som en økonomisk sektor for skybrud og stormflod pga. et begrænset datagrundlag. Antallet af berørte bygninger beregnes for både skybrud og stormflod.



Figur 11: Sektorer som er omfattet af værktøjet OS2-SkadesØkonomi (nov. år 2024).

3.1.1 Oversigt over modellens forudsætninger for de beregnede sektorer

I det følgende vil forudsætningerne for skadesberegningen for de enkelte sektorer, som indgår i skadesberegningerne blive gennemgået.

Bygninger

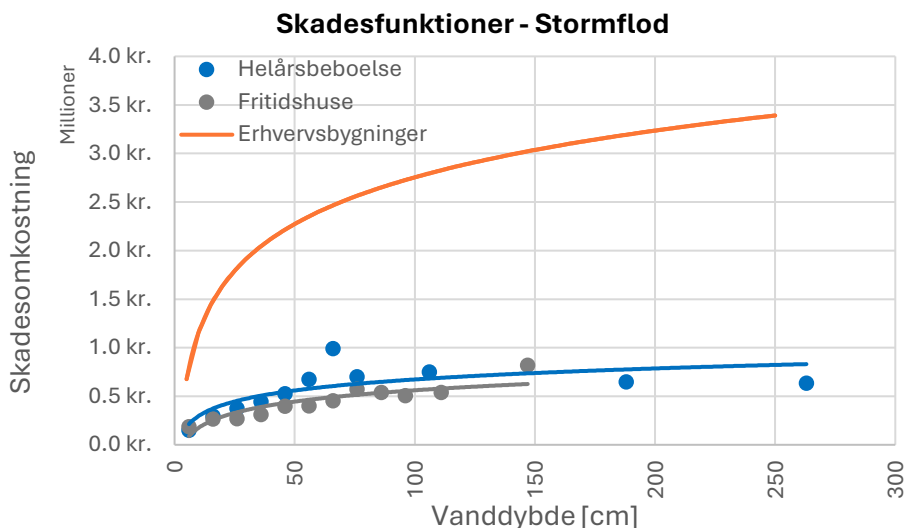
Bygningsmodellen beregner det direkte økonomiske tab ved at skaden på en bygning og indbo skal udbedres/erstattes efter, at bygningen har været berørt af oversvømmelsen. Udarbejdelsen af skadesfunktionerne for stormfloder er baseret på analyser af udbetalinger fra Naturskaderådet i forbindelse med historiske stormfloder, herunder stormfloden Bodil i 2013. Skadesfunktionerne er baseret på data for alle forsikringsudbetalinger for stormfloder på adresseniveau i perioden 2013-2017. Udbetalingerne omfatter dækning af omkostninger til renovering og løsøre i form af inventar-data, og indeholder anmeldelser fra 1075 sommerhuse og 906 helårsboliger fordelt over 6 storme, hvoraf størstedelen stammer fra stormen Bodil i december 2013 (SkadesØkonomi, Faglig beskrivelse, 2023). Forsikringsudbetalinger for stormfloden i oktober 2023 er endnu ikke tilgængelige, og indgår derfor ikke i datagrundlaget for skadesfunktionen på nuværende tidspunkt.

Der er udarbejdet en række separate skadesfunktioner for bygninger med forskellige anvendelser jævnfør BBR registret. Eftersom BBR-registret i udgangspunktet indeholder et større antal anvendelseskoder end, hvad der er meningsfyldt i oversvømmelsesberegninger, er der foretaget en gruppering af disse i ti forskellige kategorier (og kælder), jævnfør bygningernes anvendelse (Tabel 2).

Tabel 2: Oversigt over skadesfunktioner for stormflod for forskellige bygningsanvendelser

Anvendelse	Skadesfunktion	Enhed (er)
Helårsbeboelse	Areal (m2 stueetage) * (1167.86*np.log(X) - 571.21)	X = vanddybde
Erhverv, Forsyning Offentlig, Kultur	Areal (m2 stueetage) * (1387.94*np.log(X) - 881.8)	X = vanddybde
Sommerhus	Areal (m2 stueetage) * (1681.71*np.log(X) - 2128.87)	X = vanddybde
Anneks	30.000 kr.	Skade pr bygning ved 20 cm vand.
Garage	30.000 kr.	Skade pr bygning ved 20 cm vand.
Andet	1.000 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Ingen data	1.000 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Kælder	578 kr.	Skade pr m2 kælder ved 20cm vand

For de fleste af bygningsanvendelserne anvendes en vanddybdeafhængig skadesfunktion, og skaden stiger derfor jo større vanddybden er på land som er i berøring med bygningerne (Figur 12). For mindre bygninger, såsom anneks og garager, og hvor ingen anvendelsesdata findes, anvendes en enhedsomkostning (pr bygning eller pr m2) når en tærskelværdi for vanddybden på 20 cm overskrides. Herudover så er det forudsat at minimum 5 % af bygningsperimeteren (gælder alle anvendelser) skal være berørt af oversvømmelsen før en skade udløses. For store bygninger (> 300m2 stueareal) gælder det at minimum 10 % af bygningsperimeteren (gælder alle anvendelser) skal være berørt.



Figur 12: Skadesfunktioner for erhvervsbygninger (orange), helårsbeboelse (blå) og fritidshuse (grå) i Skadesøkonomi modellen, der beskriver sammenhængen mellem vanddybden i cm. omkring bygningen og den absolutte skade i kr.

For skybrud tager skadesfunktionerne udgangspunkt i de nationale standardskadesværdier til beregning af skader for de bygninger som oversvømmes i forbindelse med skybrud (Klimatilpasning.dk, 2024). Skadesfunktionerne er derfor ikke vanddybdeafhængige på samme måde som for stormfloder, og en konstant skade beregnes for vanddybder på land over en fastsat tærskelværdi på 20 cm. Eftersom de nationale skadesværdier ikke indeholder data om skaden pr. m² for hverken fritidshuse eller erhvervsbygninger (her findes data pr. bygning) er disse estimeret med udgangspunkt i forskellen i skadesfunktionerne for stormflod mellem de forskellige bygningskategorier. De anvendte skadesfunktioner for skybrud fremgår af Tabel 3.

Tabel 3: Oversigt over skadesfunktioner for skybrud for forskellige bygningsanvendelser

Anvendelse	Skadesfunktion	Enhed (er)
Helårsbeboelse	1.257 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Erhverv, Forsyning, Offentlig Kultur	1.407 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Sommerhus	1.249 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Anneks	30.000 kr.	Skade pr bygning ved 20 cm vand.
Garage	30.000 kr.	Skade pr bygning ved 20 cm vand.
Andet	1.000 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Ingen data	1.000 kr.	Skade pr m2 stueetage ved 20cm vand.
Kælder	578 kr.	Skade pr m2 kælder ved 20cm vand.

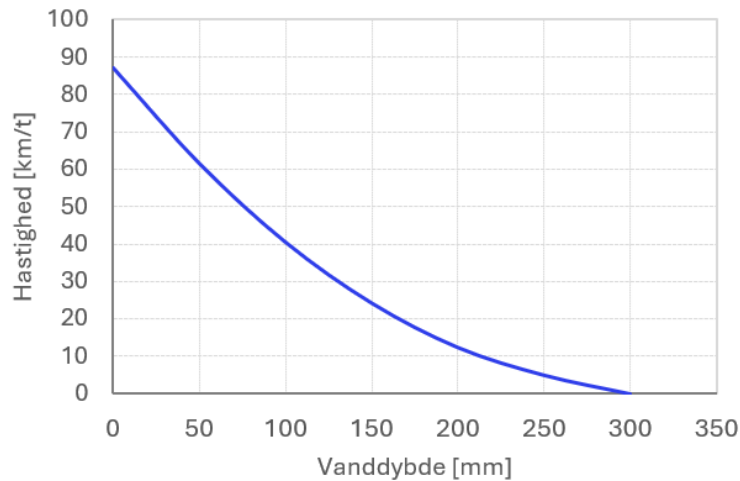
Skadesfunktionerne for bygninger som anvendes i denne analyse, er udarbejdet med udgangspunkt i tilsvarende data for forsikringsudbetalinger som analyseres i en nyligt udgivet videnskabelig rapport om ”Forudsigelse af samlede skadesudbetalinger ved oversvømmelser” (Panduro, 2024). Resultaterne i Panduro (2024), og konklusionerne heri vedrørende anbefalinger om økonomiske værdier er derfor sammenlignelige med de anvendte skadesfunktioner i nærværende rapport.

Vej og trafik

For vej og trafik beregnes de økonomiske tab forbundet med øget transporttid og reparation af vejnettet som følge af oversvømmelser og der anvendes de samme forudsætninger til beregning af omkostninger ved oversvømmelser for skybrud og stormflod.

Øget transporttid

Oversvømmelser af vejnettet vil føre til nedsat hastighed og/eller lukning af veje, hvorfor transporttiden alt andet lige vil blive forøget så længe vejnettet står under vand. Pregolato et al., 2017 har gennemført et omfattende review af studier, som har estimeret sammenhængen mellem oversvømmelser fra skybrud med vand på kørebanerne og kørselshastigheden, og (Figur 13) illustrerer denne sammenhæng, som er anvendt i skadesberegningerne. Hastighedsnedsættelsen starter ved en vanddybde på 7,5 cm og forsætter indtil vejen ikke længere er farbar ved omkring 30 cm. Herefter må trafikanterne finde alternative ruter.



Figur 13: Sammenhængen mellem vand på kørebanen og kørselshastighed

Den øgede transporttid, som beregnes af modellen, som følge af oversvømmelser baserer sig på en række udregninger foretaget af DTU Transport ved brug af Landstrafikmodellen (LTM). Landstrafikmodellen er en samlet trafikmodel for Danmark, der benyttes til at se på, hvordan ændringer i demografi og økonomi påvirker transporten på tværs af transportformer. Som udgangspunkt for skadesberegningen for vej og trafik i OS2-SkadesØkonomi modellen benyttes LTM til at se på, hvordan trafikken og rejsetiden ændres, hvis der er forhindringer på vejnettet, og trafikken bliver langsommere og/eller alternative ruter dermed benyttes. På basis af specifikke trafik tal på vejstrækningniveau gennemføres en beregning af den ekstra transporttid som følge af oversvømmelser af vejnettet. Herefter omregnes denne til et økonomiske tab ved brug af Transportministeriets transportøkonomiske enhedspriser (Transportministeriet, 2021), hvor en værdi på 301 kr./t er anvendt.

Reparation af veje

Omkostningerne til oprydning af veje efter oversvømmelser er meget afhængige af områder og specifikke hændelser, så det er derfor svært at estimere en specifik omkostning. Dertil kommer, at der kan være skader på infrastruktur som f.eks. på broer, hvor særlige forhold gør sig gældende. I denne analyse anvendes en enhedspris på 20 DKK/m vej som oversvømmes.

Turisme

Modellen anvendes til bestemmelse af potentielle tabte økonomiske indtægter fra turisme. Turismesektoren omfatter skader på en lang række underliggende sektorer som f.eks. sommerhuse, hoteller, restauranter, museer, shopping. Vores metode bygger på en række antagelser om antallet af oversvømmede overnatningsmuligheder og mistede indtægter baseret på forudsætninger om varighed af de mistede indtægter og mistet indtægt per dag. Tal fra VisitDenmark (VisitDenmark, 2022) som viser turisternes døgnforbrug for forskellige overnatningstyper i år 2020, er anvendt som beregningsforudsætning i modellen.

Omkostningerne ved oversvømmelse i form af mistet turisme beregnes for hver bygning, som anvendes til turistformål som:

$$\text{Tabte indtægter fra turisme} = \text{kapacitet} * \text{mistede antal overnatninger} * \text{indtægt pr. overnatning (kr.)}$$

Landbrug

Omkostningerne ved oversvømmelse af landbrugsarealer beregnes ud fra arealet af oversvømmelsen samt data for pris og høstudbytte for den pågældende afgrøde. Modellen tager udgangspunkt i datasættet "Marker" som udgives af Landbrugsstyrelsen, og opdateres årligt. Det oprindelige Marker datasæt indeholder mere end 300 forskellige afgrødekoder, og disse er af praktiske årsager og pga. databegrænsninger, efterfølgende inddelt i 40 forskellige priskategorier med et individuelt skadesbeløb i øre pr. m² oversvømmet areal. De specifikke priskategorier mm. kan findes i den nyeste version af brugervejledningen til værktøjet SkadesØkonomi (SkadesØkonomi, 2024).

3.2 Forudsætninger for skadesberegningerne

En væsentlig forudsætning for skadesberegningerne for fremtidige hændelser, er at byerne og arealanvendelsen i fremtiden er som i dag. Det betyder f.eks. at alle bygninger som findes i dag er placeret samme sted og anvendes på samme måde i fremtiden. Det er således kun klimaet, som ændrer sig i beregningerne. Konsekvensen af denne forudsætning kan forventes at være, at de fremtidige værdier som vil gå tabt underestimeres, da disse må forventes at blive forøget i fremtiden.

Det er i beregningen forudsat, at der ingen skader er for hændelser som sker hvert andet år eller hyppigere, da så hyppige skader må forventes at lede til klimasikring på kort sigt. Dette er gældende for både stormflod og skybrud og for hændelser, som sker i dag og i fremtiden.

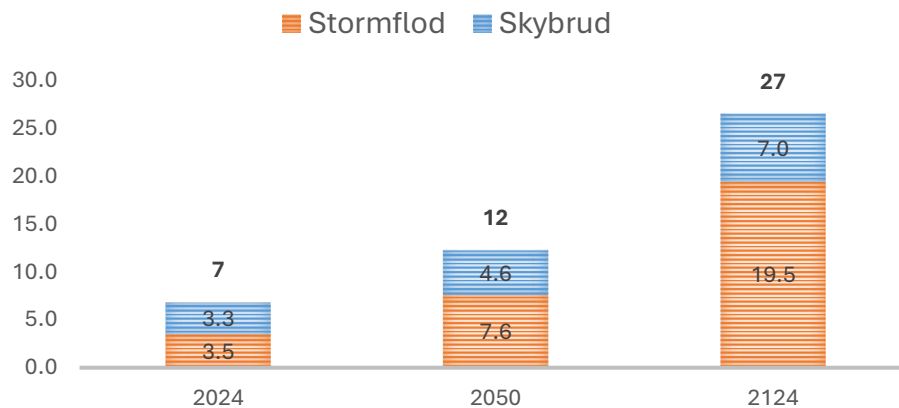
3.3 Resultater af skadesberegningerne

Beregningerne viser, at i løbet af de næste 100 år vil de samlede forventede skader på boliger, sommerhuse, erhvervsbygninger, transport, landbrug og turisme blive omkring 406 mia. kr. fordelt med omkring 157 mia.kr. til skybrud og omkring 249 mia.kr. til stormfloder regnet tilbage til dagens værdi². Hvis vi alene ser på udgifterne til dækning af skadesomkostninger ved oversvømmelse af bygninger i form af boliger, sommerhuse og erhvervsbygninger baseret på skadesstatistik fra tidligere oversvømmelser, så vil omkostningerne i de næste 100 år kunne løbe op i omkring 359 mia. kr. regnet tilbage til dagens værdi.

Skaderne ved oversvømmelser fra skybrud og stormfloder vil vokse år for år, da klimaændringerne betyder flere skybrud og stigende havniveau. I Figur 14 ses de forventede årlige skader fra oversvømmelser for henholdsvis skybrud og stormfloder. For skybrud beregnes en årlig skade på ca. 3,3 mia. kr. i år 2024, stigende til 4,6 mia. kr. i år 2050 og 7 mia. kr. i år 2124. For stormfloder er de tilsvarende årlige skader henholdsvis 3,5, 7,6 og 19,5 mia. kr. De samlede omkostninger pr. år for begge oversvømmelsestyper er ca. 7 mia.kr. i år 2024, 12 mia.kr. i år 2050 og 27 mia.kr. i år 2124. Skader på bygninger udgør den største andel af de samlede skader for både skybrud og stormflod med samlede skader pr. år på omkring 6 mia. kr. i dag, 11 mia. kr. i år 2050 og ca. 24 mia. kr. i år 2124.

² Opgjort som nutidsværdi, som betyder, at fremtidige skadesomkostningerne er diskonteret til i dag med den samfundsøkonomiske kalkulationsrente, jf. Finansministeriets Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger

FORVENTEDE ÅRLIGE SKADER (MIA.KR.) ALLE SEKTORER

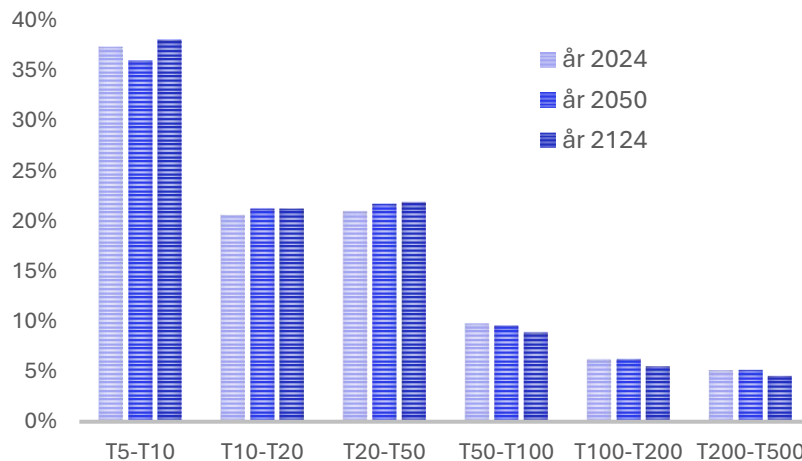


Figur 14: Forventede årlige skader i mia.kr. i år 2024, år 2050 og år 2124 for skybrud og stormfloder.

3.3.1 Beregning af omkostninger ved oversvømmelser fra skybrud

Omkostningerne ved oversvømmelser for skybrud er beregnet for returperioderne T5, T10, T20, T50, T100, T200 og T500. Som det ses af Figur 15, er en meget stor del af omkostningerne knyttet til hændelser med lave returperioder, som T5 og T10, og det er en konsekvens af, at hændelserne gentages så ofte. I Figuren kan også ses, at hændelsernes bidrag til de samlede omkostninger er meget ensartet på tværs af år 2024, år 2050 og år 2124.

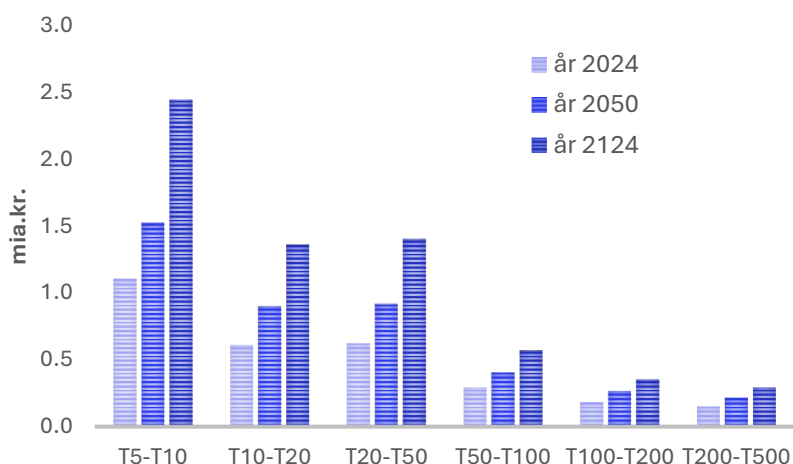
ANDELE AF HÆNDELSER - SKYBRUD



Figur 15: Fordeling af de forventede årlige skader på hændelsesintervaller i %, skybrud.

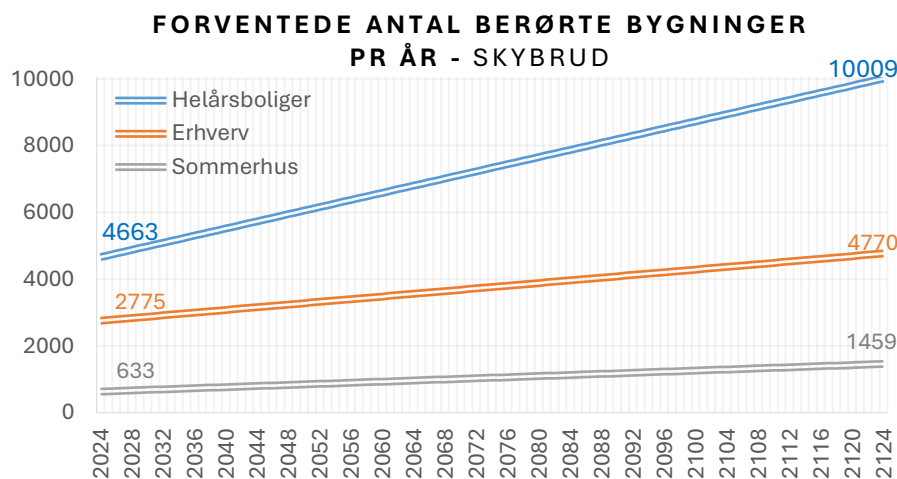
Billedet ændrer sig dog, hvis man ser på de absolutte omkostninger ved oversvømmelser fra skybrud (Figur 16). Her er der markant større absolutte omkostninger i år 2124 end i år 2024, især for oversvømmelser fra skybrud med de korteste returperioder.

ANDELE AF HÆNDELSER - SKYBRUD



Figur 16: Fordeling af de forventede årlige skader på hændelsesintervaller, skybrud.

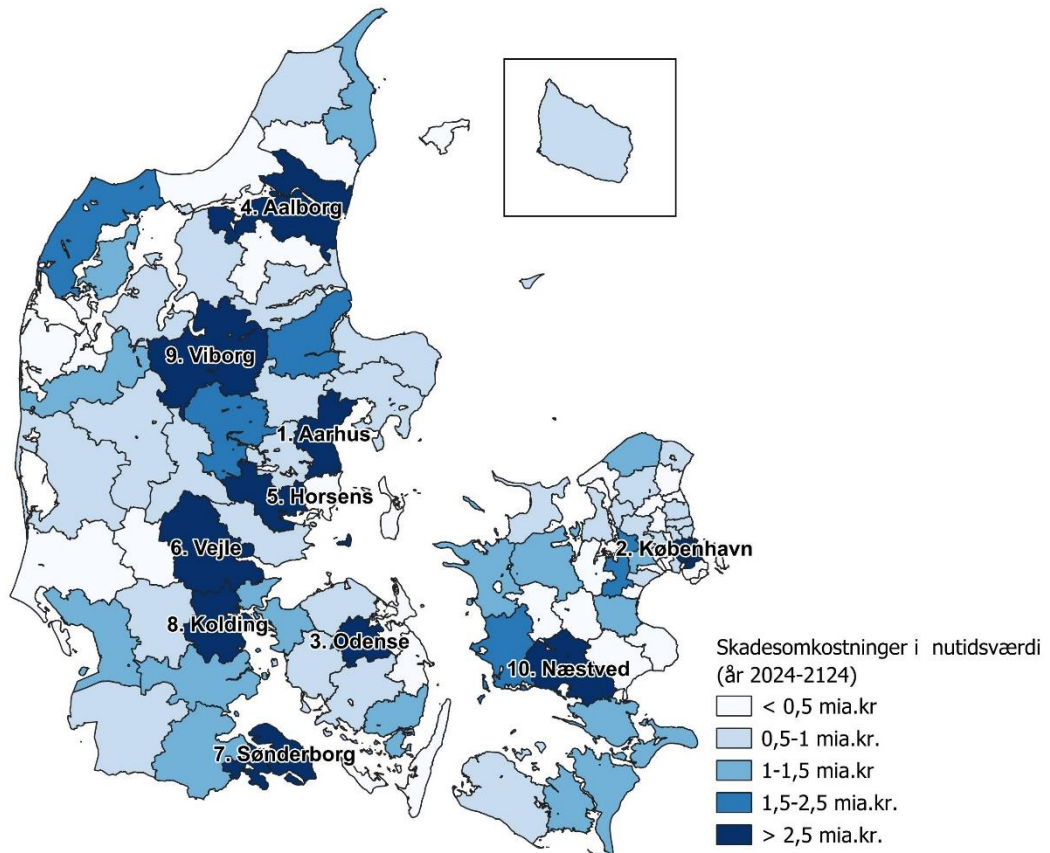
Antallet af bygninger som kan forventes at blive berørt af oversvømmelser fra skybrud hvert år bliver ca. fordoblet i perioden år 2024-2124. (Figur 17). For helårsboliger ses en stigning fra ca. 4.700 bygninger i dag til ca. 10.000 bygninger i år 2124. For erhvervsbygninger og sommerhuse er de tilsvarende tal henholdsvis ca. 2.800 og 630 bygninger i dag, stigende til ca. 4.800 og 1.500 bygninger i år 2124.



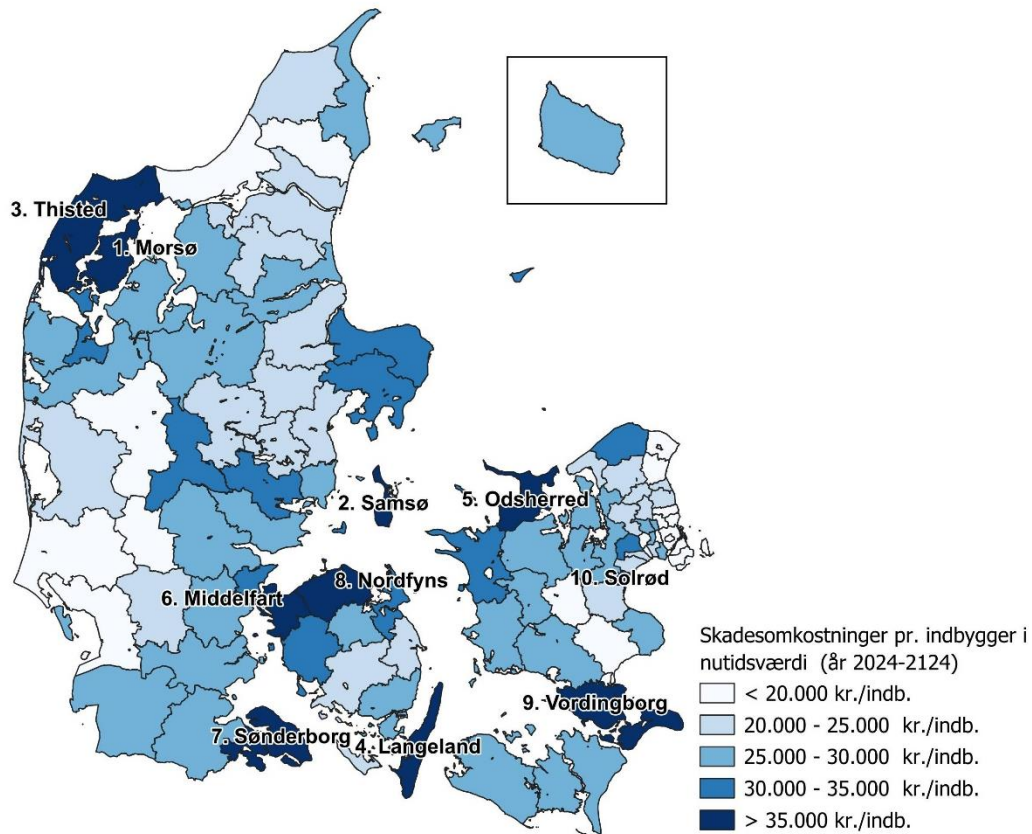
Figur 17: Forventede antal berørte bygninger pr. år for skybrud, opgjort for helårsboliger, erhvervsbygninger og sommerhuse.

Beregningerne er foretaget på detaljeret geografisk niveau, og der er derfor også beregninger, som opgør skaderne ved oversvømmelser på kommuneniveau. Figur 18 og Figur 19 viser henholdsvis de forventede totale skadesomkostninger i nutidsværdi pr. kommune og pr. indbygger ved skybrud i perioden år 2024-2124. Som det ses af Figur 18 er det især de store byer, som kan forventes at få

store omkostninger ved skybrud. Regnet ift. befolkningstallene i kommunerne ses det at det især er kommuner ude i landområderne som bliver hårdest ramt (Figur 19) .



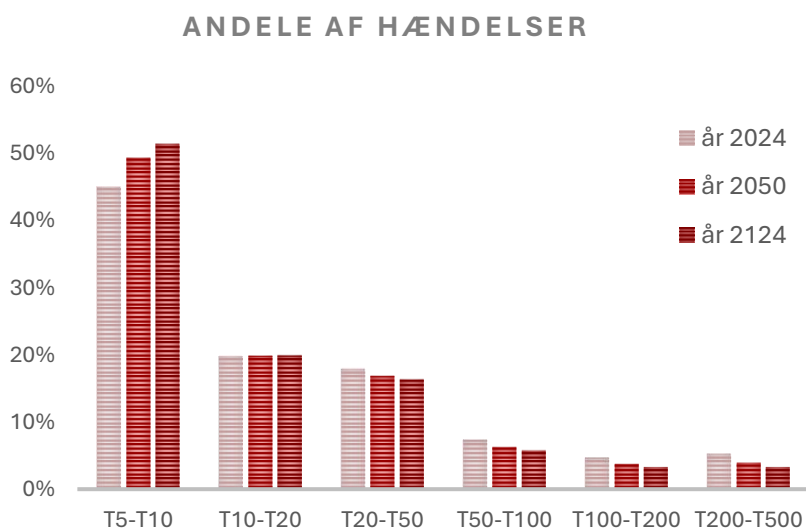
Figur 18: Forventede skader i nutidsværdi for oversvømmelser fra skybrud over de næste 100 år (år 2024-2124), fordelt på kommuneniveau. Værdierne 1-10 angiver kommuner med størst omkostninger.



Figur 19: Forventede skadesomkostning pr. indbygger i nutidsværdi for oversvømmelser fra skybrud over de næste 100 år (år 2024-2124), fordelt på kommuneniveau. Værdierne 1-10 angiver kommuner med størst omkostninger.

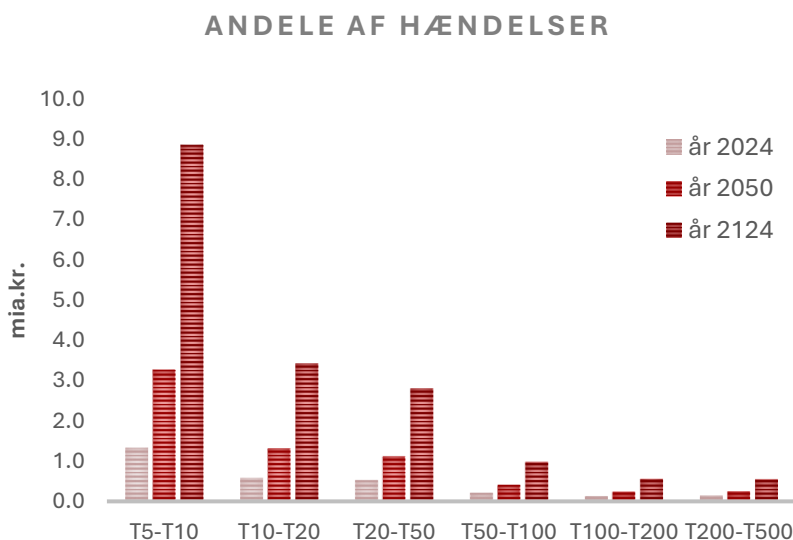
3.3.2 Beregning af omkostninger ved oversvømmelser fra stormfloder

Omkostningerne ved oversvømmelser for stormflod er beregnet for returperioderne T5, T10, T20, T50, T100, T200 og T500. Som det ses af Figur 20, er en meget stor del af omkostningerne knyttet til hændelser med lave returperioder. Dette skyldes en høj hyppighed af de ”små” hændelser kombineret med en relativ stor skadesværdi. Fra Figur 20 ses også, at hændelsernes bidrag til de samlede omkostninger er relativt ensartede i år 2024, år 2050 og år 2124, dog med en tendens til at de små hændelser bliver relativt vigtigere i fremtiden, og omvendt for de store hændelser.



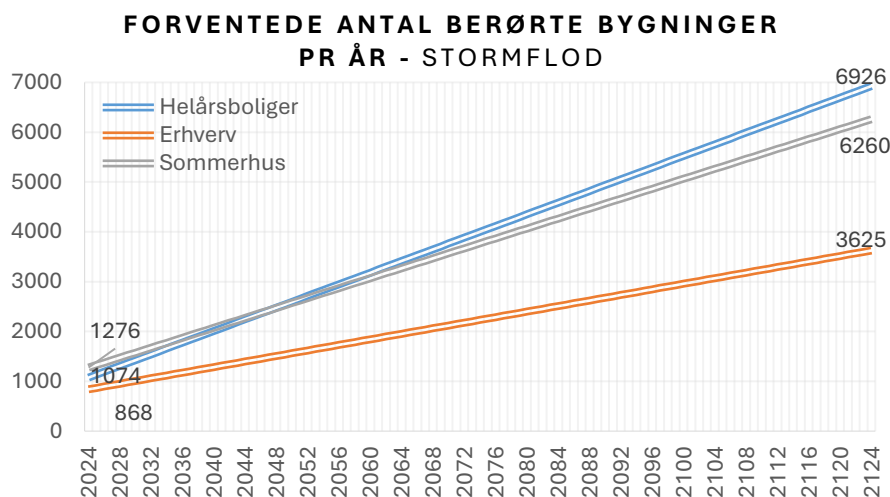
Figur 20: Fordeling af de forventede årlige skader på hændelsesintervaller i %, stormflod.

Billedet ændrer sig dog, hvis man ser på de absolutte omkostninger ved oversvømmelser fra stormflod (Figur 21). Her er der markant større absolutte omkostninger i år 2124 end i år 2024, for oversvømmelser fra stormflod for alle returperioder.



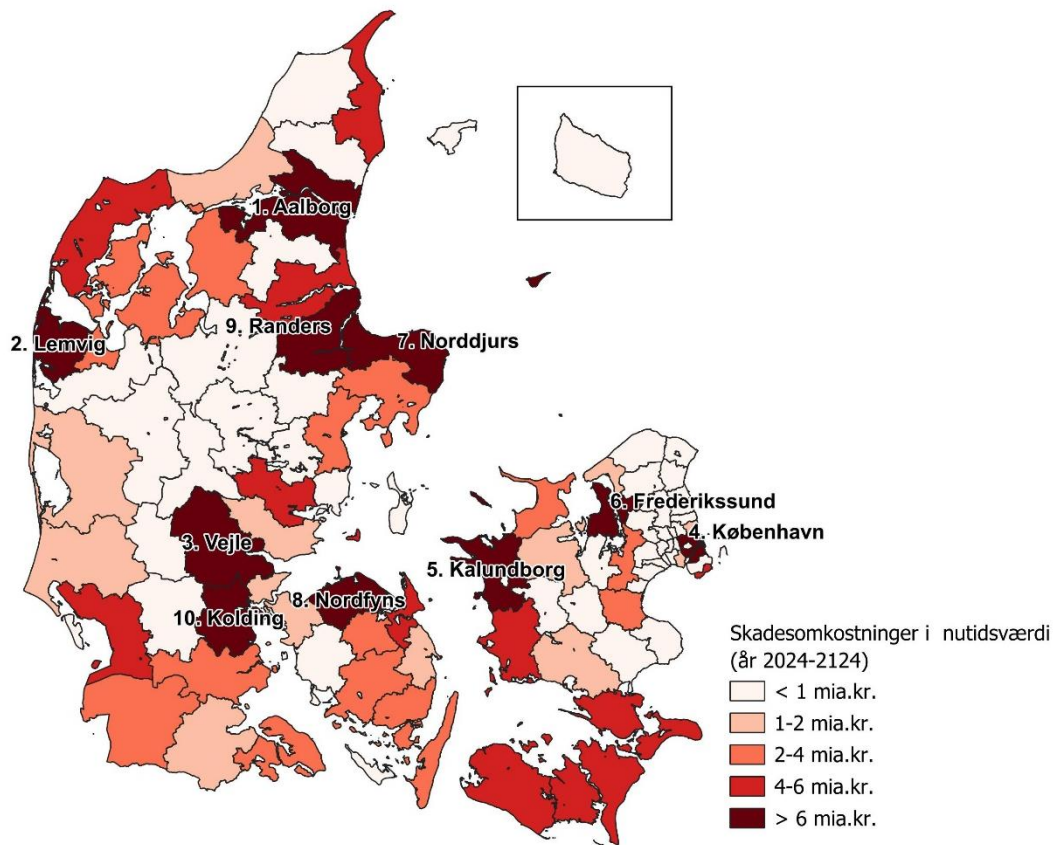
Figur 21: Fordeling af de forventede årlige skader på hændelsesintervaller, stormflod

Antallet af bygninger som kan forventes at blive berørt af oversvømmelser fra stormflod hvert år bliver ca. femdoblet i perioden år 2024-2124. (Figur 22). For helårsboliger ses en stigning fra ca. 1.100 bygninger i dag til ca. 6.900 bygninger i år 2124. For erhvervsbygninger og sommerhuse er de tilsvarende tal henholdsvis ca. 900 og 1.300 bygninger i dag, stigende til ca. 3.600 og 6.300 bygninger i år 2124.

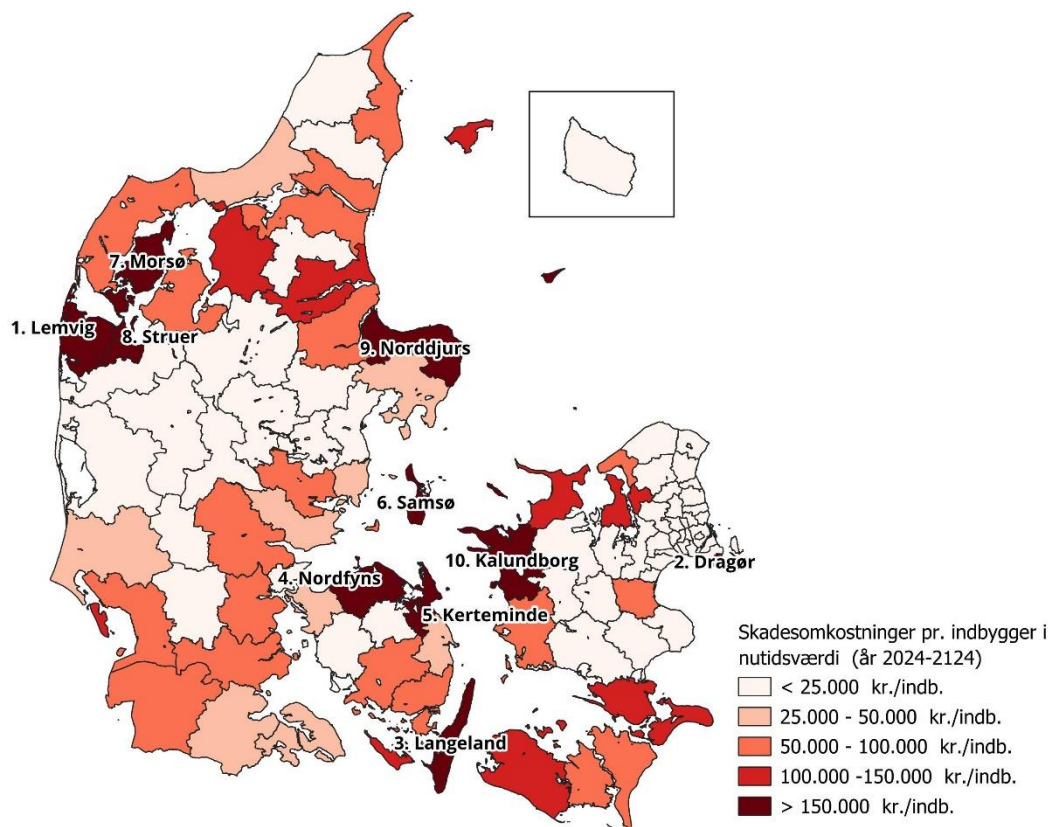


Figur 22: Forventede antal berørte bygninger pr. år for stormfloder, opgjort for helårsboliger, erhvervsbygninger og sommerhuse.

Beregningerne for stormflod er ligeledes foretaget på et detaljeret geografisk niveau, og der er derfor også beregninger, som opgør skaderne ved oversvømmelser på kommuneniveau. Figur 23 og Figur 24 viser henholdsvis de forventede totale omkostninger i nutidsværdi pr. kommune og pr. indbygger for perioden år 2024- 2124. Som det ses af Figur 23 er det både en række store byer og landområder, som forventes at kunne få store omkostninger ved stormflod, som endda kan være større end 6 mia. kr. i nettonutidsværdi. Regnet ift. befolkningstallene i kommunerne som i Figur 24 ændrer dog billedet, så især en række kommuner ude i landområderne bliver hårdest ramt.



Figur 23: Forventede skader i netto-nutidsværdi for oversvømmelser fra stormflod over de næste 100 år (år 2024-2124), fordelt på kommuneniveau. Værdierne 1-10 angiver kommuner med størst omkostninger



Figur 24: Forventede skader i nutidsværdi pr. indbygger for oversvømmelser fra stormflod over de næste 100 år (år 2024-2124), fordelt på kommuneniveau. Værdierne 1-10 angiver kommuner med størst omkostninger

4. Vurdering af behov for klimasikring

4.1 Beregning af klimasikring til oversvømmelser fra skybrud

Vurderingen af behovet for investering i klimasikring for at reducere skader som en konsekvens af oversvømmelser fra skybrud følger en af anvendte metoder i forbindelse med indledende screeninger til fastlæggelse af serviceniveau for vand på terræn, jævnfør serviceniveaubekendtgørelsen Bek. nr. 2276 af 29/12/20 og vejledningen som findes i relation hertil (Miljøstyrelsen, 2022). HOFOR, Aarhus Vand, Vejle Spildevand mfl. har f.eks. anvendt en tilsvarende metode, som beskrives i det følgende. Overordnet set tager beregningen af behovet for klimasikring til oversvømmelser fra skybrud udgangspunkt i den mængde vand på terræn, som er skadesudløsende og, som kan findes gennem analyser af de oversvømmelseskort, som også ligger til grund for skadesberegningen. Herefter kombineres det beregnede vand-volumen med en enhedspris pr. m³ overfladevand, som skal håndteres for at fjerne skaden.

I en detaljeret analyse for et mindre område (vandoplandsniveau) kan man ved brug af en numerisk hydraulisk model implementere løsninger til at opnå forskellige serviceniveauer. Omkostningerne til at etablere sådanne løsninger kan beregnes specifikt for det enkelte område. Baseret på løsningerne ville man ideelt set efterfølgende beregnes nye oversvømmelseskort for de forskellige tilpasninger og gentagelsesperioder og heraf nye skadesniveauer. På et screeningsniveau bruger vi en mere overordnet tilgang, hvor det antages, at det oversvømmelsesvolumen, som ligger på terræn med en dybde over henholdsvis 5 og 10 cm, og som er i berøring med en bygning skal håndteres, og at omkostningerne til en løsning kan findes ved at anvende en fælles enhedspris for hver m³ vand, der skal håndteres.

Afskæringskriterierne på 5 og 10 cm er valgt med udgangspunkt i analyser gennemført af HOFOR i relation til Screening af serviceniveau i Københavns Kommune (HOFOR A/S, 2023b). I screeningen for København anvendes et afskæringskriterie på 10 cm, men det dokumenteres samtidig, at 5 cm nok er mere retvisende. Dette betyder, at det samlede volumen over henholdsvis 5 cm og 10 cm, som er i kontakt med en beskadiget bygning medregnes til det volumen, som skal håndteres.

Herudover gennemføres en korrektion, som tager højde for at der i nogle tilfælde vil være store oversvømmede arealer, som kun berør få bygninger, og dermed fører til relativt få skader sammenlignet med den volumen af overfladevand som udløser skaden. I sådanne tilfælde er det ikke realistisk, at man vil implementere løsninger, som fjerner oversvømmelserne/skaderne. Vores analyser viser, at ca. 10 % af det samlede volumen hører til denne kategori, og det samlede volumen (over henholdsvis 5 cm og 10 cm) er derfor reduceret med 10 % for alle hændelser inden den endelige tiltagsomkostning beregnes.

I Tabel 4 og Tabel 5 ses det samlede volumen som skal håndteres for de forskellige hændelser for at fjerne alle skader for den pågældende hændelse. Det samlede volumen er vist for vanddybder > 5 cm (Tabel 4) og > 10 cm (Tabel 5).

Tabel 4: Total volumen >5cm vanddybde for forskellige hændelser for skybrud (mio. m³)

Hændelse	år 2024	år 2050	år 2124
T5	2.7	3.7	6.4
T10	4.5	6.9	11.0
T20	6.9	11.0	18.1
T50	12.3	18.1	28.7
T100	16.5	26.2	40.1

Tabel 5: Total volumen >10cm vanddybde for forskellige hændelser for skybrud (mio. m³)

Hændelse	år 2024	år 2050	år 2124
T5	2.1	2.9	5.0
T10	3.5	5.4	8.7
T20	5.4	8.7	14.5
T50	9.7	14.5	23.5
T100	13.2	21.3	33.4

Enhedsprisen pr. m³ vand som skal håndteres som anvendes i nærværende analyse, er baseret på en kombination af erfaringstal fra analyser fra forskellige kommuner og spildevandsselskaber, herunder analyser gennemført af/for HOFOR, Aarhus Vand og Vejle Spildevand, og priserne i tiltagskataloget i klimatilpasningsværktøjet Plask (Plask, år 2024). Der er stor variation i priserne på tværs af analyserne for de enkelte områder. Fra screeningsanalysen for Københavns kommune ses en vurderet enhedspris for tiltagsomkostninger pr. m³ vand på ca. 10.000-25.000kr/m³ (HOFOR A/S, 2023a og HOFOR A/S, 2023b). Variationen i disse enhedspriser afspejler forskelle i potentielle løsningstyper i de masterplaner som er udarbejdet for de forskellige vandoplande i København. Generelt set, så findes den højeste m³ pris for de tættest bebyggede områder. Priserne, som er forudsat i København, er noget højere end for de andre områder, hvilket højest sandsynligt skyldes den høje bebyggelsesgrad her. For Aarhus anvendes en pris på 6.000kr/m³ og i Vejle er der brugt 5.000kr/m³ (og henholdsvis 2.000kr/m³ og 10.000kr/m³ i en følsomhedsanalyse). I tiltagskataloget PLASK ses priser på 5.600kr/m³ for åbne bassiner (beton) og ca. 6.000-12.000kr/m³ for lukkede bassiner med rensning.

Med udgangspunkt i ovenstående gennemgang af eksisterende analyser og anbefalede priser, anvendes der i denne analyse en enhedspris pr. m³ vand som skal fjernes på 10.000kr. Herudover gennemføres en følsomhedsanalyse, hvor priser på 7.500kr/m³ og 12.500kr/m³ anvendes.

I Tabel 6 og Tabel 7 ses den totale omkostning for at håndtere det samlede volumen for de forskellige hændelser. Den totale omkostning er vist for enhedsprisen på 10.000kr/m³ og for volumen >5cm og > 10cm. I Appendix B findes beregninger for den totale omkostning med andre forudsætninger ift. enhedspris og volumen, som medregnes.

Tabel 6: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser for skybrud. Volumen > 5cm vanddybde, enhedspris = 10.000kr/m³.

Hændelse	år 2024	år 2050	år 2124
T5	26.7	37.1	63.5
T10	45.1	68.6	109.7
T20	68.6	109.7	181.2
T50	122.7	181.2	287.2
T100	165.2	262.0	401.3

Tabel 7: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser for skybrud. Volumen > 10cm vanddybde, enhedspris = 10.000kr/m³.

Hændelse	år 2024	år 2050	år 2124
T5	20.9	29.0	49.7
T10	35.3	53.8	86.7
T20	53.8	86.7	145.4
T50	97.2	145.4	234.9
T100	132.0	213.3	334.0

4.2 Beregning af klimasikring til oversvømmelser fra stormfloder

Til at estimere klimatilpasningsomkostninger i kystnære områder for oversvømmelser fra stormfloder, benyttes følgende fremgangsmåde:

1. **Danmark opdeles i zoner:** Danmark deles op i fire forskellige zoner, der repræsenterer forskellige grader af eksponering for stormflod.
2. **Sikringsniveau og anlægspriser i år 2024 estimeres:** For hver zone fastsættes et beskyttelsesniveau mod en 50-års hændelse. Her beregnes prisen for de forskellige beskyttelsestyper som dige, højvandsmur, sluse og klitforstærkninger. Priserne hentes fra DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015) samt Kystdirektoratet (2018).
3. **Sikringsniveau og anlægspriser for øvrige hændelser i år 2024 estimeres:** Ud fra sikringsniveauerne og anlægspriserne for en 50-års hændelse i år 2024, estimeres sikringsniveauerne og anlægspriser for en 5, 10, 20, 100, 200, og 500-års hændelse i år 2024.
4. **Sikringsniveau og anlægspriser for hændelser i år 2124 estimeres:** Ud fra sikringsniveauerne i år 2024 estimeres de fremtidige sikringsniveauer og anlægspriser for en 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500-års hændelse i år 2124.
5. **Længde og antal af beskyttelsesanlæg estimeres:** Det estimeres, hvor mange kilometer dige, højvandsmur, klitforstærkning og antal sluser der er nødvendige for at beskytte de truede kystområder. Beregningen baseres på generelle antagelser om længdeforholdet mellem forskellige beskyttelsesanlæg, og antagelserne er behæftet med betydelig usikkerhed.
6. **Beskyttelsesanlæg fordeles på eksponeringszoner:** De forventede økonomiske skader (netto-nutidsværdi) i de fire zoner bruges som fordelingsnøgle til at estimere længde og antal af de forskellige beskyttelsesanlæg i de fire eksponeringszoner.

7. **Estimering af nationale tilpasningsomkostninger:** Til sidst estimeres de samlede tilpasningsomkostninger for hændelser med en gentagelsesperiode på 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år (i år 2024 og år 2124). Estimatet er baseret på de fastsatte sikringsniveauer for hver af de fire eksponeringszoner, længden og antallet beskyttelsesanlæg i zonerne, samt deres respektive priser.

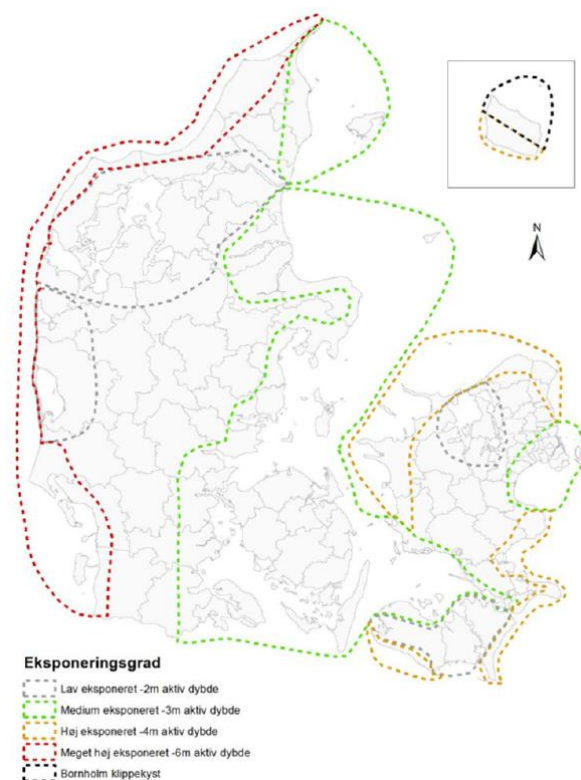
Det er vigtigt at understrege, at de følgende estimater og beregninger er baseret på generelle antagelser, og de kan derfor ikke benyttes som grundlag for konkrete vurderinger investeringsbehovet i de enkelte kystområder. De estimerede klimasikringsomkostninger giver således et overblik over størrelsesordenen på det forventede nationale investeringsbehov til klimasikring, men lokale analyser og vurderinger er nødvendige for at fastlægge de præcise investeringsbehov både nationalt og lokalt. I de følgende underafsnit vil punkterne fra 1 til 7 ovenfor blive uddybet.

Danmark opdeles i zoner

Danmark opdeles i fire forskellige zoner, der repræsenterer forskellige grader af eksponering for stormflod. Inddelingen foretages, da højden af klimasikringen, og dermed anlæggenes omkostninger, afhænger af kyststrækningens eksponering. Inddelingen er baseret på klassificeringen fra kystdirektoratet (2018), hvor zonerne opdeles som:

- Lille eksponeringsgrad (fjorde)
- Moderat eksponeringsgrad (sunde og bæltter)
- Stor eksponeringsgrad (Kattegat og Østersøen)
- Meget stor eksponeringsgrad (Vesterhavet)

Zonerne med de forskellige eksponeringsgrader fremgår af Figur 25. Vi har i denne analyse lavet små justeringer i inddelingen af eksponeringsgrader fra DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015) (som illustreret af Kystdirektoratet, 2018), så den passer til vores inddeling af de 51 analyserede kystområder.



Figur 25: Zoner med forskellige eksponeringsgrader (Kystdirektoratet, 2018)

Sikringsniveau og anlægspriser for en 50-års hændelse i år 2024 estimeres

I en rapport fra DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015), fremgår prisestimer for hhv. diger, højvandsmurer og klitforstærkninger for en 50-års hændelse. I nærværende analyse benyttes priserne på diger og klitforstærkninger fra DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015). Priserne på højvandsmure er sat til 2700-3050 kr./m i DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015). Den pris mener vi ikke er nationalt repræsentativ, og vi har derfor baseret prisen på fire byggede højvandsmure rundt om i landet. På baggrund af de fire konkrete højvandsmurer har vi fundet den gennemsnitlige højde og pris. Vi har herefter justeret prisen på højvandsmurene til de konkrete sikringsniveauer på tværs af de 4 eksponeringszoner, ved at benytte en enhedspris på beton på 5000 kr./m³ (tilsvarende prisen fundet i COWI 2016).

Da klimaforandringernes påvirkning på middelvandstanden i perioden fra 2015 til år 2024 er meget lille, antager vi, at en 50-års hændelse i 2015 svarer til en 50-års hændelse i år 2024. Vi benytter derfor en 50-års hændelse i år 2024 som udgangspunkt for resten af analysen, da det er for denne hændelse, vi har det bedste datagrundlag. De øvrige hændelser (5, 10, 20, 100, 200 og 500-års hændelserne) er fundet ved at skalere resultaterne fra 50 års hændelsen, som beskrevet i det følgende afsnit. For hver eksponeringsgradszone fastlægges således et sikringsniveau, der beskytter mod en 50-års hændelse i år 2024. Sikringsniveauerne (dvs. topkoten på kystbeskyttelsesanlæggene) samt den tilhørende pris på anlæggene pr. løbene meter er taget fra DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015), og tallene fremgår af Tabel 8. Da priserne for byggematerialer til de forskellige konstruktioner har været svingende i tidsperioden fra 2015 til nu, benyttes 2015-priserne uden yderli-

gere priskorrektion. Priserne i Tabel 8 er sammenlignet med prisestimerne i kommunernes kystpuljeansøgninger fra 2022, hvor tilsvarende prisestimer er fundet. Der fremgår ikke priser for sluser og højvandsporte i DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015). Priserne på sluser og højvandsporte varierer meget, afhængigt af konstruktion, materialer, gennemstrømningskapacitet mm. Det er derfor svært at give et enkelt centralt prisestimat. I Sund og Bælt (år 2024) indgår forskellige højvandsporte, som spænder imellem 54,3 millioner kr. (4,6 m beskyttelsesniveau) og 606,8 millioner (7,8 m beskyttelsesniveau). Vi laver et prisestimat på 50 millioner kr. ved lille og moderat eksponeringsgrad, og 100 millioner kr. ved stor og meget stor eksponeringsgrad. Da det estimerede antal af sluser og højvandsporte er relativt lille, er det endelige resultat ikke i særligt sensitiv overfor deres omkostninger. Vi gør dog opmærksom på at dette tal, sammen med alle de øvrige prisestimer, er behæftet med stor usikkerhed. Vi understreger, som nævnt i DHI og Hasløv & Kjærsgaard (2015), at estimerne er brugt til en vurdering af størrelsesorden, og at de ikke kan erstatte en pris-sætning og dimensionering tilpasset de lokale forhold.

Tabel 8: Sikringsniveau og pris for kystbeskyttelsesanlæg designet til at modstå en 50-års hændelse i år 2024 fordelt på eksponeringsgrader

Eksponeringsgrad	Dige		Højvandsmur		Klitforstærkning	
	Pris* (kr./m)	Topkote* (mDVR90)	Pris** (kr./m)	Topkote* (mDVR90)	Pris* (kr./m)	Topkote* (mDVR90)
Lille	12000	2.4	14400	1.7	2500	2.4
Moderat	19800	2.9	14200	1.6	3600	2.9
Stor	26400	3.3	14200	1.6	7500	3.3
Meget stor	45300	6.1	16800	2.9	17000	6.1

*Kilde: DHI og Hasløv & Kjærsgaard, 2015. Det antages at en 50-års hændelse i 2015 svare til en 50-års hændelse i dag. **Estimeret på baggrund af prisen fra fire byggede højvandsmurer.

Sikringsniveau og anlægspriser for øvrige hændelser i år 2024 estimeres

For at beregne omkostningerne ved klimatilpasning for hændelser med returperioder på 5, 10, 20, 100, 200 og 500 år i år 2024, tager vi udgangspunkt i topkoten og prisniveauet fra en 50-års hændelse, som beskrevet ovenfor. Topkoten for en 50-års hændelse kan opdeles i en vandstandskomponent og en bølgekomponent. Topkoten for de øvrige hændelser bestemmes ved at skalere de to komponenter for 50-års hændelsen hver for sig. Vandstandskomponenten for hændelserne bestemmes ud fra middelværdien af vandstandene for hhv. 5, 10, 50, 20, 100, 200 og 500-års hændelserne i hver af de forskellige eksponeringszoner. For eksempel beregnes 50-års vandstanden for en zone med lav eksponering som gennemsnittet af 50-års vandstandene for alle de kystområder, der ligger i den lave eksponeringszone. Bølgebidraget anses som residualen, når vandstanden er trukket fra.

Herefter skaleres vandstandskomponenten for en 50-års hændelse ved at trække forskellen i vandstanden fra (for en 5, 10 eller 20-års hændelse) eller lægge den til (for en 100, 200 eller 500-års hændelse). Ændringerne i bølgekomponenten er mere komplekse, da vi ikke har bølgehøjder for de øvrige returperioder. For at skalere bølgebidraget bruger vi ekstremværdianalyser fra to metocean-rapporter for hhv. Thor Vindmøllepark i Vesterhavet (DHI, 2020) og Hesselø Vindmøllepark i Kattégat (DHI, 2022). Bølgerne i rapporterne er baseret på offshore forhold, og de er dermed ikke direkte repræsentative for bølgerne ved kysten. Vi bruger derfor den relative ekstremværdiforskel under

antagelse om, at den samme relative forskel kan bruges til at skalere bølgebidraget i ved kysten. Det vil med andre ord sige, at hvis en 10-års bølge er 10% mindre end en 50-års bølge offshore, antager vi, at en 10-års bølger også er 10% mindre end en 50-års bølge ved kysten.

Ifølge metocean rapporten for Thor Vindmøllepark (DHI, 2020), begynder bølgehøjderne at følge en logaritmisk fordeling for returperioder på mere end ca. 10 år. Ved at analysere de signifikante bølgehøjder i begge metoceanrapporter har vi estimeret procentvise ændringer i bølgehøjden for hændelser med returperioder på 5, 10, 20, 100, 200 og 500 år i forhold til 50-års hændelsen i både Vesterhavet og i Kattegat. De procentvise ændringer varierer kun lidt (maks. 2 procentpoint) mellem Vesterhavet og Kattegat, og vi bruger derfor gennemsnittet af ændringerne. De gennemsnitlige ændringer benyttes til alle eksponeringszoner velvidende at forholdene i fjorde, sunde og bæltter kan være anderledes. Vi vurderer dog, at de procentvise ændringer i ekstremværdierne under forskellige returperioder i fjorde sunde og bæltter sandsynligvis er i samme størrelsesorden som de procentvise ændringer langs Vestkysten og langs kyster ud til Kattegat. Vi finder at 5-års bølgen er 16% lavere end 50-års bølgen, og at 500-års bølgen er 16% højere end 50-års bølgen. de endelige estimerede topkoter (udgjort af vandstands- plus bølgekomponent) for hændelser med 5, 10, 20, 100, 200 og 500 års returperiode i år 2024 fremgår af Tabel 9.

Tabel 9: Designtopkoter af diger og klitforstærkninger fordelt på returperioder i år 2024

Eksponeringsgrad	Returperiode (år)						
	<i>T5</i>	<i>T10</i>	<i>T20</i>	<i>T50</i>	<i>T100</i>	<i>T200</i>	<i>T500</i>
Lille	2.1	2.2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.6
Moderat	2.5	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4
Stor	2.8	3.0	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8
Meget stor	5.3	5.5	5.7	6.1	6.3	6.6	6.9

På baggrund af designtopkoterne i Tabel 9, estimeres priserne på hhv. diger og kystbeskyttelsesanlæg for de forskellige returperioder. Prisestimeraterne for 2024 fremgår af Tabel 10. En tilsvarende tabel for 2124 fremgår af Appendix C.

Tabel 10: Priser på diger og klitforstærkninger (kr./m) i år 2024 fordelt på returperioder og eksponeringsgrad

	Eksponeringsgrad	Returperiode (år)						
		T5	T10	T20	T50	T100	T200	T500
Dige	Lille	8000	9500	11000	12000	15488	16107	17143
	Moderat	15710	16818	17909	19800	20801	21930	23759
	Stor	18731	19939	21097	26400	24089	25250	27064
	Meget stor	39293	41331	43311	45300	48315	50285	53306
Klitforstærkning	Lille	1416	1719	2005	2500	2789	3079	3563
	Moderat	2893	3411	3500	3600	5275	5804	6660
	Stor	4307	4872	5414	7500	7700	7900	8206
	Meget stor	13929	14883	15810	17000	18152	19073	20487

Sikringsniveau og anlægspriser for hændelser i år 2124

På baggrund af sikringsniveauerne for en 50-års hændelse i år 2024 i de fire forskellige eksponeringszoner, beregnes sikringsniveauerne for en tilsvarende hændelse i år 2124. Estimerne for de fremtidige stormflodsvandstande er baseret på gennemsnittet af de forventede stormflodshøjder i de 51 kystområder, opdelt efter eksponeringsgrad. Stigningen i stormflodshøjder fra år 2024 til år 2124 kræver tilpasninger af kystbeskyttelsen for at imødekomme fremtidens vandstande. Da bølgepåvirkningen ikke forventes at ændre sig væsentligt, anvendes differencen mellem stormflodshøjderne i år 2024 og år 2124 til at justere de eksisterende sikringsniveauer. De nye sikringsniveauer og deres tilsvarende anlægspriser for en 50-års hændelse fremgår af

Tabel 11. Topkoten for en 50-års hændelse i år 2124 er dermed bestemt ved at ligge differencen imellem de to højvandsscenerier til topkoten i år 2024.

Tabel 11: Sikringsniveau og pris for kystbeskyttelses anlæg designet til at modstå en 50-års hændelse i år 2124 fordelt på eksponeringsgrader.

Eksponeringsgrad	Dige		Højvandsmur		Klitforstærkning	
	Pris (kr./m)	Topkote (mDVR90)	Pris (kr./m)	Topkote (mDVR90)	Pris (kr./m)	Topkote (mDVR90)
Lille	20707	3.1	15720	2.4	5231	3.1
Moderat	24405	3.5	15400	2.2	6962	3.5
Stor	28606	4.0	15600	2.3	8928	4.0
Meget stor	48607	6.4	17360	3.2	18288	6.4

Priserne for diger og klitforstærkninger for sikringsniveauer i år 2124 er igen fundet ved at inter- og ekstrapolerer priserne for en 50-års hændelse i år 2024.

Beskyttelses anlæg fordeles på eksponeringszoner

For at estimere det samlede behov for kystbeskyttelsesforanstaltninger som diger, højvandsmure, klitforstærkninger og sluser, benyttes en estimering af længden af oversvømmelsestruede kyststrækninger. Denne tilgang bygger på en opgørelse af antallet af strækninger, som ifølge personlig

kommunikation med Kystdirektoratet er truet af oversvømmelse. På baggrund af denne opgørelse antages det, at antallet af oversvømmelsestruede kyststrækninger kan skaleres til en anslået samlet længde af kystlinje, som kræver beskyttelse. Længden af de forskellige kystbeskyttelses anlæg er baseret på skøn fra Kystdirektoratet af det samlede antal af de forskellige typer af kystbeskyttelses anlæg nu og i fremtiden. Herefter antages det, at behovet for diger og klitforstærkninger (målt i kilometer) kan estimeres ved at vægte længden af de oversvømmelsestruede kyststrækninger med andelen som hhv. diger og klitforstærkninger udgør af det samlede antal. Fordelingen bygger således på en antagelse om, at længden af de enkelte diger og kystbeskyttelses anlæg er den samme. Da højvandsmurer primært benyttes i byer og tætbebyggede områder, vil de i udgangspunktet være kortere end digerne og klitforstærkningerne, og her kan vi derfor ikke bruge den samme fordelingsmetode. Af den grund antages det, at højvandsmurer vil blive placeret på 10% af strækningerne, hvilket beror på en faglig vurdering af længdeforholdet mellem de forskellige beskyttelses anlæg. Længden på de oversvømmelsestruede kyster på hhv. kort og lang sigt fremgår af Tabel 12. I de videre beregninger antages det, at de oversvømmelsestruede kyststrækninger på ”lang sigt” er dækkende frem til år 2124. På kort sigt udgør de oversvømmelsestruet kyster ca. 1.950 km, svarende til ca. 20% af den totale kystlinje i Danmark. På lang sigt stiger længden af de oversvømmelsestruet kyster til 2.900 km (ca. 30 % totale kystlinje).

Tabel 12: Estimeret længde (km) af oversvømmelsestruede kyster. Kyster som kun er erosionstruede, indgår ikke.

	Kort sigt	Lang sigt (2070-2100)
Kyststrækning m. oversvømmelsesrisiko (km)	1810	1226
Kyststrækning med oversvømmelses- og erosionsrisiko (km)	138	1640
Total (km)	1948	2866

Antallet af anlæg på de oversvømmelsestruede strækninger på kort sigt samt i fremtiden fremgår af Appendix C.

Geografisk fordeling af beskyttelses anlæg

Det estimerede behov for klimasikring (længde af dige, højvandsmur og klitforstærkning samt antallet af sluser) fordeles på de fire zoner med forskellige eksponeringsgrader, så sikringsniveauerne og dermed priserne i de forskellige zoner kan fastsættes. Her benyttes den forventede skade (netto-nutidsværdi) fra oversvømmelser fra stormfloder som fordelingsnøgle. Den forventede årlige skade beregnes for hver eksponeringsgradszone, og den respektive andel i hver zone benyttes til at fordele længden af diger, højvandsmurer og klitforstærkninger samt antallet af sluser. Den valgte fordeling bygger på en antagelse om, at der er en lineær sammenhæng imellem skader og behovet for beskyttelses anlæg. Fordelingen af beskyttelses anlæg på eksponeringsgrads zoner fremgår af Tabel 13.

Tabel 13: Fordeling af beskyttelses anlæg på eksponeringsgradszoner baseret på forventede skader

Eksponeringsgrad	Skader (NPV) (mia.)	Andel (%)	Dige (km)		Mur (km)		Klitforst. (km)		Sluse (stk.)	
			- Årstal -							
			år 2024	år 2124	år 2024	år 2124	år 2024	år 2124	år 2024	år 2124
Lille	43.1	20	242	318	39	57	105	193	4	7
Moderat	117.1	54	658	863	105	154	286	525	11	20
Stor	29.3	13	164	216	26	39	71	131	3	5
Meget stor	28.1	13	158	208	25	37	69	126	3	5
Total	218	100	1222	1604	195	287	531	975	21	37

Estimering af nationale klimatilpasningsomkostninger

Endelig kan de samlede nationale omkostninger ved klimatilpasning, der møder kriterierne for en 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500-års designhændelse for stormflod estimeres. Det gøres ved at gange længden af hhv. diger, højvandsmurer, klitforstærkninger samt antallet af sluser for de fire eksponeringszoner på de tilhørende priser for hhv. år 2024 og år 2124. Resultaterne viser at det vil koste ca. 28 mia.kr. at klimasikre de oversvømmelsestruede kyster til en 5-årshændelse i dag, og ca. 41 mia.kr. til en nutidig 100-årshændelse. Investeringsbehovet stiger til henholdsvis ca. 52 mia.kr. og 69 mia.kr. for de tilsvarende hændelser i år 2124.

Tabel 14: Nationale omkostninger ved klimatilpasning til stormflod fordelt på hændelser*

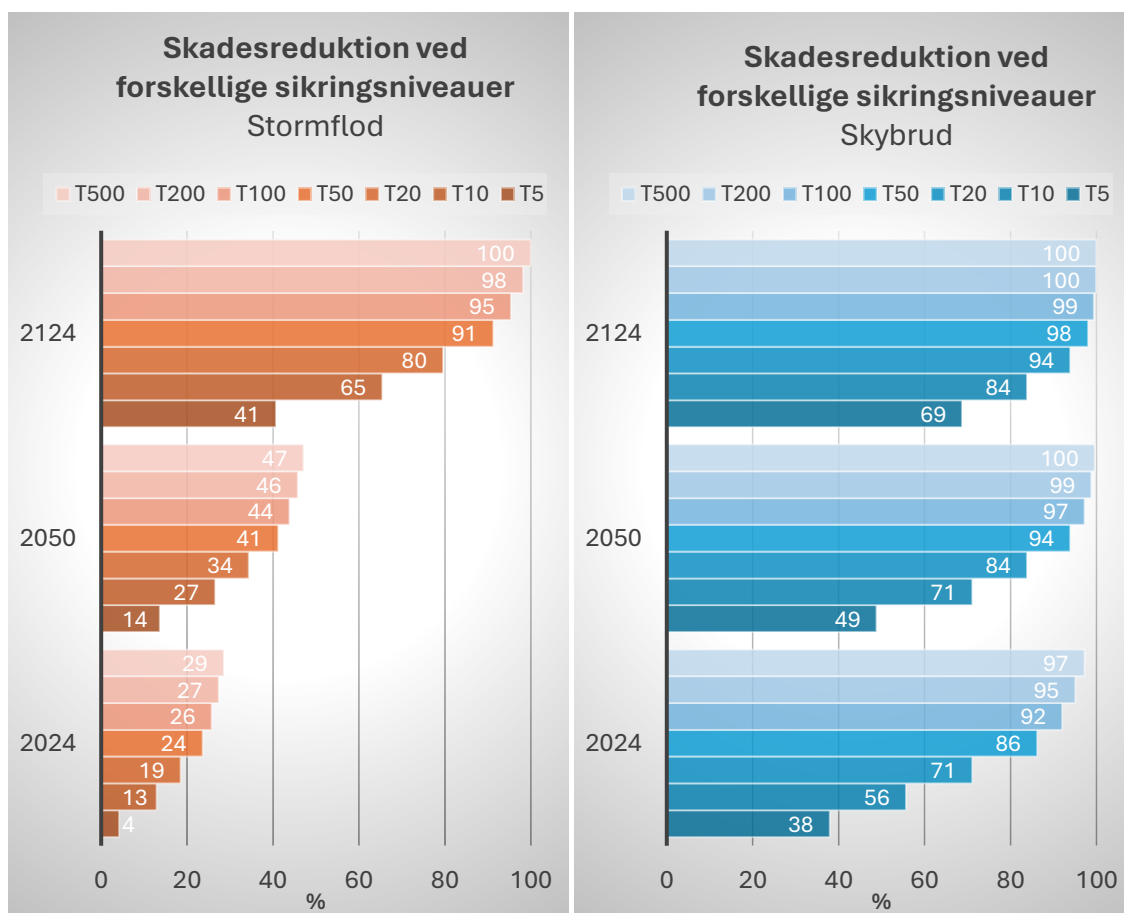
	T5	T10	T20	T50	T100	T200	500
år 2024 (mia. kr.)	28.0	29.9	31.6	34.6	36.8	38.4	41.1
år 2124 (mia. kr.)	51.8	54.1	56.4	58.9	62.5	64.8	68.6

*Estimererne er en vurdering af størrelsesordenen for omkostningerne ved oversvømmelsesbeskyttelse, og tallene er behæftet med stor usikkerhed. Erosionsbeskyttelse er ikke inkluderet.

5. Beregning af gevinster ved klimasikring

5.1 Reduktion af skader ved forskellige sikringsniveauer

Der er stor forskel på hvor stor en del af værdien af skader som reduceres ved forskellige sikringsniveauer for skybruds- og stormflodssikring (Figur 26). Ved etablering af løsninger til et sikringsniveau svarende til en nutidig 5-års hændelser reduceres værdien af skader kun med 4 % for stormfloder, mens reduktionen er hele 38 % for skybrud. For skybrud reduceres > 50 % af skaderne allerede ved et sikringsniveau til en nutidig 10-årshændelse. For stormflod ses først en tilsvarende reduktion ved sikring til langt større hændelser. Der er altså ikke den store økonomiske gevinst ved meget lave sikringsniveauer for stormflod, mens det omvendte er tilfældet for skybrud. Årsagen til denne forskel er at stormflodssikring til et givent niveau ikke reducerer skaden betragteligt i tilfælde af at en større hændelse indtræffer. Omvendt, så reducerer skybrudsikring til et lavt niveau også en betragtelig andel af skaderne for større hændelser, hvorfor gevinsten ved lave sikringsniveauer er relativt stor.

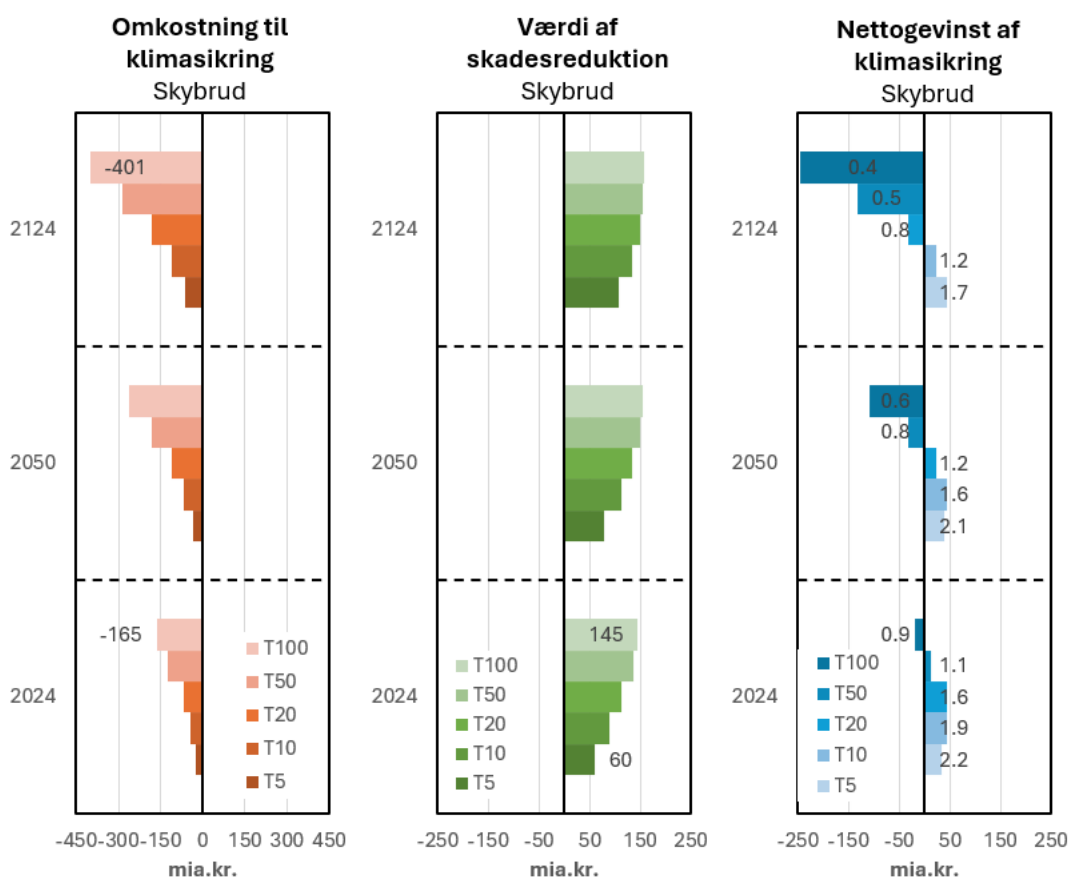


Figur 26: Reduktion af den samlede værdi af skader ved forskellige sikringsniveauer, skybrud.

5.2 Gevinst af klimatilpasning mod skybrud

I Figur 27 ses nettogevinsten i nettonutidsværdi ved at klimasikre til forskellige skybrudsniveauer under forudsætning om en enhedspris på 10.000 kr./m³ for at fjerne det skadesudløsende overfladevand. Gevinsten er hvis alle sektorer medtages i skadesberegningen. Vi finder en nettogevinst for sikringsniveauer op til en 50 års hændelse i dag, svarende til ca. en 20-års hændelse i år 2050 og en 10 års hændelse i år 2124. Eksempelvis ses det, at værdien af skader ved et sikringsniveau til en 5-årshændelse i dag på 60 mia.kr. langt overstiger omkostningen til klimasikring til samme hændelse, som kun er på ca. 27 mia.kr. Omvendt ses det for en nutidig 100 årshændelse, hvor investeringen (165 mia.kr.) overstiger gevinsten (145 mia.kr.).

Beregningerne viser herudover at en investering i klimasikring giver en 1,6-2,2 gange så stor en gevinst, som omkostningen ved klimasikringen til hændelserne T5-T50 i år 2024. Hvis vi kun inkluderer skader for bygninger, ses et tilsvarende resultat (med positive nettogevinster op til en 50 års hændelse i år 2024, dog med lidt lavere ratio mellem investering og gevinst), og beregningen er dermed ikke meget følsom overfor tilføjelsen af skader for andre sektorer udover bygningerne.

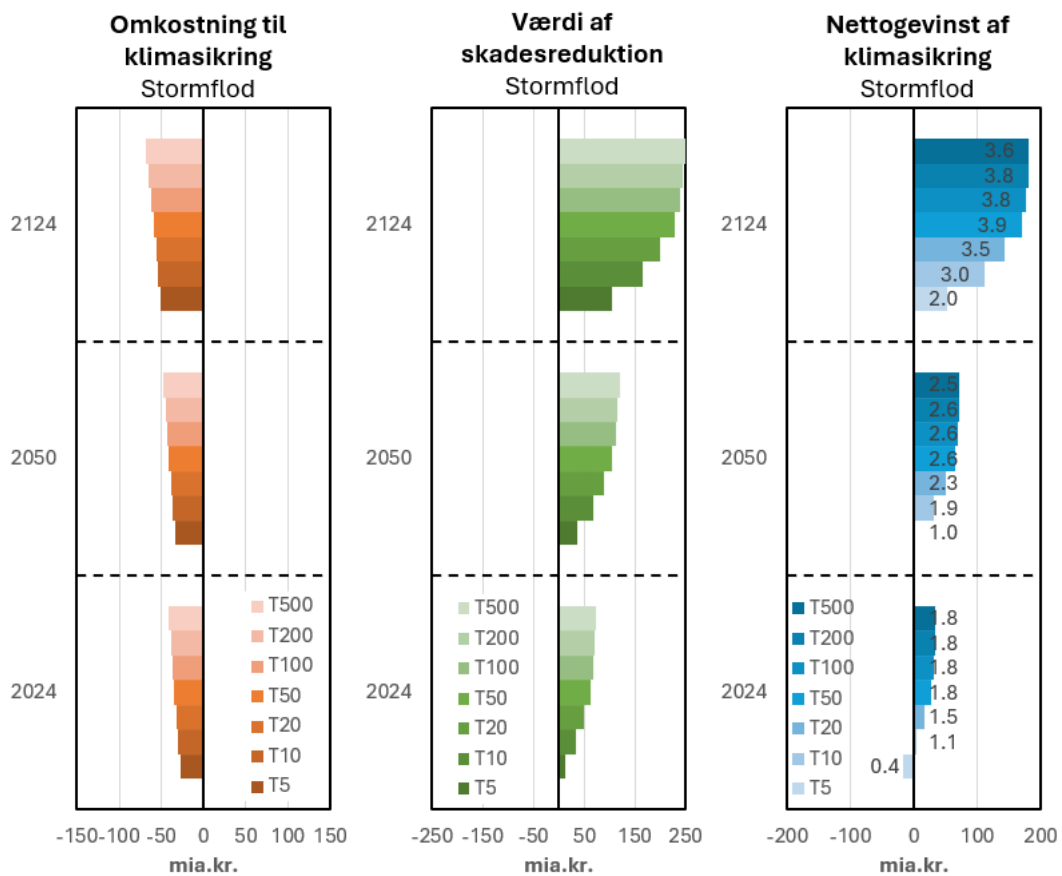


Figur 27: Omkostning til klimasikring, værdi af skadesreduktion og nettogevinst af klimasikring (inkl. ratio for værdi af skader sammenholdt med omkostning til sikring angivet i figuren for nettogevinst).

5.3 Gevinst af klimatilpasning mod stormfloder

Figur 28 viser nettogevinsten ved klimatilpasning til forskellige sikringsniveauer for stormflod. Her ses en positiv nettogevinst for alle sikringsniveauer over en nuværende 5-årshændelse, og at det altså ikke kan betale sig "kun" at beskytte til de mindste hændelser. Den største gevinst ses ved et sikringsniveau svarende til den største hændelse i år 2124.

Beregningerne viser desuden at ratioen mellem gevinst og investering klimasikring mod stormfloder giver en tilbagebetaling på mere end 3 kr. pr. 1 kr. investeret for de højeste sikringsniveauer og tæt for 2 kr. for resterende sikringsniveauer. Det kan altså i alle tilfælde godt betale sig at investere i klimasikring mod stormfloder.



Figur 28: Omkostninger til klimasikring, værdi af skadesreduktion og nettogevinst af klimasikring (inkl. ratio for værdi af skader sammenholdt med omkostning til sikring angivet i figuren for nettogevinst).

6. Kort overblik over resultater fra andre analyser

Der foreligger kun meget få danske analyser af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser relateret til skybrud og stormflod og landsdækkende analyser er kun udført for stormflod. Omkostningerne til klimasikring for skybrud og stormfloder på samlet plan for Danmark er ikke udført før i nærværende studie.

Rapporten Samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning (Halsnæs, 2022) indeholder en oversigt og faglig vurdering af metoder og forudsætninger i de få foreliggende studier og også en gennemgang af studier, som retter sig mod delområder i Danmark.

Cowi Consult har i et studie fra 2017 (COWI, 2017) skønnet over omkostningerne ved stormflod i form af forsikringsudgifter for oversvømmede bygninger i byer suppleret med vurderinger af omkostninger ved skader på infrastruktur og tidsmæssige forsinkelser i transport for en 100-årig periode. Omkostningerne ved stormfloder for alle danske byer over en 100-årig periode er her beregnet til at svare til en nutidsværdi (NPV) på 100 mia. DKK. Til sammenligning findes i nærværende studie i samlet nutidsværdi af skader over en 100-årig periode på 246 mia.kr. I COWI studiet tages der hensyn til den samlede sandsynlighed for oversvømmelser i hele den 100-årige analyseperiode i form af en risikoberegning. Beregningerne bygger på forudsætninger om havstands niveauer for fremtidige klimaændringer, disse er dog ikke direkte relateret til alternative klimascenarier, men er baseret på scenarier for stormflodshøjder, som Cowi selv har udviklet. De samlede omkostninger er beregnet på basis af en opskalering til alle danske byer, baseret på en detaljeret analyse for de 46 største kystbyer i Danmark og for Kerteminde og Lemvig. Disse byer dækker 42% af Danmarks befolkning ud af de estimerede 45% som lever i kystzonen, så dækningsgraden af studiet er høj. Skaderne på bygninger udgør 63% af de samlede skadesomkostninger. Halsnæs, 2022 sammenligner Cowi studiets forudsætninger om omkostninger og stormflodshøjder med andre analyser og konkluderer, at forudsætningerne om skadesomkostningerne ved oversvømmelser er på niveau med andre beregningsmodeller, men at scenariet for stormflodshøjder ligger relativt højt på langt sigt. I COWI studiet beregnes en forventet årlig skade på ca. 1.mia. kr. i år 2017, og 43 mia. kr. i år 2117. Til sammenligning beregnes de tilsvarende tal i denne rapport til ca. 3 mia. kr. (år 2024) og 20 mia. kr. i år 2124.

Det økonomiske Råd (2023) har beregnet omkostningerne ved oversvømmelser fra stormfloder og at de forventede årlige samlede skadesomkostninger for bygninger, trafik, infrastruktur og landbrug i 2023 ville være 2,1 mia. kr. pr. år. Afhængigt af hvordan klimaet udvikler sig over de næste 50 år, vil de årlige forventede skader stige til mellem godt 4 og 6 mia. kr. Hvis Danmark i dag havde et klima, som det forventes at se ud om 100 år, ville de forventede årlige skader fra stormflod være mellem knap 7 og 14 mia. kr. pr. år. Disse omkostningsskøn er en del lavere end beregningerne i denne rapport, og De Økonomiske Råd har da også efterfølgende i et notat fra år 2024 suppleret de oprindelige beregninger med supplerende beregninger af omkostningerne ved stormfloder med hyppige hændelser, og det bringer De økonomiske Råds beregninger op på samme niveau, som nærværende beregninger. Eksempelvis findes i de supplerende beregninger en forventet årlig skade på ca. 23 mia. kr. i år 2123, hvilket er i samme størrelsesorden som resultaterne i denne rapport. Beregningerne er dog ikke fuldt ud sammenlignelige med analysen i denne rapport pga. forskelle i forudsætninger om skader for nogle af sektorerne og forskelle i modellering af oversvømmede arealer.

CONCITO (år 2024) vurderede i en analyse af den fremtidige arealanvendelse i Danmark, at ekstremhændelser som stormfloder eller ekstremregn samt højtstående grundvand allerede i dag risikerer at påvirke omkring 440 000 helårshuse, 120 000 erhvervsbygninger og 160 000 fritidshuse. Den overvejede andel (> 80 %) af de udsatte bygninger identificeret i denne analyse, er truet af oversvømmelser fra højtstående grundvand, og kun en mindre andel af skybrud og stormflod. Kortlægningen af antallet af bygninger som er påvirket af højtstående grundvand, er baseret på meget usikre data om terrænnært grundvand, og beregningen vurderes derfor at være meget usikker.

Kortlægningen af oversvømmelser fra nedbør er i CONCITO analysen baseret på en bluespot analyse, som i mange tilfælde vil føre til overestimering af det oversvømmede areal, fordi der ikke tages højde for nedsivning og afledning af vand til afløbssystemet. En sådan analyse vil typisk føre til et højt antal oversvømmelsestruede bygninger. I CONCITO rapporten finder man at ca. 110.000 helårsboliger er påvirket af oversvømmelser for en nutidig 100 års skybrudshændelse. Det tilsvarende tal i denne rapport er ca. 40.000 helårsboliger.

For stormflod har CONCITO anvendt modellen Havvand på Land, tilsvarende analysen i denne rapport, hvorfor resultaterne bør være mere sammenlignelige. Man har dog ikke gennemført kvalitets sikring i oversvømmelseskortene som i denne rapport, hvorfor det må forventes at antallet er oversvømmelsestruede bygninger, overestimeres pga. unøjagtigheder i oversvømmelseskortene. I CONCITO rapporten udpeges ca. 26.000 helårsboliger som værende oversvømmelsestruede ved en nutidig 100-årshændelse. Til sammenligning "oversvømmes" kun ca. 9.000 helårsboliger ved den samme hændelse i nærværende analyse.

7. Konklusion

Analysen viser, at klimaforandringer vil føre til væsentlige og stadigt voksende skadesomkostninger som følge af en forventet stigende intensitet i oversvømmelser fra både skybrud og stormfloder i Danmark over de næste 100 år. Resultaterne er baseret på et klimascenarie, som antager en global temperaturstigning på omkring 3 °C inden slutningen af dette århundrede. Vi har estimeret, at det samlede økonomiske tab ved oversvømmelserne, forventes at være omkring 406 mia. kr. (målt i netto-nutidsværdi). Skybrudsskaderne forventes at udgøre ca. 157 mia. kr., og stormflodsskaderne forventes at udgøre ca. 249 mia. kr.

Ud over de forventede omkostninger til skader, har vi estimeret de nationale omkostninger og potentielle gevinster ved klimasikring for at imødegå fremtidige skader fra skybrud og stormfloder. Resultaterne viser, at omkostningerne til klimasikring i mange tilfælde opvejes af skadesreduktionerne, som tilpasningsinvesteringerne medfører. For eksempel har vi estimeret, at en investering på 69 mia. kr. i sikring mod en 20-års skybrudshændelse giver en skadesreduktion på 112 mia. kr., hvilket svarer til en gevinst, der er 1,6 gange større end investeringen. Tilsvarende kan en investering på 37 mia. kr. i beskyttelse mod en 100-års stormflod give en skadesreduktion på 67 mia. kr., svarende til en gevinst på 1,8 gange omkostningen. Vurderingen er, at det for stormflodshændelser kan svare sig at sikre sig til et højt sikringsniveau sammenlignet med klimasikring mod skybrud ud fra en økonomisk betragtning. Årsagen til det skyldes, at meromkostningen ved at bygge et kystbeskyttelsesanlæg lidt højere er relativt lille, sammenlignet med den økonomiske gevinst, der opnås ved et øget beskyttelsesniveau. Resultaterne i rapporten understreger, at behovet for at investere i klimasikring er allestedsnærværende i det danske samfund. Selvom klimasikring vil kræve betydelige udgifter, viser vores estimer, at det i mange tilfælde vil være omkostningseffektivt.

Resultaterne i rapporten beror på en række generelle antagelser og usikkerheder knyttet til klimascenarier, skadesomkostninger ved oversvømmelser og omkostninger ved klimasikring. Beregningerne i denne analyse er baseret på et mellemhøjt klimascenarie (SSP2-4,5), og et henholdsvis højere eller lavere klimascenarie ville derfor give anledning til højere eller lavere skadesomkostninger ved oversvømmelser i fremtiden. Eftersom et andet udledningsscenario vil give et andet risikobilæde, skal resultaterne i denne rapport ses som et enkelt resultat ud af flere mulige resultater. Resultaterne i vores analyse er baseret på middelværdien af de fysiske forhold i det valgte klimascenarie, og man kan her betragte middelværdien som den mest sandsynlige, men værdien er blot en statistisk repræsentation af en række mulige udfald. I fremtidens klima kan der være betydelige afvigelser fra middelværdien, som både kan føre til mildere eller mere ekstreme konsekvenser, end hvad vores analyse viser. Det er dermed vigtigt at tolke resultaterne med en vis forsigtighed og huske på, at de udgør en generaliseret overordnet landsdækkende vurdering.

8. Referencer

CONCITO, 2024. Klimaforandringernes betydning for fremtidens arealanvendelse Klimaforandringernes betydning for fremtidens arealanvendelse.pdf

COWI, 2016. Højvandssikring af Korsør By. Notat – Simpelt skitseprojekt.

Cowi, 2017. Byernes udfordringer med havvandstigning og stormflod Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod

De Økonomiske Råd, 2023. KAPITEL II - KLIMATILPASNING I KYSTZONEN, Supplerende beregninger af de forventede årlige skader ved stormflod.

DHI, Hasløv & Kjærsgaard, 2015. Kystdynamik og kystbeskyttelse Naturlige erosions- og oversvømmelsesprocesser – beskyttelsesmetoders virkning og økonomi

DHI, 2020. Thor Offshore Wind Farm Metocean Hindcast Data and Validation Report

DHI, 2022. Hesselø Offshore Wind Farm Site Metocean Conditions Assessment

Halsnæs, K. Morten A. D. Larsen og Karin L. Drenck, 2022. Samfundsøkonomiske konsekvenser af oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning. Udarbejdet af DTU for Miljøministeriet https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/268507361/Samfunds_ekonomiske_konsekvenser_af_oversv_mmelser_og_investeringer_i_klimatilpasning_final_reduced.pdf

HOFOR A/S, 2023a. Screening for serviceniveau i Københavns Kommune - Resultater fase 3.

HOFOR A/S, 2023b. Screening for serviceniveau i Københavns Kommune - Forudsætningsnotat for udførelse af fase 3

IDA Spildevandskomite, 2023. <https://spildevandskomiteen.dk/skrift-nr-32-2/>

Klimaatlas, år 2024. <https://www.dmi.dk/klimaatlas/>

Klimatilpasning.dk, 2024. <https://klimatilpasning.dk/kommuner-og-forsyning/proces-og-vejledning/samfundsoekonomi/nationale-standardskadesvaerdier>

Kystdirektoratet, 2016. Omkostningseffektiv kystbeskyttelse Definition og beregning af omkostningseffektiv kystbeskyttelse

Kystdirektoratet, 2018. Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder.

Kystdirektoratet, år 2024. Højvandsstatistikker år 2024. Kystdirektoratet, Miljøministeriet. 162 s.

Miljøstyrelsen, 2022. Vejledning om fastsættelse af serviceniveau for tag- og overfladevand efter den samfundsøkonomiske metode i serviceniveaubekendtgørelsen Bek. nr. 2276 af 29/12/20.

Landstrafikmodellen - LTM: <https://www.vejdirektoratet.dk/segment/groen-mobilitetsmodel/om-modellen>

Larsen, M. A. D., Karamitilios, G., Halsnæs, K., She, J., & Madsen, K. S. (2021). Data driven climate change adaptation Part A: Advancing future multi-sectorial climate services by mapping current usage and demand: Final scientific report of the 2020 National Centre for Climate Research Work Package 3.1.1, Data-driven climate service (part A).

Panduro, T.E. 2024. Forudsigelse af samlede skadesudbetalinger ved oversvømmelser. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 60 s. - Videnskabelig rapport nr. 621.

Pregolato, Maria, Alistair Ford, Sean M. Wilkinson, and Richard J. Dawson. 2017. "The Impact of Flooding on Road Transport: A Depth-Disruption Function." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 55 (August): 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.020>.

SkadesØkonomi, Faglig beskrivelse, år 2024. <https://github.com/Skadesokonomi/Dokumentation-og-vejledninger/tree/main/officiel%20dokumentation>

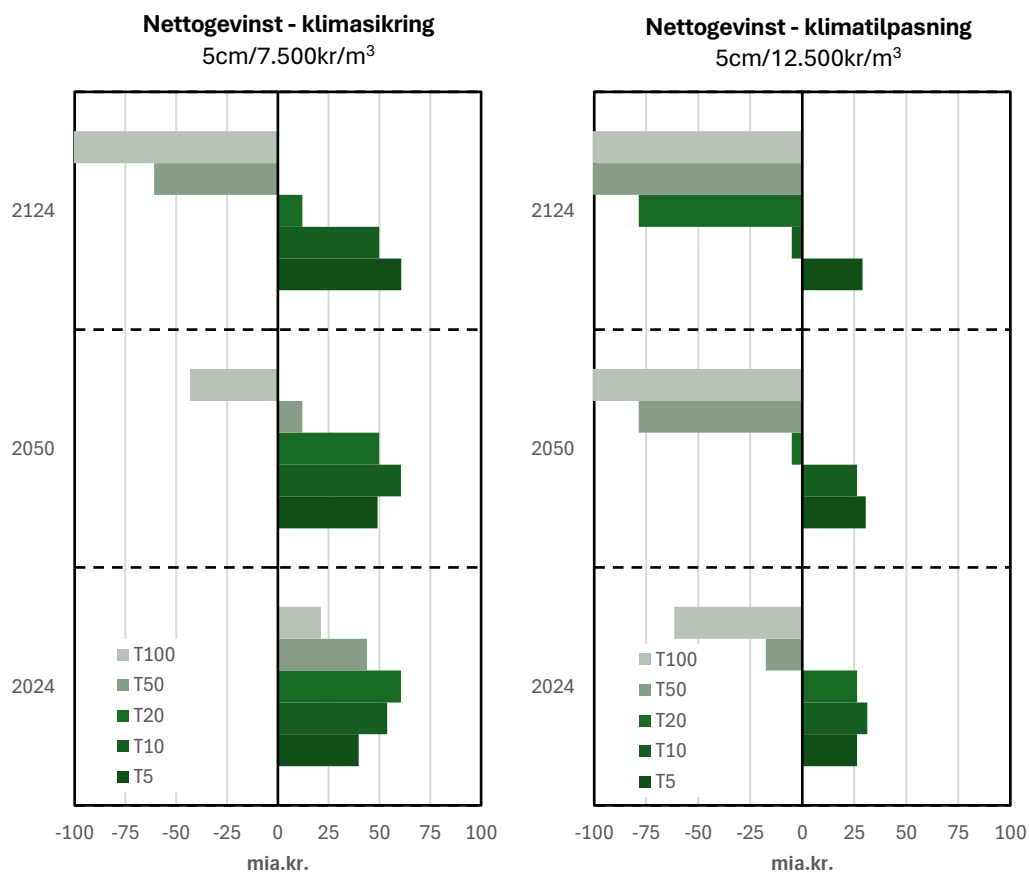
SkadesØkonomi, brugervejledning, år 2024. SkadesØkonomi. <https://github.com/Skadesokonomi/Dokumentation-og-vejledninger/tree/main/officiel%20dokumentation>

Transportministeriet (2021). <https://www.trm.dk/temaer/samfundsoekonomisk-analyse/samfundsoekonomisk-analyse-artikler/hjaelpevaerktoejer-og-publikationer-vedroerende-samfundsoekonomisk-analyse>

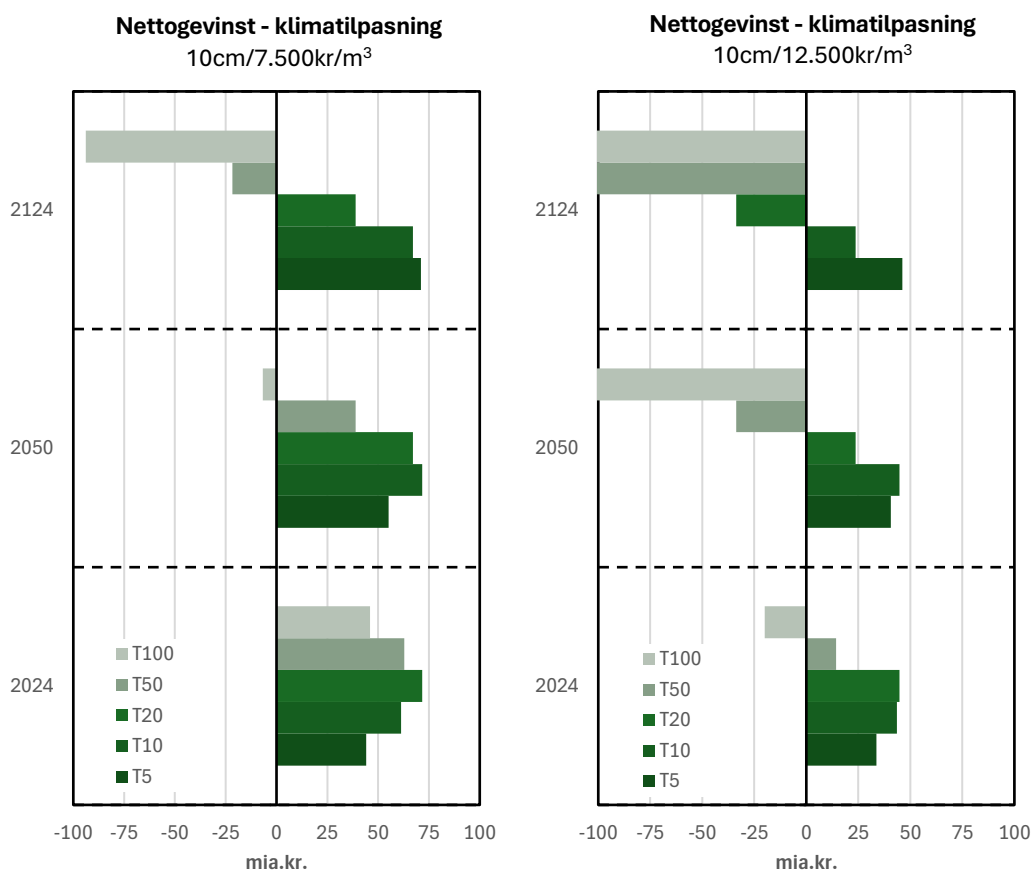
Sund og Bælt, år 2024. Stormflodssikring af København Delrapport 2: Arbejdsgruppe for teknik, miljø og anlægsøkonomi, Billagsrapport

9.2 Appendix B - Følsomhedsanalyser – gevinst af klimatilpasning

9.2.1 Gevinst af klimatilpasning mod skybrud



Figur 29. Nettogeavnst ved klimasikring til skybrud med alternative beregningsforudsætninger. Volumen > 5cm vanddybde og enhedspriser på 7.500 og 12.500kr/m³.



Figur 30. Nettogeovinst ved klimatilpasning til skybrud med alternative beregningsforudsætninger. Volumen > 10cm vanddybde og enhedspriser på 7.500 og 12.500kr/m³.

Tabel 16: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser. Volumen > 5cm vanddybde, enhedspris = 12.500kr/m³.

Pris - skybrud (mia.kr)			
Volumen > 5cm			
Enhedspris 12.500 kr./m ³	år 2024	år 2050	år 2124
T5	33.4	46.4	79.4
T10	56.4	85.7	137.1
T20	85.7	137.1	226.5
T50	153.3	226.5	359.0
T100	206.5	327.5	501.7

Tabel 17: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser. Volumen > 5cm vanddybde, enhedspris = 7.500kr/m³.

Pris - skybrud (mia.kr)			
Volumen > 5cm			
Enhedspris 7.500 kr./m ³	år 2024	år 2050	år 2124
T5	20.0	27.8	47.6
T10	33.8	51.4	82.3

T20	51.4	82.3	135.9
T50	92.0	135.9	215.4
T100	123.9	196.5	301.0

Tabel 18: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser. Volumen > 10cm vanddybde, enhedspris = 12.500kr/m³.

Pris - skybrud (mia.kr)			
Volumen > 10cm			
Enhedspris 12.500 kr./m ³	år 2024	år 2050	år 2124
T5	26.1	36.2	62.2
T10	44.1	67.2	108.4
T20	67.2	108.4	181.7
T50	121.5	181.7	293.6
T100	165.0	266.6	417.5

Tabel 19: pris for håndtering af volumen for forskellige hændelser. Volumen > 10cm vanddybde, enhedspris = 7.500kr/m³.

Pris - skybrud (mia.kr)			
Volumen > 10cm			
Enhedspris 7.500 kr./m ³	år 2024	år 2050	år 2124
T5	15.6	21.7	37.3
T10	26.5	40.3	65.0
T20	40.3	65.0	109.0
T50	72.9	109.0	176.2
T100	99.0	160.0	250.5

9.3 Appendix C – Estimering af tilpasningsomkostninger

Priser på diger (kr./m) fordelt på returperioder og eksponeringsgrad i år 2124

	Eksponerings- grad	Returperiode (år)						
		5	10	20	50	100	200	500
Dige	Lille	18101	18747	19360	20707	21034	21653	22689
	Moderat	20769	21877	22960	24405	25852	26989	28818
	Stor	24639	25839	27005	28606	29988	31157	32972
	Meget stor	45032	47079	49050	48607	54055	56025	59037
Klitforstærkning	Lille	4012	4314	4601	5231	5385	5674	6159
	Moderat	5260	5779	6286	6962	7639	8171	9027
	Stor	7071	7633	8179	8928	9575	10122	10971
	Meget stor	16615	17573	18496	18288	20838	21759	23169

Antal kystbeskyttelsesanlæg, deres skaleringsfaktor, og længde/antal for år 2024 og år 2124.

	Antal (stk.)*		Skaleringsfaktor		Længde/antal	
	år 2024	år 2124	år 2024	år 2124	år 2024	år 2124
Diger	42	75	0.34	0.37	671 (km)	1049 (km)
Højvandsmur	60	82	0.49	0.40	958 (km)	1146 (km)
Klitforstærkning	20	48	0.16	0.23	319 (km)	671 (km)
Sluse	21	37	-	-	21 (stk.)	37 (stk.)