Samfundsøkonomiske konsekvenser af oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning

Udarbejdet af DTU for Miljøministeriet

Kirsten Halsnæs, Morten A. D. Larsen og Karin L. Drenck

January 2022

Samfundsøkonomiske konsekvenser af oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning

Report

2022

By

Kirsten Halsnæs, Morten A. D. Larsen og Karin L. Drenck

Copyright: Reproduction of this publication in whole or in part must include the customary bibliographic citation, including author attribution, report title, etc.

Cover photo: Unsplash license, photo by Samara Doole

Published by: DTU, Department of Management Engineering, Produktionstorvet, Building 424, 2800 Kgs. Lyngby Denmark

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse 4

Forkortelser og forklaring af begreber 6

1. Opsummering 7

2. Introduktion 7

2.1 Hovedelementer i samfundsøkonomiske analyser af oversvømmelser 11

3. Oversigt over studier af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning 13

4. Analyse af studier med estimater af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning 17

4.1 Landsdækkende danske studier 19

4.2 Internationale landsdækkende studier 20

4.3 Studier for København og hovedstadsområdet 21

4.4 Omkostningerne ved oversvømmelser og tilpasning ved skybrud 23

4.5 Omkostninger ved oversvømmelser og tilpasning for vandløb 24

4.6 Omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning for grundvand 24

4.7 Generelle konklusioner på studier over oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand og klimatilpasning 24

5. Kritiske metodiske og datamæssige forudsætninger for sammenligning af studierne 25

5.1 Økonomi 25

5.2 Klima og hydrologi 29

5.3 Konklusion 32

6. Analytiske værktøjer udviklet for Danmark 32

6.1 DTU SkadesØkonomi modellen 33

6.2 KAMP 34

6.3 PLASK 35

6.4 Kystplanlægger 35

7. Generelle konklusioner i et landsdækkende perspektiv 37

7.1 Stormflod 37

7.2 Skybrud 42
7.3. Vandløb 44
7.4. Grundvand 44
7.5 Opsummerende oversigt over samfundsøkonomiske udgifter til oversvømmelser og tilpasning 45
8. Behovet for et styrket vidensgrundlag 47
9. Appendiks 49
9.1 Enhedsomkostninger - sektoropdelt 49
10. Referencer 52

Forkortelser og forklaring af begreber

NPV *Net Present Value (NPV)* – nutidsværdien af en fremtidig strøm af betalinger tilbagediskonteret til dagens værdi med en diskonteringsfaktor. Finansministeriet fastsætter diskonteringsfaktoren, som skal anvendes i forbindelse med offentlige investeringer.

RCP *Representative Concentration Pathway (RCP)* – Repræsenterer scenarier for drivhusgas-koncentrationer i atmosfæren som følge af emissions-scenarier for udledning i dag og typisk frem imod midten eller slutningen af dette århundrede. Specifikke - og ofte benyttede scenarier i faglitteraturen - inkluderer RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 6 og RCP 8,5, som stammer fra IPCC's Assessment Report nr. 5 (AR5) (IPCC 2014). Tallet tilknyttet scenariets navn (f.eks. 8,5), svarer til fortegnet på strålingsbalancen i toppen af atmosfæren målt i watt per. m^2, og et højere tal svarer til en højere drivhusgas-udledning og dermed højere global opvarmning. I fht. fokus i denne rapport er det velkendt, jfr. både AR5 og den nyere AR6 (IPCC 2014, IPCC 2021), at et højere RCP-scenarie generelt også resulterer i voldsommere ekstremer med betydning for de fire kilder til oversvømmelser i Danmark, som behandles her.

RP *Returperiode (RP)* – Et udtryk for sammenhængen mellem størrelsen af en event, såsom en oversvømmelse, og hvor ofte den forventes at forekomme baseret på historiske målinger. Ofte designes klimatilpasningstiltag ift. et givet returperiode-niveau såsom et 1000-års niveau (RP1000), som for en given lokalitet svarer til et oversvømmelses-niveau. Typiske måleenheder er: For stormfloder - højde over normalt havniveau (f.eks. 3 m), for skybrud - nedbørsmængde (f.eks. 150 mm), for vandløb - vandføring (f.eks. 50 m^3/s) og for grundvand - højde i fht. terræn (f.eks. 0.25 m). Til en egentlig analyse skal der også tilknyttes antagelser om varighed af påvirkningen, da omfanget af skader og de deraf følgende omkostninger kan være påvirket heraf.

1. Opsummering

Samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser relateret til stormflod ved kyster, skybrud, vandløb og grundvand er gennemgået i denne rapport baseret på en vurdering af eksisterende danske og internationale studier. Der er desværre relativt få studier på området, så det faglige grundlag for at drage konklusioner om, hvad oversvømmelser kunne koste, og hvad der dermed vil kunne betale sig at investere i klimatilpasning, er desværre spinkelt.

Oversvømmelser ved oversvømmelser i kystområder er det bedst dækkede områder i studierne. Her er det vurderet, at oversvømmelser indenfor de næste hundrede år kan have omkostninger på trecifrede milliardbeløb både relateret til store oversvømmelseshændelser og også samlet set ift. en række oversvømmelser, som kan hænde gennem en hundrede-årig periode. Omkostningerne ved klimatilpasning til imødegåelse og reduktion af oversvømmelserne er ikke kortlagt på nationalt plan, men afgrænsede geografiske områder er dækket i estimater for en række kommuner.

Oversvømmelser ved skybrud og fra vandløb og grundvand er ikke opgjort samlet for Danmark og det samme gælder for klimatilpasning. En række lokale studier eksisterer, og det har også været vurderet, hvor store ekstraomkostninger, som klimatilpasning kunne udgøre ift. forventede investeringer i kloaksystemet som værende i størrelsesordenen ca. 25% til klimatilpasning. Investeringer i kloaksystemet er naturligvis kun en lille del af udgifterne til klimatilpasning indenfor skybrud, vandløb og grundvand.

En samlet konklusion på rapportens analyse af eksisterende studier er dermed, at der kan forventes betydelige samfundsøkonomiske omkostninger fra oversvømmelser og til klimatilpasning. På baggrund af de potentielt store samfundsøkonomiske risici og de relativt få studier på området, så anbefales det at styrke det faglige grundlag gennem flere danske studier som en nødvendig forudsætning for at understøtte en omkostningseffektiv indsats på området.

2. Introduktion

Gennem et review af eksisterende danske videnskabelige studier og udredninger, suppleret med referencer til relevant international viden, undersøges:

- Samfundsøkonomiske omkostninger ved klimaforandringer som følge af oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og højtstående grundvand baseret på eksisterende studier.
- Omkostninger ved klimatilpasning til imødegåelse af oversvømmelsesomkostninger fra stormflod, skybrud, vandløb og højtstående grundvand baseret på eksisterende studier.
- Sammenlignelighed af studierne på basis af metoder og kritiske forudsætninger set ift. klimascenarier, oversvømmelsesberegninger og samfundsøkonomiske beregninger.

- Forskelle i enhedsomkostninger for skader ved oversvømmelser samt antagelser om hyppighed og intensitet af fremtidige oversvømmelseshændelser og betydninger heraf ift. overordnede konklusioner om samlede danske samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning.
- Mulighederne for at drage overordnede danske konklusioner baseret på foreliggende studier og simple opskaleringer af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand og investeringer i klimatilpasning.
- Identifikation af områder, hvor vidensgrundlaget er spinkelt eller, hvor foreliggende resultater er forbundet med særlige usikkerheder. Forslag til hvordan der kan etableres et bedre vidensgrundlag.

Litteraturgennemgangen fokuserer på samfundsøkonomiske konsekvenser, hvor omkostninger ses ud fra en samlet samfundsmæssig synsvinkel, hvor både tab for private personer og virksomheder tillægges en betydning, men hvor også fælles værdier, som f.eks. natur og kulturarv indgår. I praksis er det her en begrænsning, at mange studier udelukkende er baseret på foreliggende statistik over f.eks. forsikringsudbetalinger i forbindelse med oversvømmede bygninger, hvilke ikke afspejler det fulde værditab af oversvømmelser set fra et samfundsøkonomisk synspunkt, hvor andre værdier som tab af ejendomsværdi, besvær for boligejerne mm kan indgå. Yderligere er det en begrænsning, at oversvømmelser indenfor alle de fire områder typisk vil involvere påvirkning af værdier, som ikke er markedsomsatte, og hvor økonomiske opgørelser beror på værdisætningsstudier, som ikke i tilstrækkeligt omfang dækker alle påvirkede områder som f.eks. biodiversitet, helbred og kulturarv. Betydningen af forskelle i økonomiske begreber, som er anvendt i analyserne, vil blive adresseret nærmere i afsnit 2.

Studiet foretager en gennemgang af den foreliggende litteratur og undersøger mulighederne for at drage en række overordnede konklusioner om skadesomkostninger ved oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og højtstående grundvand og dertil knyttede omkostninger og gevinster ved klimatilpasning. Usikkerheder i datagrundlag, metoder og sammenlignelighed diskuteres.

Selve det faglige grundlag for at opgøre samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand og klimatilpasning baseret på publicerede studier er meget spinkelt i en dansk sammenhæng. Foreliggende studier dækker typisk kun delemner inden for de forskellige typer af oversvømmelser og kun geografiske delområder. Yderligere har studierne ikke på en konsistent måde anvendt samfundsøkonomiske metoder, og studiernes antagelser om omkostninger og oversvømmelsers intensitet og hyppighed er derudover ofte usammenlignelige og mangelfulde. Ydermere er kun få sektorer, og mestendels bygninger, omfattet af studierne. Der er også en række svagheder i de økonomiske studiers forudsætninger om klima og hydrologi, hvilket kan betyde, at der er stor usikkerhed omkring, hvor ofte specifikke oversvømmelseshændelser kan forekomme, og dermed omkring hvor meget det kan betale sig at investere i klimatilpasning. Yderligere er klimatilpasning kun i begrænset omfang integreret i de foreliggende

studier over omkostninger ved oversvømmelser (se også tabel 2). Dette vanskeliggør alt i alt mulighederne for at etablere stærke konklusioner på tværs af studierne.

En anden vigtig metodisk forskel i de foreliggende studier er, at de økonomiske beregninger i nogle studier opgør oversvømmelsesomkostninger, som en samlet omkostning ved en given oversvømmelse i et givet år, mens andre studier beregner forventede omkostninger, hvor der tages højde for, hvor hyppigt specifikke hændelser kan forventes at forekomme. Konkrete eksempler på sådanne beregningsmæssige forskelle gennemgås senere i rapporten.

Gennemgangen af de foreliggende studier og en supplerende overslagsberegning foretaget af DTU leder frem til en række overordnede konklusioner om samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning, som fremgår af Tabel 1. Se en nærmere gennemgang af forudsætninger og resultater i afsnit 8 og detaljer omkring de enkelte studier i afsnit 3.

Som det ses af Tabel 1 er de samlede omkostninger ved stormfloder dækket af studier, hvor DTU (2021) har estimeret omkostninger ved enkeltstående stormflodshændelser på bygninger på mellem 16,1 mia. DKK og 60 mia. DKK, og Cowi har estimeret nutidsværdien af forventede omkostninger til at være 100 mia. DKK. Disse estimater forudsætter, at der ikke er foretaget klimatilpasning. Der er ikke foretaget samlede studier for Danmark over omkostningerne til klimatilpasning i kystområderne, men Kystdirektoratet har opgjort antallet af strækninger, hvor beskyttelse kan være nødvendig. Udover de samlede opgørelser af omkostninger for hele Danmark har Incentive (2020) opgjort de potentielle omkostninger ved stormflod i København og Hvidovre til at være 5,1 mia. DKK over en 100 årig periode.

Der foreligger ikke samlede omkostningsskøn for skybrud, men det er skønnet, at op mod 400.000 bygninger kunne være i risiko. Estimatet er dog højt, da der ikke er taget højde for afløbssystemer i beregningen. Ekstra investeringer i kloaksystemer kan på et meget usikkert grundlag estimeres til at være i størrelsesordenen 900 mio. DKK per år set ift. samlede forventede årlige investeringer i kloakker på ca. 5 mia. DKK FRI (2021) og Smith (2012). Udover investeringer i kloakker vil klimatilpasning også omfatte løsninger til håndtering af overfladevand. Skybruddet i København 2. juli 2011 vidner om de meget høje omkostninger, der kan være forbundet med skybrud. Det skønnes her, at alene forsikringsdækkede omkostninger udgjorde i størrelsesordenen 6 mia. DKK (Klimatilpasning.dk, 2013).

På baggrund heraf giver studiet først et første overblik over hvilke nøgleelementer, som en solid faglig analyse bør indeholde. Hermed dannes et godt grundlag for, hvordan der kan etables et bedre grundlag for det videre arbejde med udviklingen af en strategi for klimatilpasning i Danmark.

Tabel 1. Oversigt over landsdækkende estimater over samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning for stormflod, skybrud, vandløb og grundvand.

	Estimerede omkostninger oversvømmelser	**Estimerede omkostninger klimatilpasning**	**Bemærkninger**
Stormflod			
DTU (2021a) Hele Danmark	Mellem 18,2 mia. DKK og 60 mia. DKK for en stormflod svarende til en 100 års RP i et lavt og højt klimascenarie for en periode 100 år frem. For en stormflod svarende til en 50 års RP omkostninger være 16,1 mia. DKK	Ikke omfattet af studiet	Flere hændelser vil kunne forekomme i perioden, som f.eks. også 20 års hændelser, og en risikoberegning vil akkumulere alle hændelserne
COWI (2017) alle danske byer	NPV på 100 mia. DKK for en 100 årig tidshorisont	Ikke omfattet af studiet	Et højt maksimalt stormflodsniveau på 5 m. er omfattet
(Vousdoukas et al., 2020) Hele Danmark	Indtil 2100 årlig risiko på mellem 8,9 mia. EUR og 84,6 mia. EUR i henholdsvis lavt og højt klimascenarie	Indtil år 2100 årlige omkostninger for en digehøjde på 0,88 m i lavt klimascenarie på 90,2 mio. EUR og 224,06 mio. EUR, i højt klimscenarie	Estimatet er meget højt, og omkostningsdata er generaliserede internationale data
Incentive, 2020 København og Hvidovre	Den forventede risiko ved oversvømmelser indtil 2120 svarer til en nutidsværdi på ca. 5,1 mia. DKK. Heraf udgør privat beboelse 1,7 mia. DKK og erhvervsbygninger 0,64 mia. DKK	Ikke omfattet af studiet	Et højt maksimalt stormflodsniveau på 5 m. er omfattet
Turisme Overslagsberegning af DTU	13,1 mia. DKK i samlet risiko		
Kystbeskyttelse Beskyttelse mod stormfloder og erosion			Estimatet er overvurderet grundet manglende præcise data
Skybrud			
Region Midtjylland og SCALGO (2020) – screening studie	393.500 bygninger i lavninger, hvor afløbssystemer ikke er indregnet		Estimatet er højt, da afløbssystemer i praksis vil aftage en stor del af oversvømmelserne
Vandløb			
Region Midtjylland og SCALGO (2020) – screening studie	10.600 bygninger		
Grundvand			
Miljøministeriet (2021	450.000 bygninger har grundvandsspejl på under 1 m, hvoraf 50.000 har kældre		

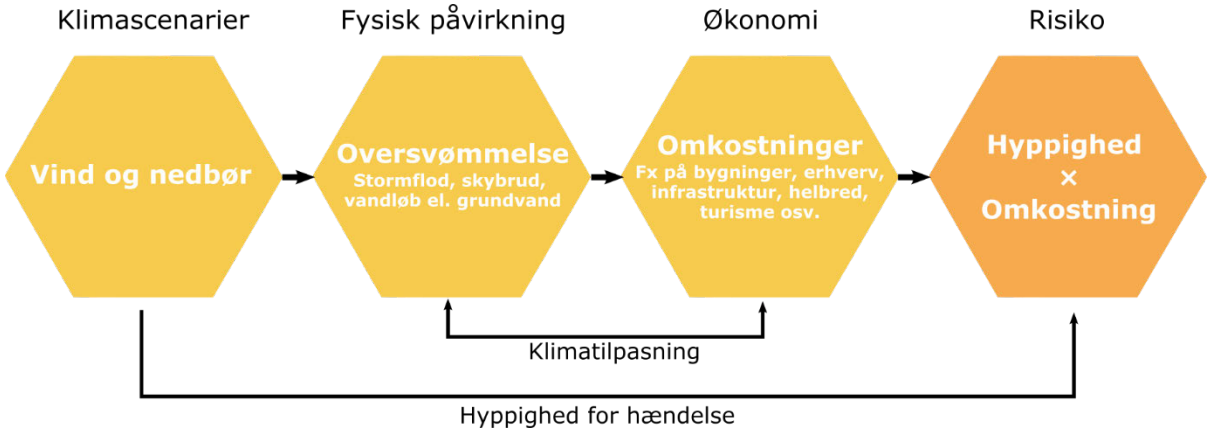
2.1 Hovedelementer i samfundsøkonomiske analyser af oversvømmelser

Et vigtigt formål med at gennemføre samfundsøkonomiske analyser af oversvømmelser og klimatilpasning er at vurdere, hvad det ud fra et samfundsmæssigt perspektiv kan betale sig at investere i klimatilpasning. Tankegangen er her, at det kan betale sig at investere i at undgå omkostninger ved oversvømmelser op til et niveau, hvor en udvidelse af investeringerne i klimatilpasning vil have højere omkostninger end den økonomiske værdi af undgående skader ved klimatilpasningen. Denne tankegang svarer til logikken i cost-benefit analyser, hvor omkostningerne ved en given indsats sammenlignes med dens fordele.

I forbindelse med vurderinger af, hvor meget der skal investeres i klimatilpasning betyder det så også, at det oftest ikke kan betale sig at gennemføre klimatilpasning op til et niveau, hvor alle oversvømmelsesskader undgås. Denne konklusion beror på, at det kan være meget dyrt at gennemføre klimatilpasning op til et højt beskyttelsesniveau ift. værdien af undgåede oversvømmelsesskader. Derudover vil omkostningseffektive strategier for klimatilpasning indebære, at de billigst mulige tiltag skal implementeres først, og efterhånden som klimatilpasningsindsatsen øges kan omkostningerne blive ret høje.

I praksis er det en vanskelig opgave at gennemføre analyser, som giver et solidt grundlag for omkostningseffektiv vurdering af investeringer i klimatilpasning, da der her både vil være behov for meget detaljerede vurderinger af omkostningerne ved oversvømmelser, og af omkostningerne ved reduktion af oversvømmelserne gennem klimatilpasning. Sådanne analyser må baseres på data og metoder fra klimafysik, hydrologi og økonomi, og en bred interdisciplinær fundering er dermed nødvendig. Derudover er der nogle særlige udfordringer i at analysere konsekvenserne af klimahændelser som oversvømmelser pga. store usikkerheder. Tidshorisonten for beregningerne afspejler lange tidshorisonter på 100 år og mere med dertil knyttede usikkerheder om udviklingen i klima og samfundsmæssige værdier. De økonomiske analyser af omkostningerne ved oversvømmelser er direkte afhængige af forudgående analyser af, hvordan klimaet påvirker vores vandsystemer. Understøttet af hydrologiske modeller er det så muligt at beregne hvilke geografiske områder, som kan være udsat for oversvømmelser. Kombineret med data for aktiviteterne i oversvømmede områder kan økonomiske omkostninger ved oversvømmelser herefter beregnes som grundlag for vurdering af, hvad det kan betale sig at investere i klimatilpasning. Figur 1 illustrerer hovedelementerne i analyser af omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning. Som illustreret i figuren er de samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelserne drevet af klimascenarier med data om vind og nedbør og dertil knyttede forudsætninger om hyppighed og intensitet af hændelser, som kan føre til oversvømmelser i form af stormflod, skybrud, vandløb og grundvand. Klimahændelser kan forårsage stormflod som konsekvens af stærk vind i kortere eller længere perioder, og kan medføre skybrud knyttet til ekstremregn. Oversvømmelser fra vandløb og grundvand kan være knyttet til høje niveauer for nedbør over længere perioder. Klimahændelsers effekt i form af oversvømmelser beregnes med modeller repræsenterende hydrologi i kystområder, overfladevand ved nedbør, gennemstrømning i vandløb og grundvandsstand, og som resultat heraf beregnes oversvømmede områder. De potentielt oversvømmede områder kobles geografisk med

data for aktiviteter og værdier i områderne som videre basis for at vurdere omkostninger ved oversvømmelser. Aktiviteterne og værdierne kan med varieret detaljeringsgrad omfatte bygninger, erhverv, infrastruktur, helbred, turisme mm. På baggrund heraf kan der beregnes samfundsøkonomiske omkostninger ved specifikke oversvømmelseshændelser.



Figur 1. Hovedelementerne i analyser af klimapåvirkning, oversvømmelser, omkostninger og risiko.

Set i et samfundsøkonomisk perspektiv for, hvad det kan betale sig at investere i klimatilpasning, må der dog føjes en ekstra dimension til beregninger af omkostningerne ved oversvømmelser, nemlig en vurdering af de forventede omkostninger ved oversvømmelser. De forventede omkostninger afhænger af, hvor hyppigt specifikke oversvømmelser kan forventes som f.eks., hvor tit vi vil se stormfloder ved kysterne, hvor vandet kommer 2, 3 eller måske helt op til 5 meter over dagligt normalniveau. De forventede omkostninger kan indgå i en beregning af risiko, hvor sandsynligheden for specifikke oversvømmelser (repræsenterende hyppighed) multipliceres med omkostningerne ved oversvømmelserne. Der beregnes her en samlet akkumuleret risiko for oversvømmelser ved en række forskellige klimahændelser i et område over en tidsperiode.

Sandsynligheden for klimahændelser, som f.eks. et stormflodsniveau på 3 m i havet, bliver ofte betegnet som såkaldte returperioder (RP), og man kan f.eks. tale om en stormflod repræsenterende en RP100, hvilket betyder, at en stormflod forventes at kunne ske en gang per hundrede år. Tilsvarende principper kan anvendes i forbindelse med skybrud, vandløb og grundvand. Hvis man så vil beregne, hvor meget det kan betale sig at investere i klimatilpasning i et givet område med oversvømmelsesrisiko, så må investeringen sammenlignes med reduktionen i oversvømmelsesomkostninger, som der opnås i en tidsperiode svarende til investeringens levetid. Her vil indgå undgående oversvømmelsesomkostninger for flere oversvømmelser, som f.eks. svarende til returperioder på 10 år, 20 år, 50 år, 100 år og måske længere, hvis det er relevant (se i øvrigt ordforklaring på side 3).

I denne rapport vurderes oversvømmelser og klimatilpasning fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand baseret på foreliggende danske og internationale rapporter og

videnskabelige publikationer. Som det fremgår af ovenstående er der tale om en kompleks sammenhæng mellem metoder og forudsætninger i analyser af oversvømmelser. Derfor vil rapporten især fremhæve studier over metodiske elementer og forudsætninger, som har betydning for overordnede konklusioner i en dansk sammenhæng.

3. Oversigt over studier af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning

Et review er gennemført af danske og internationale rapporter og videnskabelige studier, som indeholder skøn over omkostningerne ved oversvømmelser og klimatilpasning fra stormfloder, skybrud, vandløb og grundvand. Ud over litteratursøgning på nettet er der også rettet henvendelse til KL, Danske Regioner og rådgivere med invitation til at foreslå specifikke studier. De identificerede studier indeholder både egentlige kvantitative omkostningsstudier, studier af mere metodemæssig karakter og beskrivelser af analytiske værktøjer og beregningsforudsætninger.

Litteratursøgningen har vist, at kun relativt få studier dækker oversvømmelser for hele Danmark. En række studier, som dækker København og hovedstadsområdet, er derfor medtaget, da disse studier skønnes at give et godt grundlag for en vurdering af kritiske forudsætninger og usikkerheder set ift. overordnede landsdækkende konklusioner.

Tabel 2 viser en oversigt over studierne, som er inddraget i analysen og af deres dækning af geografiske områder, oversvømmelsestyper og sektorer startende med økonomiske studier med egentlige omkostningsestimater, efterfulgt af studier omfattende værktøjer og metoder og afsluttet med generelle vurderinger på området. Tabellen indeholder forkortede titler på studierne mhp. at give et let overblik over, hvad de enkelte studier indeholder.

Som det fremgår af Tabel 2, er oversvømmelser fra stormflod det hyppigst studerede område. De landsdækkende økonomiske analyser omfatter her:

- DTU studiet (DTU, 2021a) over samlede oversvømmelsestruede bygninger baseret på skadesomkostninger fra Stormrådet og på skøn over berørte ejendomsværdier baseret på statistik over salgspriser pr. m^2 på kommuneniveau.
- COWI studiet fra 2017 (COWI, 2017a) med skøn 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.
- Arnbjerg-Nielsen et al. (2015) med opgørelse af omkostningerne ved oversvømmelser ved stormflod og skybrud baseret på de samme sektorer, som

i COWI studiet fra 2017 i perioden op til 2100 i form af indeksværdier for omkostningerne og deres udvikling over tid.

- Vousdoukas et al. (2020) med beregning af omkostningerne ved stormflod i Danmark for høje og lave klimascenarier indtil 2100 og omkostningerne til klimatilpasning repræsenteret ved diger
- IMF (2020) med beregning af omkostningerne for klimatilpasning til stormfloder for eksisterende og fremtidige investeringer i infrastruktur i danske områder, som kan være truede af oversvømmelser.

En række geografisk afgrænsede studier af omkostningerne ved stormflod omfatter for København og Hovedstadsområdet:

- COWI (2010; 2016; 2017b; 2018; 2019; 2020) med studier over København og dele af hovedstadsområdet.
- Smith innovation (2020) og Incentive, 2020 med beregning af omkostningerne ved stormflod syd for København omfattende København og Hvidovre.
- Hallegatte et al. (2007; 2011; 2013) med beregninger af oversvømmelsesomkostninger for stormflod i København baseret på internationale data.
- Abadie et al. (2019), med beregninger af oversvømmelsesomkostninger for stormflod i København baseret på internationale data
- Prahl et al. (2018) med sammenlignende af Hallegate beregninger og egne oversvømmelsesberegninger for København baseret på en standardiseret model for byer i EU.

Der er meget få studier som har opgjort omkostninger ved oversvømmelser for skybrud og dertil knyttet klimatilpasning. Studierne omfatter på landsplan:

- Smith innovation (2012) med opgørelse af markedspotentialet for klimatilpasning til skybrud på landdækkende niveau på basis af skønnede ekstra udgifter til investering og vedligehold af kloakker og til afvanding af vejanlæg inden for en 20 årig tidshorisont. Disse udgifter er dog ikke sat i forhold til opgørelser af skaderne ved oversvømmelser ved skybrud.
- Arnbjerg-Nielsen et al. (2015) med en sammenlignende opgørelse af omkostningerne ved oversvømmelser og klimatilpasning for stormflod og skybrud med indeks for reduktion af omkostninger ved optimal klimatilpasning.

En enkelt dansk undersøgelse (Kouno og Realise, 2020) indeholder samfundsøkonomiske cost-benefit analyser for løsninger til håndtering af terrænnært grundvand. Analysen er dog ikke landsdækkende, men indeholder case studier for Sunds, Herlev, Odense og Aarhus. Tidshorisonten er uklar men går til år 2100 for Odense.

Der er næsten ingen studier over oversvømmelser fra vandløb, men Danske Regioner (Region Midtjylland og SCALGO, 2020) har skønnet over antallet af bygninger som kunne være oversvømmelsestruede i hele Danmark. Derudover har

Erhvervsministeriet, 2017 offentliggjort statistik over udbetalinger fra Stormrådet i forbindelse med oversvømmelser fra vandløb. Miljøstyrelsen har også i et internt notat til Miljøministeriet beregnet antallet af oversvømmede bygninger med KAMP modellen.

En række studier beskriver metodiske og beregningsmæssige forudsætninger for beregninger af omkostninger ved oversvømmelser, og disse omfatter også en række gratis tilgængelige analytiske værktøjer inklusive DTUSkadesøkonomi modellen, Miljøstyrelsens KAMP model, Miljøstyrelsens PLASK model og Kystdirektoratets Kystplanlægger (DTU 2021b; Danmarks Miljøportal (n.d.); Miljøstyrelsen (2020); KDI (2021). En nærmere gennemgang af metoder og værktøjer er indeholdt i afsnit 5 og 6.

De empirisk orienterede studier over omkostninger er suppleret med en række mere generelle strategiske, faglige og politiske vurderinger af oversvømmelser og klimatilpasning, som ikke direkte indeholder empiriske estimater på området. Disse studier er vist i den nederste del af Tabel 2.

Tabel 2. Oversigt over studiernes dækning af geografi, oversvømmelsestyper og sektorer.

			Oversvømmelse				Sektorer		
Referencer	**Forkortet titel**	**Landsdækkende**	**Stormflod**	**Skybrud**	**Vandløb**	**Grundvand**	**Bygninger**	**Befolkning / areal**	**Andet / flere**
Økonomiske studier									
DTU, 2021a	Flood modelling as a basis for damage cost assessments								
COWI, 2017a	Byernes udfordringer med havvandstigning								
Arnbjerg et al., 2015	Evaluating adaption options for urban flooding .								
Region Midtjylland og SCALGO, n.d	Risiko for oversvømmelse af ejendomme								
Vousdoukas et al., 2020	Economic motivation for raising coastal flood defenses								
COWI, 2018	Stormflod og havvandsstigninger								
Incentive, 2020	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne								
COWI, 2016	Beskyttelse mod oversvømmelse af København								
COWI, 2010	Klimasikring af København mod oversvømmelser								
Københavnds Kommune, 2017	Stormflodsplan								
Smith innovation, 2020	Stormflodssikring af Kalveboderne								
COWI, 2020	Strategi for klimatilpasning af små havne								
Abadie et al., 2019	Risk measures for 600 European coastal cities								
Hallegatte et al., 2011	Storm surge risk in port cities: Copenhagen								
Prahl et al., 2018	Damage and protection cost curves for coastal floods								
IMF, 2020	Fiscal Monitor: Policies for the Recovery								
COWI, 2017b	Sikring af København mod stormflod								
COWI, 2019	Udredning af stormflod og havvandsstigniger								
Hallegatte et al., 2007	Climate change economic impacts in urban areas								
Hallegatte et al., 2013	Future flood losses in major coastal cities								
Københavnds Kommune, 2012	Skybrudsplan								
Københavns Kommune, 2011	Københavns klimatilpasningsplan								
Rambøll, 2015	Udredning om tilpasning til havvandstigninger								
Realise Aps og Kuono P/S, 2020	Cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand								
Smith innovation, 2012	Analyse af markedspotentialet for klimatilpasning								
Springmann, 2012	The costs of climate-change adaptation in Europe: A review								
Værktøjer og metoderapporter									
DTU, 2020	Kystoversvømmelse i Jyllinge Nordmark								
COWI, 2014	Enhedsomkostninger fra skybrud								
Danmarks Miljøportal, n.d.	KAMP								
DMI, 2020	Klimaatlas								
DTU, 2021b	DTU Skadesmodel								
Erhvervsministeriet, 2017	Stormflods-, oversvømmelses- og stormfaldsordninger'								
GEUS, 2020	HIP								
KDI, 2018	Risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb								
KDI, 2021	Kystplanlægger								
KU IFRO, 2021	Klimatilpasningens samlede effekter								
Miljø- og fødevareministeriet, 2016	Kystanalyse								
Miljøstyrelsen, 2020	PLASK								
Generelle vurderinger									
EEA, 2016	Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016								
EEA, 2017	Climate change adaption and disaster risk reduction								
EU Kommissionen, 2021	Economic impacts of climate change and mitigation								
EU, 2020	Adaptive asset management for flood protection								
Jebsen og Piontkowitz, 2016	Danish risk management plans of the EU Floods Directive								
KDI, 2016	Omkostningseffektiv kystbeskyttelse								
KL og DANVA, 2019	National indsats imod stigende overfladenært grundvand								
KL, 2020	Klimatilpasning for fremtiden								
KU IFRO, 2019	Økonomiske effekter af havvandsstigninger for byer								
Miljøstyrelsen, 2017	Evaluering af kommunal klimatilpasning								
Olesen et al., 2020	Flood damage assessment								
Rambøll, 2018	forsyningssikkerhed på vandområdet								
Regeringen, 2019	initiativer til styrkelsen af hovedstadsområdet								
Vousdoukas et al., 2016	Developments in large-scale coastal flood hazard mapping								

4. Analyse af studier med estimater af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning

I det følgende præsenteres i tabelform (tabel 3) oversigter over studierne, som indeholder økonomiske opgørelser af de samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og til klimatilpasning. Der præsenteres særskilte oversigter over studier for stormflod og skybrud, og disse er efterfulgt af nogle korte beskrivelser af de enkeltstående tilgængelige studier for vandløb og grundvand. Omkostningerne, som er opgjort i de enkelte studier, repræsenterer meget forskellige metoder og forudsætninger, og betydningen af disse forskelle belyses i en sammenlignende vurdering af resultaterne.

Tabel 3. Oversigt over studier med opgørelser af omkostninger ved stormflod og klimatilpasning.

Reference; Forkortet titel	Omkostninger ved stormflod	Omkostning til klimatilpasning	Forudsætninger
DTU (2021a); Flood modelling as a basis for damage cost assessments	Landsdækkende omkostninger for stormflod for alle kommuner for 50 års hændelser og en 100 års hændelse. Scenarie 2041-70: •16,1 mia DKK for RCP 4,5 og 50 år returperiode (RP) •18,2 mia. DKK for RCP 4,5 og 100 år RP •20,1 mia. DKK for RCP 8,5 og 100 år RP Scenarie 2070-2121: •60,5 mia DKK for RCP 8,5 og 100 år RP (90 percentil)	Ikke omfattet	Beregnet som forsikrings omkostning ved fremtidig hændelse Dagens bygninger og omkostninger
Cowi (2017a); Byernes udfordringer med havvand-stigning	Detaljeret analyse for 48 største byer opskaleret til alle byer over 100 år. Risiko for stormflod i NPV: 100 mia. DKK. Heraf bygninger, 63,6 Mia. DKK; Infrastruktur 11,1 mia. DKK; Forsinkelser 18,0 mia. DKK; og Elsvigt 0,3 mia. DKK.	Case studier er indeholdt	Risiko Dagens bygninger og omkostninger
Arnbjerg-Nielsen et al. (2015); Evaluating adaption options for urban flooding	Københavns omkostninger ved stormflod opgjort til index værdi i 2100, 6,6 gange værdi for skybrud i dag.	Kvalitativt diskuteret	Dagens bygninger og omkostninger Vandstandsstigning 70 cm til 2100 og 20 cm fra 2100 til 2117 (lavt scenarie)
Region Midtjylland og Scalgo (2020); Risiko for over-svømmelse af ejendomme	Fremskrivning af antal bygninger med simple oversvømmelsesberegninger.RCP 8,5	Ikke omfattet	Ingen fremskrivning af bygninger eller skadesomkostninger
Vousdokukas et al. (2020); Economic motivation for raising coastal flood defenses	Årlige forventede skadesomkostninger i 2100 i lavt udslipsscenarie er 8,9 mia. EUR, og i højt scenarie 84,6 mia. EUR for hele Danmark	Tilpasningomkostninger beregnet som årlige omkostninger for digehøjde på 0,88 m i lavt scenarie og 1 m i højt scenarie: Lavt scenarie 90,2 mio. EUR, højt scenarie 224,06 mio. EUR	Fremskrivning af befolkning og BNP baseret på IPCC scenarier
COWI (2018); Stormflod og havvands- stigninger	Omkostninger ved stormflod i København og hovedstandskommuner 22,5 mia DKK for 100 årig periode NPV. 100 og 1000 års hændelser fra syd og nord	Beregning af af anlægsomkostninger for alle kommuner	Dagens bygninger og omkostninger
Incentive (2020); Konsekvenser af stormflods- sikring af Kalveboderne	Undgående skader ved stormflodssikring af Kalveboderne fra 2020 til 2120 målt som risiko: I alt 5,1 mia. DKK Bygninger: 2,8 mia. DKK Trafikanter: 1,63 mia. DKK Selskaber: 0,57 mia. DKK El, vej og jernbane: 0,15 mia. DKK	Sikring med sluse/dige 620-2.820 mio. DKK svarende til at alle skader er undgået	3 % forventet tab i ejendomsværdi for boliger i stueetage er medtaget som omkostning Dagens bygninger og omkostninger COWI beregninger med høje forudsætninger for stormflodsniveauer
COWI (2016); Beskyttelse mod over-svømmelse af København	Nuværende risiko ca. 23 mio. DKK/ år Heraf private 9,474 mio DKK, erhverv 2,537 mio.DKK, infrastruktur samlet 1101 mio. DKK, forsinkelser 9,600 mio. DKK	Det anbefales, at sikre København til en 1000 års hændelse i år 2050. Dette mindsker årlig risiko til 4 mio DKK/år i år 2015. Laves der ikke tiltag, ville denne stige til 35 mio DKK/år i år 2050, men med sikring stiger den 'kun' til 6 mio DKK / år.	Dagens bygninger og omkostninger COWI beregninger med høje forudsætninger for stormflodsniveauer

Tabel 3 fortsat.

Reference; Forkortet titel	Omkostninger ved stormflod	Omkostning til klimatilpasning	Forudsætninger
COWI (2010); Klimasikring af København mod oversvømmelser	Omkostninger i alt ved stormflod i København over 100 år NPV 9-18 mia DKK	Sikring mod skader i 100 år 4 mia DKK NPV	Dagens bygninger og værdier 1 m havniveau 1990 til 2100 1 m havniveau 1990 til 2100 Stormflodshøjde 10 cm. ekstra
Københavns Kommune (2017); Stormflodsplan	Omkostninger på 7,3 til 11,8 Mia DKK. NPV over 100 år	7,5 til 7,6 mia kr over 100 år at sikre for 1000 års hændelse. omkostninger til klimatilpasning. (NPV)	Dagens bygninger og værdier Højt COWI scenarie for vandstand
Smith innovation (2020); Analyse af markeds-potentialet for klimatilpasning	Med den nuværende kystbeskyttelse er NPV for fremtidige skader 5.1 mia. DKK frem mod år 2120 fordelt på sektorerne: infrastruktur, forsinkelser og bygninger for København og Hvidovre	For 2.4-4.7 mia. kan man kystsikre til 5m; hvilket svarer til en besparelse på på 0.6-2.8 mia DKK	Dagens bygninger og værdier
COWI (2020); Strategi for klimatilpasning af små havne	Klimatilpasningsløsningers tidsperspektiv, økonomi og sikkerhed angives for forskellige havnetyper i piktogramm frem mod 2120. Angives ikke i konkrete tal, men i piktogrammer. L	Løsninger omfattende øget beredskab (sandsække), forhøjelse af havneniveauer og sluser	Dagens bygninger og værdier Højt COWI scenarie for vandstandsniveau
Abadie et al. (2019); Risk measures for 600 European coastal cities	Skader i København 2100: NPV 25,4 mio EUR som residual skade, hvor optimal investering i dige er indregnet. Omkostninger til dige: lavt scenarie (RCP 2.5) 7,2 mio EUR; højt scenarie (RCP 4.5) 10,4 mio EUR	Ikke særskilt angivet	Fremtidige værdier med BNP vækst. Ingen danske data og højt geografisk aggregeringsniveau
Hallegatte et al. (2011); Storm surge risk in port cities: Copenhagen	Omkostningerne ved stormflod uden tilpasning for 100 års hændelse: 3 mia. EUR NPV (150 cm over normalt niveau).	Tilpasning antages at koste nogle hundrede millioner EUR	Fremtidige værdier med BNP vækst 150 cm. over normalt havniveau. Ret høje omkostninger over skader ved stormflod baseret internationale data. Fremskrivning af værdier koblet til BNP vækst betyder stor fremtidig værdistigning
Prahl et al. (2018); Damage and protection cost curves for coastal floods	Studiereview konkluderer, at 5 m stormflodshøjde giver skader på mellem 4,28 mia. EUR og 29, 7 mia. EUR for stormflodshændelse	Ikke omfattet	Fremtidige værdier med BNP vækst
IMF (2020); Fiscal Monitor: Policies for the Recovery	Ikke omfattet	Fra IMF 1,7% af BNP årligt til klimatilpasning indenfor de næste 15 år til sikring af eksisterende og ny infrastruktur	Fremskrivning af investeringer i infrastruktur Internationale data for omkostninger

4.1 Landsdækkende danske studier

DTU (2021a) beregner omkostningerne ved stormflod for 50- og 100 års returperioder (RP) i form af en aggregering af omkostningerne baseret på en detaljeret modellering af stormflodshøjder og antal berørte bygninger repræsenteret på kommuneniveau. For et RCP 4,5 klimascenarie beregnes omkostningerne ved stormflod til at være 16,1 mia. DKK svarende til en 50 års returperiode og 18,2 mia. DKK svarende til en 100 års returperiode. Der er her anvendt en ensartet gennemsnitværdi for stormflodshøjder for givne tidsintervaller som f.eks. for perioden 2041-70 svarer til dataperioder i DMI's

Klimaatlas[1] (DTU 2021a). Hvis klimascenariet i stedet er RCP 8,5, stiger omkostningen til at være 20,1 mia. DKK. For en scenarieperiode i slutningen af dette århundrede (udregnet tilsvarende for 2071-2120) kan omkostningerne komme helt op på 60,5 mia. DKK for 90% percentilen af et RCP 8,5 scenarie. Af rapporten fremgår det, at de pågældende skader ikke kan udløses af en enkelt storm, men er baseret på regionalt forankrede beregninger over konsekvenserne af stormfloder, hvor der er taget højde for, hvordan ekstreme stormflodsniveauer kan opstå i forskellige dele af Danmark. Ligeledes ses det i rapporten, at oversvømmelses-fremskrivningerne med den anvendte stormflodsmodel giver højere estimater for antallet af berørte bygninger end, hvis en oversvømmelsesmodel var anvendt, hvor der blev taget højde for en stormflods varighed og udbredelsen af vand over tid.

COWI (2017a) beregner omkostningerne ved en stormflod for alle danske byer over en 100 årig periode til at svare til en nutidsværdi (NPV) på 100 mia. DKK. Der er her taget hensyn til den samlede sandsynlighed for oversvømmelser i hele den 100 årige analyseperiode i form af en risikoberegning. Beregningerne bygger på forudsætninger om havstandsniveauer for fremtidige klimaændringer, disse er dog ikke direkte relateret til alternative klimascenarier. 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.

DTU og COWI analyserne er ikke direkte sammenlignelige, da DTU beregningen opgør den samlede fremtidige omkostning ved specifikke enkeltstående stormfloder, mens COWI beregningen omfatter de samlede tilbagediskonterede omkostninger ved oversvømmelser over en 100-årig scenario periode, hvor flere forskellige oversvømmelseshændelser kan forekomme. Derudover bygger DTUs beregninger på lokalt specificerede skadesfunktioner givet vanddybde på land, hvor højere vanddybder betyder stigende omkostninger per oversvømmet enhed i modsætning til COWI beregningen, som anvender konstante enhedsomkostninger uanset vanddybde for oversvømmede bygninger. Yderligere medtager COWIs beregninger ud over bygninger også omkostninger på infrastruktur, forsinkelser i transport og elsvigt. Bygningerne udgør her 63% af omkostningerne. Hverken DTU- eller COWI studiet omfatter samlede opgørelser af omkostningerne til klimatilpasning.

4.2 Internationale landsdækkende studier

Vousdoukas et al. (2020) opgør de samlede årlige forventede skadesomkostninger i en periode indtil år 2100 ved stormflod i Danmark til at være 8,9 mia. EUR i et lavt udslips-scenarie (svarende til et lavt RCP 4,5 klimascenarie), og i et højt udslips scenarie (svarende til RCP 8,5 klimascenarie) til at være 84,6 mia. EUR for hele Danmark. Tilpasningsomkostninger er beregnet som gennemsnitlige årlige omkostninger for en digehøjde på 0,88 m i et lavt scenarie og på 1 m i et højt scenarie svarende til henholdsvis 90,2 mio. EUR og 224,06 mio. EUR, hvilket gør disse investeringer i

[1] DMI angiver perioder som f.eks. 2041-70 for vandstandshøjder i deres Klimaatlas for at mindske usikkerhederne ift. bagvedliggende beregninger med klimamodeller.

kystbeskyttelse yderst rentable. Vousdoukas (2020) beregningen er ligesom COWI (2017a) en beregning af risiko, hvor hyppigheder over forskellige oversvømmelseshændelser indgår. COWI beregningen indeholder dog ikke alternative scenarier for vandstandsstigninger og afspejler dermed heller ikke et højt RCP 8,5 scenarie som Vousdoukas. Alt i alt ligger Vousdoukas, 2020 beregningerne over omkostninger ved oversvømmelser på et højt niveau sammenlignet med COWI, 2017a også i betragtning af den kortere scenarieperiode i Vousdukas beregningen sammenlignet med COWI.

IMF (2020) har som en del af baggrundsarbejdet for deres Fiscal Monitor beregnet, at udgifterne til klimatilpasning i Danmark kan udgøre 1,7% af BNP årligt til klimatilpasning inden for de næste 15 år til sikring af eksisterende og fremtidig infrastruktur, hvilket vil svare til 39,6 mia. DKK ift. BNP niveauet i 2020. Dette er et meget højt omkostningsniveau set ift. studierne af DTU (2021a) og COWI (2017) og studiet af Vousdoukas (2020). IMF studiet har begrænsninger ift., at der ikke er anvendt danske data for sårbarheder, se i øvrigt Springmann (2012) for en nærmere redegørelse for de bagvedliggende regnemetoder for vurdering af klima og infrastruktur i IMF studiet.

4.3 Studier for København og hovedstadsområdet

En række studier for København og hovedstadsområdet er foretaget af COWI (2010; 2016; 2017b; 2020). COWI data om stormflodshøjder indgår også i Incentive (2020) studiet om stormflodssikring i den sydlige del af København og Hvidovre og i kommunernes egne planer for klimatilpasning.

COWI-studierne med forskellige reference-år bygger på en ensartet metode, og forudsætningerne er løbende opdateret efterhånden som nye klimadata og omkostningsdata har været til rådighed. Resultaterne af de seneste studier vil derfor særligt her blive behandlet.

COWI (2019) opgør derudover omkostningerne ved stormflod og havvandstigning for udvalgte byer i Region Hovedstaden inklusive København, Lyngby-Taarbæk, Gentofte, København, Frederiksberg, Tårnby, Dragør, Hvidovre Kommune, Brøndby Kommune, Vallensbæk, og Ishøj. Omkostningerne ved stormflod er her opgjort til samlet at være en NPV på 22,5 mia. DKK for en 100 årig periode, og der er efterfølgende beregnet omkostninger ved klimatilpasning for de enkelte kommuner. Omkostningerne til klimatilpasning for Københavns kommune er her beregnet til at være NPV 5,2 mia. DKK og bygger på forudsætninger om en stormflodshøjde for en returperiode på 1000 år på 3,6 m ved en stormflod fra syd. Københavns kommunes stormflodsplan for 2017 har tidligere opgjort omkostningerne til oversvømmelser ved stormflod til at være 11,8 mia. DKK og omkostningerne til klimasikring til klimatilpasning niveau til at være 7,5 til 7,6 mia. DKK, hvis der sikres svarende til en beskyttelse mod en stormflod svarende til en returperiode på 1000 år for hele København (Københavns Kommune, 2017). Stormflodshøjden svarer her til niveauet i Incentive (2020).

Incentive (2020) og Smith Innovation (2020) har opgjort en NPV for fremtidige skader til 5,1 mia. DKK frem mod år 2120 fordelt på sektorerne: infrastruktur, forsinkelser og bygninger. Bygningers andel er her 59%, hvis den nuværende kystbeskyttelse

fortsættes uændret. En sikring, hvor oversvømmelser helt ville kunne undgås for de to kommuner, vil indebære en omkostning på NPV 2.4-4.7 mia. DKK, for en kystsikring til 5 m. Dette svarer til en besparelse på 0,6-2,8 mia. DKK NPV i forhold til omkostningerne ved oversvømmelser. En række beregninger af stormflodsomkostninger er opdateret i studiet i f.h.t. tidligere analyser, deriblandt (COWI, 2017b). De økonomiske komponenter tæller her bl.a. private bygninger, erhverv, elsvigt, infrastruktur (transformerstationer, veje og jernbaner), forsinkelser (transport – veje, tog og fly), sygdom/sundhed og huspriser. Ud af de samlede omkostninger ved oversvømmelser fra stormflod udgør privat beboelse 1,7 mia. DKK og erhvervsbygninger 0,64 mia. DKK. Beregningerne gælder for et relativt højt stormflodniveau (se en nærmere gennemgang af alternative forudsætninger om stormflodsniveauer i afsnit 4).

Der er gennemført en række internationale studier for København omfattende Abadie et al. (2019), Hallegate et al. (2011) og Prahl et al. (2017).

Hallegate et al. (2011) beregner omkostningerne ved stormflod i København svarende til et niveau på 1,5 m. til at være 3 mia. EUR. Fremtidige stigninger i værdier er indregnet baseret på forudsætninger om økonomisk vækst. Forudsætningerne om omkostninger ved oversvømmelser er baseret på internationale kilder og ligger på et højt niveau sammenlignet med antagelser i danske studier.

Abadie et al. (2019) beregner, at der efter gennemførelse af en optimal klimatilpasning i form af diger vil være omkostninger svarende til en NPV 25,4 mio. EUR ved stormflod i København i år 2100. Omkostningerne til diger er i et lavt RCP 2,6 scenarie 7,2 mio. EUR, og i et højt RCP 4,5 scenarie 10,4 mio. EUR. Omkostningerne til sikring med diger er sat lavt sammenlignet med f.eks. Incentive (2020)'s estimater over sikring i Københavns og Hvidovre kommuner og også ift. Københavns stormflodsplan fra 2017.

Prahl et al. (2018) sammenligner studier af Hallegate et al. (2011 og 2013) med egne modelberegninger og konkluderer, at en stormflodshøjde på 5 m. i København kan medføre omkostninger på mellem 4,28 mia. EUR og 29,7 mia. EUR, hvilket svarer til stormflodsniveauet i de høje stormflodsscenarier, som er indeholdt i Incentive (2020) studiet for København og Hvidovre.

Som konklusion på de danske studier for København og en række af hovedstadskommunerne kan man fremhæve, at de fleste dansk baserede studier bygger på relativt ensartede forudsætninger om enhedsomkostninger ved oversvømmelser (se en nærmere gennemgang af disse i afsnit 4). Der er dog betydelige forskelle i forudsætningerne om stormflodsniveauer svarende til specifikke returperioder især for Københavnsområdet, hvor en række af de nyeste danske studier fra 2017 og frem har inddraget høje stormflodsniveauer svarende til op til 5 meter frem imod år 2100, hvilket er en markant øgning i forhold til yderligere studier. Inddragelsen af de høje stormflodsniveauer er baseret på en nyligt udviklet metode for fremskrivning af stormflodshøjder i østersøområdet, som adskiller sig fra andre anvendte metoder i stormflodsfremskrivninger, se afsnit 4 for en nærmere diskussion af metoderne. Høje forudsatte niveauer for stormflodshøjder giver et højt estimat for antallet af berørte bygninger og aktiviteter, og dermed relativt høje omkostninger for oversvømmelser. Sådanne forskelle i forudsætninger om stormflodshøjder er en væsentlig årsag til forskelle i konklusioner om omkostninger ved oversvømmelser og investeringer i

klimatilpasning i København og i hovedstadsområdet. Sammenlignet med danske studier så varierer internationale studier relativt mere både i deres forudsætninger om omkostninger og om stormflodshøjder. De internationale studier omfatter således også både lave omkostningsskøn som i Hallegate et al. (2011) baseret på et forudsat lavt stormflodsniveau, og meget høje skøn som i Prahl et al. (2017) under forudsætning af en stormflodshøjde på så meget som op til 5 m.

4.4 Omkostningerne ved oversvømmelser og tilpasning ved skybrud

En opgørelse af omkostningerne ved oversvømmelser og tilpasning ved skybrud er vist i Tabel 4.

Tabel 4. Oversigt over opgørelsen af samfundsøkonomiske omkostninger ved skybrud.

Reference; Forkortet titel	Omkostninger ved skybrud	Omkostning til klimatilpasning	Forudsætninger
Smith innovation (2012); Analyse af markeds-potentialet for klimatilpasning	Ingen opgørelse af skader ved oversvømmelser	Merinvesteringer i kloakker svarende til 180 til 410 mio. DKK årligt	Baseret på foreliggende planer for kloakeringsbehov
Københavns kommune (2012); Skybrudsplan	Skader ikke opgjort Konkludes at sikring til 100 års returperiode er optimal	Anlægsomkostninger indtil 2033 på 3,8 mia DKK.	Dagens bygninger og værdier
Arnbjerg-Nielsen et al. (2015); Evaluating adaption options for urban flooding	København Skybrudsskader opgjort til index værdi i 2100 sammenlignet med 1 i dag : RCP 8.5: 3,7 gange skybrudsskader i dag i København	Efter tilpasning vil skaderne være 0.6-1.0 gange skaderne i dag i et RCP 8,5 scenarie	Dagens bygninger og værdier

Som det fremgår af Tabel 4, er der ikke nogle landsdækkende studier, som opgør omkostningerne ved oversvømmelser fra skybrud. Smith Innovation (2012) har dog opgjort merudgifterne til investeringer på kloakområdet på landsplan til imødegåelse af skybrud til at udgøre 10-20% ekstra omkostninger til nyanlæg og 10-25 % ekstra i forbindelse med renovering, og det ville i Smiths beregning svare til merinvesteringer på 180 til 410 mio. DKK. årligt. Kloakområdet er det største udgiftsområde inden for klimasikring for skybrud (Smith Innovation, 2012).

Københavns kommunes skybrudsplan fra 2012 beregner de samlede udgifter til klimasikring til at være 3,8 mia. DKK frem til år 2033, hvilket svarer til en årlig omkostning på 0,19 mia. DKK. Skybrudstiltagene er et supplement til investeringerne på kloakområdet. Skybrudsplanen indeholder afledning af nedbør til havet, opmagasinering af vand og blå-grønne løsninger i byen.

Arnbjerg-Nielsen et al. (2015) konkluderer, at skaderne ved et højt klimascenarie svarende til RCP 8,5 ved skybrud i København kan være 3,7 gange skybrudsskaderne i dag og, at det kan være optimalt, at investere i klimatilpasning, som stort set undgår disse skader. Der foreligger dog ikke direkte økonomiske skøn i denne artikel.

På baggrund af disse meget begrænsede tilgængelige studier over omkostningerne ved skybrud og klimatilpasning må det konkluderes, at det er meget svært drage overordnede konklusioner på området.

4.5 Omkostninger ved oversvømmelser og tilpasning for vandløb

Der er ingen samlede danske analyser af oversvømmelser fra vandløb, men Danske Regioner har i en beregning med SCALGO estimeret antallet af berørte bygninger ved oversvømmelser fra vandløb ved en 100 års hændelse til at være 10.664 bygninger og tilsvarende ved skybrud ved en 100 års hændelse til at være 393.574 bygninger (Region Midtjylland og SCALGO, 2020). Derudover har Erhvervsministeriet (2017) opgjort det samlede antal anmeldte skader ved oversvømmelser for perioden 2010-2016 fra vandløb til at være 184 små hændelser med en gennemsnitlig udbetaling på 2,1 mio. DKK per hændelse og tre store hændelser med en gennemsnitlig udbetaling på 10,7 mio. DKK per hændelse.

4.6 Omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning for grundvand

Der foreligger ingen samlede analyser for omkostningerne ved oversvømmelser fra grundvand, men Realise og Kuono (2020) har gennemført en cost-benefit analyse af løsninger til håndtering af terrænnært grundvand baseret på case studier for Sunds, Odense, Herlev, og Aarhus. I Sunds er det antaget, at der er 58 berørte ejendomme, i Odense 4.360 berørte ejendomme med kælder og 335,4 km vej, i Herlev 321 ejendomme med kældre berørt plus 29 virksomheder samt 3,2 km vej, og i Aarhus er der 651 ejendomme med og uden kældre berørt plus 20,5 km vej. Rapporten indeholder en række økonomiske opgørelser af omkostningerne ved oversvømmelser, hvor et hovedelement er tab af ejendomsværdier. Forudsætningerne bag beregningerne af tabte ejendomsværdier ved høj grundvandsstand fremgår dog ikke transparent i rapporten.

4.7 Generelle konklusioner på studier over oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand og klimatilpasning

Som allerede konkluderet i afsnit 1 og i dette afsnit er der væsentlige mangler i den eksisterende litteraturmæssige baggrund for at træffe overordnede konklusioner om samfundsøkonomiske omkostninger inden for de enkelte typer af oversvømmelser såvel som på tværs af de forskellige typer af oversvømmelser, idet grundige analyser heraf udestår og i særdeleshed studier med samme forudsætninger. Stormfloder er bedst dækket i litteraturen, og især København og Hovedstadsområdet er dækket af studier. På dette område er der muligheder for at danne sig et overblik over antallet af berørte bygninger og påvirkningen af trafik på trods af variation i forudsætninger om havstandsniveau og stormflodsscenarier mellem studierne. DIsse studier er et godt indledende grundlag for at vurdere de samfundsøkonomiske omkostninger ved stormfloder, men de bør videreudvikles med en opdatering af scenarier for stormflodshændelser og med mere omfattende økonomiske vurderinger af hvilke værdier, som er på spil ved oversvømmelser både i form af markedsomsatte goder og værdier som økosystemer, helbred og kultur, som er vanskeligere at værdisætte.

Oversvømmelser i forbindelse med skybrud er meget sparsomt dækket i litteraturen, og det er derfor vanskeligt at drage konklusioner om antallet af berørte bygninger eller andre omkostninger. Samme begrænsninger gør sig også gældende inden for oversvømmelser fra vandløb og grundvand, hvor stort set ingen studier har dækket områderne.

En række metodiske spørgsmål og forudsætninger vil i det næste afsnit blive diskuteret som basis for en vurdering af i hvilket omfang de foreliggende studier vil kunne danne baggrund for at drage overordnede danske konklusioner.

5. Kritiske metodiske og datamæssige forudsætninger for sammenligning af studierne

I forbindelse med sammenligning af studier over omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning introducerede afsnit 2 indledningsvis en række særlige kritiske metodiske spørgsmål og forudsætninger i forbindelse med vurdering og sammenligning af studier af omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning. I forlængelse heraf vil disse faglige elementers betydning for specifikke studier og deres konklusioner blive belyst nærmere.

5.1 Økonomi

De fleste opgørelser, som er indeholdt i studierne af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning, som er omtalt i afsnit 3, indeholder ikke en klar skelnen mellem samfundsøkonomi og privatøkonomi. Et eksempel herpå er opgørelser over omkostninger ved oversvømmelser af bygninger, hvor studierne næsten udelukkende fokuserer på omkostninger til renovering af bygninger baseret på tidligere forsikringsudbetalinger eller andre kilder for reparationsomkostninger. Sådanne omkostninger afspejler en række privatøkonomiske omkostninger, men der er ikke taget højde for en række andre omkostningselementer, som f.eks. omkostninger i form at tabt ejendomsværdi, som er med i Incentive (2020) studiet for København og Hvidovre. Yderligere er der også en række privatøkonomiske omkostninger hos beboere og ejere som f.eks. arbejdstid forbundet med oprydning, genhusning og administration af forsikringssager, som heller ikke er medtaget (DTU, 2021b). Alt i alt kan det konkluderes, at omkostninger ved oversvømmelser af bygninger dermed er sat lavt og primært afspejler et privatøkonomisk perspektiv. I forbindelse med beregninger af omkostninger for transportsektoren anvender studierne dog typisk samfundsøkonomiske forudsætninger for værdien af tid i forbindelse med forsinkelser. En dækkende samfundsøkonomisk beregning burde i princippet også inddrage andre konsekvenser af oversvømmelser end eksisterende studier som f.eks. på natur, helbred, kulturelle og historiske værdier, og produktionstab. Nogle af de tilgængelige analytiske værktøjer kan understøtte sådanne beregninger som f.eks. DTU, 2021 og KDI, 2020, men disse værktøjer har endnu ikke været anvendt til landsdækkende analyser med inddragelse af alle disse elementer, se en gennemgang af værtøjerne i afsnit 5.

Som anført i afsnit 3, så beregner nogle studier omkostningerne ved en given stormflodshændelse, og tilbagediskonterer denne værdi til en nutidsværdi NPV, mens andre studier beregner en fremtidig værdi for omkostningerne ved en oversvømmelse som i DTU uden tilbagediskontering til nutidsværdier (2021b). I forlængelse heraf kan der foretages risikoberegninger, hvor omkostningerne opgøres som en forventet værdi, hvor der både tages højde for omkostningerne ved forskellige oversvømmelses hændelser og hyppigheden af hændelserne. Risikoberegninger kan enten repræsenteres som en nutidsværdi (NPV), som f.eks. i COWI (2017a) eller som forventede årlige omkostninger, hvor en NPV er fordelt ud over analysens tidshorisont i form af konstante årlige omkostninger. Risikoberegninger vil typisk omfatte hændelser med hyppige returperioder og lave oversvømmelsesniveauer og hændelser med sjældne returperioder og højere oversvømmelsesniveau, og dertil knyttede relativt lave og høje omkostninger ved oversvømmelser. I opgørelsen vil de hyppige hændelser med relativt lave omkostninger ved oversvømmelser tælle mest, simpelthen fordi de optræder ofte. Modsat vil beregninger over en specifik stormflodshændelse kunne resultere i, at sjældne hændelser med høje omkostninger ved oversvømmelser kan komme til at fremstå markant. Sådanne store oversvømmelser kan ofte være vigtige i forbindelse med beslutningstagning, og konsekvenserne heraf bør derfor også fremlægges og belyses i studierne. I forbindelse med anvendelse af samfundsøkonomiske beregninger som basis for beslutninger om klimatilpasning er det således vigtigt både at tilvejebringe information om mindre- og større oversvømmelses hændelser og at vurdere, hvorvidt det er omkostningseffektivt at gennemføre klimatilpasning til meget høje stormflodsniveauer, hvis de dermed forbundne udgifter stiger kraftigt.

De danske beregninger over omkostninger ved oversvømmelser har fulgt Finansministeriets retningslinjer for diskonteringsrenter for samfundsøkonomiske analyser, og disse diskonteringsrenter er blevet justeret i en nedadgående retning over tid. Studier som har anvendt relativt lave diskonteringsrenter langt ude i fremtiden vil få et relativt højt skøn over omkostningerne ved oversvømmelser sammenlignet med studier med lavere fremtidige diskonteringsrenter. Dette har en særlig betydning, da omkostningerne ved oversvømmelser vil vokse over tid, alene fordi fremtidige forudsætninger om havstandsstigninger og hyppighed af skybrud mm. som følge af klimaændringer.

Studierne over omkostninger ved oversvømmelser bygger i de fleste tilfælde på ret detaljerede beregninger af omkostninger knyttet til oversvømmelse af en bygning, en vejstrækning og lignende, og forskelle i forudsætninger om omkostninger for disse områder har derfor en stor betydning for resultaterne. I det følgende gennemgås en række af de vigtigste omkostningsforudsætninger, som indgår i danske studier. Nedenstående Tabel 5 viser en oversigt over en række centrale forudsætninger om omkostninger anvendt i danske oversvømmelsesstudier dækkende områder, som ofte har være omfattet af studier, nemlig bygninger, erhverv, transport, infrastruktur og elsvigt. Appendiks 9.1 indeholder samlede oversigter over omkostningsforudsætninger i alle rapportens studier opdelt på sektorer.

Når omkostningerne ved oversvømmelserne sammenlignes på basis af forudsætningerne indeholdt i Tabel 5, er det vigtigt at bemærke, at forskelle i omkostninger f.eks. ift. boliger kan afspejle forskellige typer af oversvømmelser, hvor

der har vist sig en tendens til, at meget høje oversvømmelsesniveauer, som ved Bodil Stormen i 2013, gav meget høje omkostningsniveauer. Erhvervsministeriet (2017) indeholder på basis af beretninger fra Stormrådet et godt statistisk grundlag for at fastlægge enhedsomkostninger for oversvømmelser ved stormflod for bygninger, og denne statistik ligger til grund for DTU (2021). Det er ikke helt klart, hvilket kildegrundlag, som der ligger til grund for omkostningsforudsætningerne i de andre studier, som er indeholdt i Tabel 5. Indenfor skybrud, vandløb og grundvand er der kun et meget sparsomt datagrundlag for at fastsætte enhedsomkostninger for oversvømmelser bl.a. fordi databeskyttelsesregler i de seneste år har gjort det vanskeligt at få direkte adgang til forsikringsoplysninger på detaljeret niveau.

Forskelle i forudsætninger om omkostninger i de forskellige studier kan også være en konsekvens af, at studierne omhandler forskellige geografiske områder, hvor visse byområder kan indeholde høje ejendomsværdier sammenlignet med andre områder med deraf følgende forskellige niveauer for forsikringsudgifter. Derudover er der også forskelle i metoderne, som omkostningerne er fastlagt ved. Nogle metoder, som f.eks. DTU (2021b), har fastlagt omkostninger ved oversvømmelse af antal m^2 boliger fra stormflod ved detaljerede beregninger af sammenhængen mellem stormflodsniveauer på land og forsikringsudgifter, mens andre metoder opererer med ens omkostninger per m^2 uanset vanddybder. På trods af disse forskelle er der ret stor ensartethed mellem de forudsatte omkostninger per m^2 bolig eller stuetage for stormflod i f.eks. COWI (2017a) på 3.599 DKK per m^2 for alle vanddybder på land og i DTU (2021b) (skadesmodel) på 4.807 DKK ved en vandstand på land på 100 cm baseret på statistik fra Stormrådet og egne oversvømmelsesberegninger.

Som tidligere angivet er der meget stor usikkerhed om omkostningerne ved forsikringsudbetalinger for skybrud. De forskellige studier nævner usikkerheden og anvender derefter en ens værdi på omkring 1.250 DKK per m^2 med reference til statistik fra Forsikring og Pension. Det er her værd at bemærke, at omkostningerne ved skybrud for boliger, som angivet i tabel 5 er sat til et markant lavere niveau end for stormflod. Omkostningerne, som er angivet for produktionstab i virksomheder, er alle baseret på specifikke studier f.eks. for hovedstandsområdet, og det giver begrænsede muligheder for at anvende disse på flere områder. Det samme er tilfældet for elsvigt.

DTU (2021b) har udviklet en open source model til opgørelse af omkostninger ved stormfloder, som indeholder data for en række omkostninger, som ligger udover, hvad der er indeholdt i ovenstående Tabel 5. Disse omfatter bl.a. værdier for arbejdstid anvendt af bygningsejere i forbindelse med oprydning og forsikringssager efter oversvømmelser, antal berørte beskæftigede i oversvømmede virksomheder, tabte turismeindtægter og rekreative værdier. Analysen af omkostningerne ved oversvømmelser fra stormflod af Incentive (2020) indeholder også en række omkostningselementer ud over indholdet i Tabel 5 bl.a. omfattende et skønnet tab i ejendomspriser i oversvømmede områder, sundhed og en meget detaljeret opgørelse af omkostninger relateret til transportområdet, hvor offentlig transport som metroen og lufthavnen indgår. Forudsætningerne om tab i ejendomspriser i Incentive (2020) er baseret på en sammenligning af ejendomspriserne i Jyllinge efter Bodil stormen i 2013 med priserne i naboområdet Frederikssund, og det blev her konkluderet, at priserne for sammenlignelige boliger efter oversvømmelsen var 3% lavere for Jyllinge end i Frederikssund. Dette prisfald er så fremskrevet til at fortsætte i beregningsperioden.

Nationalbanken, (2021) har tilsvarende vurderet faldet i salgspriser for boliger i et oversvømmelsestruet område i Roskilde efter oversvømmelser og konkluderer, at priserne i en 3 årig periode har været reduceret med 6%, og at en langsigtet effekt over en 100 årig tidshorisont kunne være i størrelsesordenen 3-4%. Samtidig konkluderer Nationalbanken også, at de økonomiske risici ved sådanne oversvømmelser formentlig er større end svarende til et prisfald på 3-4%. Disse fremskrivninger af ejendomsprisernes påvirkning af oversvømmelsesrisici er naturligvis meget usikre pga. det meget spinkle eksisterende datagrundlag. Fremtidige ejendomspriser må forventes at blive påvirket af en række faktorer omfattende tilgængeligheden af transparent information om oversvømmelsesrisiko, oversvømmelseshændelser og af, hvordan den finansielle sektor reagerer på risikoen for belåning af ejendomme i oversvømmelsestruede områder. Der vil i det følgende blive belyst en række særligt kritiske metodiske og beregningsmæssige forudsætninger i klimafremskrivninger og hydrologiske beregninger af betydning for samfundsøkonomiske beregninger af oversvømmelser og klimatilpasning.

Tabel 5. Oversigt over centrale forudsætninger om omkostninger i danske oversvømmelsesstudier angivet i DKK per m^2 eller per enhed berørt. SF: Stormflod; SB: Skybrud; GV: Grundvand; VL: Vandløb.

	Forkortet titel	Kystplanlægger	Stormflod og havvandsstigninger	Beskyttelse mod oversvømmelse af Københavnn	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalvebodæmme	klimasikring af København mod oversvømmelser	Udredning om tilpasning til havvandstigninger	DTU Skadesmodel, stormflod, 100 cm vandstand	Byernes udfordringer med havvandsstigning	Forsyningssikkerhed på vandområdet	PLASK	Enhedsomkostninger fra skybrud	DTU Skadesmodel, Skybrud, 20 cm vandstand	cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand	DTU Skadesmodel, Vandløb, 20 cm vandstand
	Reference	KDI, 2021	COWI, 2018	COWI 2016	Incentive, 2020	COWI, 2010	Rambøll, 2015	DTU, 2021b	COWI, 2017a	Rambøll, 2018	Miljøstyrelsen, 2020	COWI, 2014	DTU, 2021b	Realise Aps og Kuono P/S, 2020	DTU, 2021b
	Oversvømmels-type	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SB	SB	SB	SB	GV	VL
Bebyggelse	Stueetage - privat		3.599 [DKK/m²]	2.825 [DKK/m²]		5.973 [DKK/m²]	40.512 [DKK/bygn]		3.599 [DKK/m²]	1.153 [DKK/m²]	1.257 [DKK/m²]	1.107 [DKK/m²]		184 [DKK/m²]	
	Kælder –privat		537 [DKK/m²]	528 [DKK/m²]		352 [DKK/m²]	50.000 [DKK/bygn]		537 [DKK/m²]	530 [DKK/m²]	578 [DKK/m²]	509 [DKK/m²]		283 [DKK/m²]	
	Bolig - privat	Variabel						4.807 [DKK/m²]					1.257 [DKK/m²]		976 [DKK/m²]
	Fritidshus						25.000 [DKK/bygn]	5.616 [DKK/m²]					1.249 [DKK/m²]		970 [DKK/m²]
	Bygningsskade - erhverv							5.510 [DKK/m²]			238.418 [DKK/virks.]	210.000 [DKK/virks.]	1.407 [DKK/m²]	34.970 [DKK/virk]	1.092 [DKK/m²]
	Erhverv- Skader, produktionstab og løsøre	Variabel	472.997 [per virks]	448.000 [per DKK/virk]			222.685 [DKK/bygn]		455.616 [DKK/virk]		337.919 [DKK/virk]	295.000 [DKK/virk]			
Elsvigt	Elsvigt private		2.098 [per DKK/bygn.]	2.063 [per DKK/bygn]		1.850 [DKK/enh.]			2.098 [DKK/enh.]		2.230 [DKK/husstand]				
	Elsvigt erhverv		6.295 [DKK/virk]	6.189 [DKK/virk]		5.551 [DKK/virk]			6.295 [DKK/virk]		6.693 [DKK/virk]				
	Elsvigt, offentlig institution					0 [DKK/enh.]					6.693 [DKK/off. inst.]				
	Transformer-stationer			1.100.000 [DKK/enh.]		1.100.000 [DKK/enh.]									
Infrastruktur	Trafikforstyrrelser alle hovedveje		239 [DKK/t]	272 [DKK/t]	305 [DKK/t]	363 [DKK/t]		310 [DKK/t]	239 [DKK/t]		301 [DKK/t]		310 [DKK/t]		310 [DKK/t]
	Vejbrud/ genopførelse	500 [DKK/m²]	3.001 [DKK/m]	2951 [DKK/m]		1.100.000 [DKK/enh.]	100:1000 [DKK/m²]		3.001 [DKK/m]		3.203 DKK/ [m]			534 [DKK/m²]	
	Skader på kloakker		1.201.168 [DKK/enh.]	1.100.000 [DKK/enh.]		1.100.000 [DKK/enh.]			1.201.168 [DKK/enh.]						

5.2 Klima og hydrologi

5.2.1 Stormflod

For stormfloder har studierne anvendt to forskelligartede metoder til beregning af scenarier for fremtidige vandstande: En statistisk metode baseret på returperioder for historisk observerede vandstande samt en metode baseret på numerisk modellering af fysiske processer for stormflodsdynamik.

Statistisk modellering af stormflod

Den statistisk baserede metode baserer sig på en beregnet statistisk sammenhæng mellem hyppigheden af specifikke vandstandsniveauer. Jo længere en observationsperiode, der ligger til grund for sådanne analyser og dermed flere observerede hændelser med forhøjet vandstand, jo bedre er den givne sammenhæng, bl.a. fordi fremtidige forhøjede vandstandsniveauer beregnes som en ekstrapolation af statistikken over tidligere hændelser. I Danmark er måleserier for vandstand i havet tilgængelige for udvalgte danske havne og varierer i længde imellem ca. 20-150 år. Der beregnes på basis af vandstandene returperioder for specifikke hændelser svarende til vandstandsniveauer baseret på lokale data (se også indledende afsnit med forklaring af begreber). Der bør i studier med større geografisk dækning tages højde for, at den naturlige variation imellem lokaliteter indenfor Danmark varierer enormt: I Vadehavsbyer såsom Ribe er en 100-års hændelse på ca. 4,8 m hvor en tilsvarende hændelse i Korsør er ca. 1,57 m (KDI, 2019). Oveni returperiode-niveauerne for lokale vandstande ved stormfloder baseret på historiske målinger tilføjes projekterede havspejlsstigninger, som følge af klimaændringer i en fremtidig returperiode-statistik for forventede vandstande ved en stormflod. For København er havspejlsstigninger f.eks. +52 cm i år 2100 for RCP 8,5 (DMI, 2020). I DTU (2021a) er vandstandsmålinger og returperiodestatistik fra alle officielle danske målestationer opskaleret til hele Danmark, hvor der er differentieret imellem lokale forhold og niveauer for udvalgte RCP-scenarier, og fremtidige perioder fremgår desuden.

Returperiode-metodikken, anvendt i sammenhæng med en statisk modellering af oversvømmelser, svarer til antagelser om, at stormfloder har en meget lang varighed, hvilket indebærer, at oversvømmelser kan brede sig langt ind på land. En sådan forsimpling har en positiv bias i form af en høj estimering af oversvømmede arealer, idet en stormflod ved komplekst terræn i praksis ikke vil nå lige så langt ind over land.

Der er stor forskel i brugen af den statistiske returperiode-metodik i forskellige studier. Nogle studier baserer sig på øjenvidneberetninger i årrækken 1044-1872, bl.a. COWI (2018) om stormflodsniveauer. foruden de officielle tidsserier fra 1873 og fremad. Denne metodik er også brugt i Incentive (2020), hvor stormflodshøjder, der langt overstiger analyser med brug af officielle statistikker siden 1872, indgår. Øjenvidneberetningerne for perioden 1044-1872 er meget højere end, hvad der er målt i officielle observationstidsserier siden 1873. I de officielle statistikker fra Kystdirektoratet (KDI 2017) er en nuværende 500-års stormflod for både Københavns Nordhavn samt Køge (som repræsentant for sydlige stormfloder) ca. 1,7 m. Hvis man til dette niveau lægger både øvre usikkerheds-interval for returperioden (0,2 m) samt øvre konfidensinterval for havspejlsstigning fra DMIs klimaatlas fra det højeste

emissionsscenarie (RCP 8,5: 0,96 m) fås 2,86 m (DMI, 2020). Tilsvarende for en 10.000 års hændelse i DMIs klimaatlas (DMI 2020) er en RCP8,5 hændelse for slutningen af århundredet for Københavns på 2.4 m, med et usikkerhedsloft op til 3,3 m. Begge disse fremskrivninger (for Øresund og nordlige dele af København) er +2 m under niveauet fra Incentive (2020). Forskellen mellem de forskellige tilgange til fastsættelse af stormflodsniveau har meget stor betydning for estimeringen af omkostninger ved forskellige hændelser. I forbindelse med stormfloder i København og Hvidovre sker f.eks. stor andel af skaderne på metroen og lufthavnen, når vandstandsniveauet overstiger 3,5 m og altså ved et niveau, som primært er indeholdt i forudsætninger, som følger af historiske øjenvidneberetninger. De forskellige tilgange til fastlæggelse af forudsætninger om stormflodsniveauer debatteres blandt fagfolk (f.eks. Larsen, 2020).

Dynamisk modellering af stormflod

Et alternativ til den statistiske modellering af stormflodshøjder er en numerisk/dynamisk modellering, som er baseret på velkendte geofysiske og empiriske processer for udvikling af høje vandstande i havet og i stormfloders bevægelser igennem eksempelvis et urbant miljø og dets lokale topografi. En sådan form for modellering er ikke pt. foretaget på nationalt niveau med stormfloder for øje, men må forventes at kunne udføres inden for en årrække både pga. tilføjet computerkraft og nye modelkoder. Af numeriske modeller, som pt. benyttes i Danmark, findes både mere lokalt orienterede modeller såsom DHIs MIKE 21 m.fl. samt modeller i større skala såsom HBM som typisk simulerer havområder omkring hele Danmark og mest bruges indenfor varsling (DMI, 2020) og forskning (Su et al., 2021). Numeriske modeller kan mere præcist end statistiske modeller inddrage lokale forhold og indflydelsen af en stormflods varighed, såsom vist og benyttet i f.eks. Su et al. (2021); Incentive (2021); DTU (2021a). DTU (2021a) viser forskellen mellem den statistiske og dynamiske tilgang, hvoraf den dynamiske model giver en markant mindre grad af oversvømmelse end den statiske ved samme stormflodshøjde pga., at de storm i den dynamiske model har begrænset varighed modsat i den statiske model, som ikke indeholder tidsmæssige begrænser i, hvor meget vandet kan udbrede sig. Eksempelvis giver den statistiske model 3-4 gange så stort et oversvømmet areal samt antal oversvømmede huse sammenlignet med den dynamiske model for Aabenraa for de fleste fremtidige scenarier hen imod midten af dette århundrede (DTU, 2021a).

5.2.2 Skybrud

Beregninger af oversvømmelsesomfanget i forbindelse med et skybrud over Danmark foretages typisk ved at analysere lokale tidsserier af høj tidslig opløsning af observeret nedbør til estimering af, hvor ofte skybrudshændelser med en given intensitet kan forventes. For fremtidige hændelser benytter konsulenter, typisk skrifter fra Spildevandskomiteen (Spildevandskomiteen, 2017) til fremskrivning af ændringer i skybrudsintensitet/nedbørsrater. Hertil knyttes værktøjer til estimering af 'designnedbør' hvor forløb af maksimum-niveau er designet til at matche fremtidige scenarier. DMIs klimaatlas har også for nylig offentliggjort fremskrivninger af ekstremregn baseret på IPCC RCP-scenarier og regionale klimamodeller (DMI, 2020).

Tidsserierne med nedbør bruges efterfølgende som input til en oversvømmelsesmodel, som simulerer vandets dynamiske bevægelser i tid og sted over terræn og nedsivning igennem jord og i kloaksystemer for derved at estimere en distribueret udbredelse af oversvømmelsesdybder. I Danmark benyttes ofte enten DHIs eller SCALGOs værktøjer (henholdsvis MIKE URBAN og SCALGO Live), som meget groft opsummeret har fordele i form af henholdsvis mulighed for implementering af øget kompleksitet og flere brugerindstillinger (DHI) og hurtige beregninger og intuitivt online interface (SCALGO). SCALGO er benyttet til en analyse på lokalt plan (Region Midtjylland og SCALGO, 2020), men resultatet på ca. 394.000 ramte bygninger er med overvejende sandsynlighed meget overestimeret grundet manglende inddragelse af afløbssystemer og lokale drænforhold. Vandselskaberne bruger egne modelopsætninger på lokalt niveau, som kombineret for større geografiske områder kunne give indikationer for sårbarheder på regional/national skala: Sådanne resultater er dog typisk ikke er offentligt tilgængelige. I Region Midtjylland og SCALGO (2020) benyttes SCALGO til landsækkende analyser på screeningsniveau af risikoen for oversvømmelse fra skybrud, og i f.eks. Københavns kommunes klimatilpasningsplan (Københavns Kommune 2011) benyttes MIKE URBAN.

5.2.3 Vandløb

For modellering på national skala findes SCALGOs værktøj, som er online/browser baseret og er i stand til at simulere oversvømmelser fra vandløb, med en mindre grad af kompleksitet i fht. samspil med f.eks. kloaksystemer, nedsivning og grundvand. Endvidere kan SCALGO heller ikke simulere tilbagestuvningsproblematikker i forbindelse med kapacitetsbegrænsninger i f.eks. underføringer og rørlægninger. Derudover findes, stadig på national skala, DHIs MIKE SHE/MIKE 11 model i en opsætning lavet af GEUS kaldet DK-modellen til numerisk modellering af vandløbs- og grundvands- hydrologi på tværs af Danmark (Højbjerg et al., 2013; Larsen et al., 2016; Refsgaard et al., 2016). Denne modelopsætning kan gratis rekvireres af slutbrugere, men kræver licens til egne beregninger for grundvand, hvor vandløbselementer indgår. DK-modellen er tilgængelige online i de Hydrologiske informations og prognosesystem (HIP) (GEUS, 2020) og er vedligeholdt af SDFE og GEUS.

HIP udnytter modelresultater, som er etableret på forhånd i en database, hvorimod SCALGO kan specificeres af en bruger i realtid og vise resultater umiddelbart herefter. Der findes mange andre værktøjer med potentiale til storskala vandløbssimulering globalt set, men udbredelsen i Danmark er begrænset, og modelopsætning af inputfiler og validering er både tidskrævende og kræver høj og specialiseret ekspertise. Af andre, mindre udbredte og kun lokalt anvendelige, vandløbsmodeller kan nævnes f.eks. VASP og HYMOD.

I Region Midtjylland og SCALGO (2020) benyttes SCALGOs værktøj til vurdering af risikoen for oversvømmelser fra vandløb – resultater herfra er vist i afsnit 6.3. I Miljøstyrelsens KAMP model kan antal oversvømmede bygninger analyseres for meget lokale kortudsnit, hvor resultater for vandløb er baseret på SCALGO og foretaget af Kystdirektoratet.

5.2.4 Grundvand

Estimeringer af omkostninger ved oversvømmelser fra grundvand på matrikelniveau, er betinget af detaljeret viden om hydrologisk dynamik og samspillet med både jordbundsforhold og drænforhold for urbane, naturlige og landbrugsmæssige miljøer på tværs af spatiale og temporale skalaer. Dermed er meget detaljeret viden nødvendig for at foretage egentlige landsdækkende analyser. Det eneste værktøj som pt. er sat op til at simulere fremtidige grundvandsforhold på nationalt plan i Danmark er HIP-værktøjet, som også er omtalt ovenfor (GEUS, 2020). Her kan udtrækkes terrænnært grundvand i 100 m opløsning for hele Danmark, for både historiske, fremtidige og realtidshændelser (varsling). Data er præsenteret som sandsynligheder, og ekstremprognoser og kan udtrækkes pr. årstid eller måned. Miljøministeriet (2021) indeholder en overslagsberegning baseret på KAMP på et 10 x 10 m opløsningsniveau for hele landet, som viser at 450.000 bygninger på landsplan har mindre end en meter til grundvandsspejlet, hvoraf 51.000 har kældre.

5.3 Konklusion

Indenfor økonomi, klima og hydrologi er der et solidt vidensmæssigt grundlag for analyser af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og tilpasning, men dette grundlag er ikke fuldt ud bragt i spil indenfor analyser på området. Der er nogle få eksempler på analyser indenfor stormflod, som indenfor deres egen metodiske ramme og forudsætninger bygger på et solidt fagligt grundlag. Der er dog også her væsentlige behov for videreudvikling for bedre at kunne repræsentere samfundsøkonomiske perspektiver. Indenfor skybrud, vandløb og grundvand mangler samlede landsdækkende analyser. Der kunne dog på disse områder relativt enkelt videreudvikles både metoder og forudsætninger bla. baseret på studierne for stormflod som grundlag for økonomiske vurderinger af omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning.

Scenarierne over klimarelaterede oversvømmelses hændelser og hydrologi varierer stærkt mellem studierne, og det skyldes bl.a., at der udestår en dybdegående faglig diskussion af, hvad der gør sig gældende for Danmark. Dette betyder f.eks. at den maksimale stormflodshøjde for København er meget usikker.

6. Analytiske værktøjer udviklet for Danmark

I dag bruges flere forskellige værktøjer og modeller til analyser af omkostningerne ved oversvømmelser og klimatilpasning med forskelligartede detaljeringsgrader og kompleksitet. Vi vil i det følgende sammenligne eksisterende offentligt tilgængelige værktøjer og belyse deres egnethed til samfundsøkonomiske analyser på sektorielt og geografisk niveau. Vi belyser her fire gratis tilgængelige værktøjer nemlig DTU's Skadesøkonomi model, KAMP modellen, PLASK modellen og Kystplanlægger.

Nogle af værktøjerne har integreret modellering af oversvømmelser på basis af scenarier, og andre fokuserer udelukkende på beregning af omkostninger ved

oversvømmelser baseret på oversvømmelsesdata fra andre modeller. Ud over forskelle i modelstrukturer indeholder værktøjerne også forskelligartede forudsætninger om hydrologi, klima og økonomi - se afsnit 4 for en nærmere gennemgang af forskelle og betydningen af disse. På grund af disse forskelle vil opgørelser af omkostninger ved oversvømmelser derfor i meget høj grad afhænge af de værktøjer, som bruges. Et overblik over de fire danske gratis værktøjer og en fremhævelse af stærke og svage sider gives i følgende.

6.1 DTU SkadesØkonomi modellen

DTU SkadesØkonomi modellen (DTU, 2021b) er udviklet af DTU som led i COHERENT projektet finansieret af Innovationsfonden 2017-2021, og er tilgængelig som open source. En række kommuner og KL samarbejder ledet af GeoFyn om videreudvikling og anvendelse af modellen til beregning af planer for klimatilpasning. Disse omfatter p.t. de fynske kommuner, Aabenraa, Vejle, og Slagelse. Kommunerne har bidraget direkte økonomisk til videreudvikling af en ny modelversion. Modellens styrke ligger specielt i mulighederne for at beregne økonomiske konsekvenser af oversvømmelser på baggrund af data, som er direkte i overensstemmelse med kommunernes egne GIS data systemer, som anvendes i deres planlægning. Derudover bygger modellen på et stærkt forankret brugerejerskab, hvor kommunernes egne medarbejdere støttes i selv at foretage analyser. Flere nye outputfaciliteter er under udvikling baseret på ønsker fra kommunerne som følge af deres ibrugtagning af modellen. Et særligt træk ved modellen er dens forskningsforankring, som omfatter kompetencer indenfor klimasystemer, hydrologi og økonomi, hvilket betyder, at modellen hele tiden løbende kan opdateres med nye data, og beregningsrutiner, som bl.a. afspejler de nyeste resultater fra FN's klimaekspertpanel, IPCC.

Modellen indeholder p.t. ikke data for omkostninger ved klimatilpasning, men en videreudvikling af modellen vil omfatte data for specifikke tiltag. Modellen kan anvendes til en iterativ beregning, hvor eksterne beregninger med oversvømmelsesmodeller med integrerede klimatilpasningstiltag kan anvendes til at beregne reduktioner i omkostninger ved oversvømmelser ved klimatilpasning i form af risikoreduktion ved givne investeringer. Sådanne beregninger kan dermed danne basis for vurderinger af, hvor meget det kan betale sig at investere i klimatilpasning.

- *Fokus:* Økonomisk opgørelse af omkostninger ved oversvømmelser, suppleret med fysiske indikatorer for biodiversitet og kritisk infrastruktur.
- *Oversvømmelsestype:* Primært udviklet for stormflod, men der indgår også omkostningsdata på et mere overordnet niveau for skybrud og vandløb.
- *Sektorer:* Bygninger i form af boliger, fritidsboliger og erhverv (BBR), erhvervenes produktion koblet til lokale CVR registre over beskæftigelse og værditilvækst, transport inklusive værdi af tidsmæssige forsinkelser og udgifter til reparation af veje, helbred baseret på lokale data om sårbare aldersgrupper og psykisk stress, rekreative værdier baseret på værdisætning af rekreative værdier, biodiversitet i form af indeks for rødlistede arter, turisme i form af data fra Visit Danmark og kommunerne om antal besøgende og forbrug per døgn på lokalt niveau.

- *Geografisk opløsning:* Bestemmes af bruger, da modellens GIS program tillader kobling mellem oversvømmelsesberegninger og kort over samfundsmæssige værdier og natur mm på et vilkårligt brugervalgt geografisk detaljeringsniveau.
- *Oversvømmelsesmodel*: Bruger oversvømmelseskort som input. Disse kan både være genereret med en dynamisk eller en statisk model.
- *Output:* Detaljeret kortmateriale for sektorerne med markering af vanddybder, og markering af berørte sektorer. Samlede økonomiske omkostningsberegninger for områder og risikoberegning, hvor sandsynligheden for hændelser og forventede omkostninger indgår.
- *Datagrundlag*: Spørgeskemaer, forsikringsudbetaling, alle tilgængelige digitale data på GIS niveau. Open source. Kan linkes direkte til officielle digitale databaser i SDFE og i kommuner mm.

6.2 KAMP

KAMP (Danmarks Miljøportal, n.d.) er meget velegnet til at give et overblik på screeningsniveau over potentielt oversvømmelsestruede områder. Holder styr på arealanvendelser og med direkte link til lokalplaner (PlanDk system), jordbundsarter, HIP mm. Beregninger over oversvømmelser fra nedbør viser lavninger, og der er ingen vurderinger af nedsivninger eller mere avanceret hydrologisk modellering. Klimascenarierne er knyttet direkte til DMIs Klimaatlas. Antallet af påvirkede bygninger og veje vises, og der beregnes samlet ejendomsværdi fratrukket grundværdier for berørte områder.

Det er en styrke ved KAMP, at arealdata for mange planlægningsaspekter sammenstilles, så brugere let kan se, hvilke typer af arealer inkl. natur, lokalplaner mm, som kan være oversvømmelsestruede. Oversvømmelsesberegningerne svarer til havvand på land anvendt i Kystplanlægger. For vandløb og skybrud beregnes overfladevand, og for grundvand indgår HIP baserede data. En meget sparsom repræsentation af økonomi er indbygget (kun ejendomsværdier). Resultaterne kan ikke downloades, så brugere kan ikke direkte arbejde videre og anvende KAMP som en del af egne beregninger. KAMP har været anvendt til en række beregninger internt i Miljøministeriet.

- *Fokus:* Oversvømmelsesrisiko som skal støtte miljø- og planmedarbejderes klimatilpasningsarbejde på et screeningsniveau.
- *Oversvømmelsestype:* Alle fire kilder.
- *Opløsning:* Varierende. Fra 0,4x0,4 m til 100 x100 m alt efter kilder og resultater.
- *Oversvømmelsesmodel*: Statiske 2D overflademodeller. For alle oversvømmelsestyper er det muligt at få vist vand på terræn i forbindelse med præ-definerede hændelser eller som funktion af stigende havvand eller nedbørsmængder (brugerdefineret). Detaljeret modellering af afløbssystemer mm er ikke indeholdt.
- *Styrke*: Brugervenligt og hurtigt værktøj, som kan give et overblik på screeningsniveau.
- *Datagrundlag*: Klimascenarier, Bluespot-kort, data fra HIP, BBR/OIS, data fra Kystdirektoratets 'National risikokortlægning', samt oversvømmelsesanalyser baseret på Danmark højdemodel. Økonomiske konsekvenser af

oversvømmelser opgøres på basis af ejendomsværdi minus grundværdi for berørte bygninger. Bygninger, som ikke ejendomsvurderes, inkluderes ikke i beregningen, det samme gælder småbygninger såsom carporte og udhuse, og ejerlejligheder medtages heller ikke.

6.3 PLASK

PLASK (Miljøstyrelsen, 2020) er udarbejdet til at fremme kommunikationen mellem forsyninger og kommuner og sætter en ramme for konsistent beregning af projekter i tråd med officielle samfundsøkonomiske retningslinjer. Værktøjet kan anvendes til at screene mulige klimatilpasningsprojekter til beskyttelse mod oversvømmelser fra ekstrem nedbør og kan sammenstille oplysninger om økonomi omfattende skader på bygninger, elsvigt og trafik. Beregninger af klimatilpasning kan foretages på baggrund af et katalog over tiltag, og brugeren skal så selv indtaste økonomi i systemet. På baggrund heraf giver PLASK mulighed for at beskrive omkostningsfordelingen mellem de involverede parter, eksempelvis forsyningsselskab, kommune og private bygherrer. Brugeren skal selv angive andele for projekterne, som derefter summeres op. Tre specifikke projekter kan sammenlignes. Modellen er baseret på at brugeren selv eksternt foretager beregninger af oversvømmelser med og uden klimatilpasningstiltag.

- F*okus*: Beregning af samfundsøkonomiske værdier af forskellige klimatilpasningsløsninger på projektniveau.
- *Oversvømmelsestype:* Skybrud.
- *Opløsning:* Afhænger af afgrænsningen af specifikke projekter.
- *Oversvømmelsesmodel:* Bruger oversvømmelseskort som input. Disse kan både være genereret med dynamiske og med statiske modeller, og det gælder for oversvømmelser såvel som for effekten af klimatilpasning. Brugerne skal selv specificere oversvømmelse og effekt af klimatilpasning.
- *Datagrundlag:* Omkostninger ved oversvømmelser beregnes ud fra enhedsomkostninger fra COWI og Kystdirektoratet, som er meget aggregerede gennemsnits omkostninger på landsplan. Modellen indeholder et meget detaljeret katalog over tiltagsomkostninger med angivelse af "NIRAS erfaringsoplysninger som kilde". Heraf kan det ikke udledes, hvad erfaringsgrundlaget egentlig bygger på f.eks. i form af anvendelse af de enkelte tiltag. Værktøjet har også en facilitet, hvor en kvalitativ vurdering af merværdier kan tilføjes af brugerne med indikation af høje, middel og lave værdier indenfor kategorierne landskab, byrum, befolkning og natur med mulighed for brugerudvidelser.

6.4 Kystplanlægger

Kystplanlægger (KDI, 2021) kan anvendes til at vise risiko ved erosion og oversvømmelser på landsplan baseret på detaljerede fysiske oplysninger om kysterne og GIS data for bygninger, infrastruktur og erhverv og kan give et godt overordnet billede af risikoområder i Danmark på screeningsniveau. Risiko repræsenteres samlet for 100 m x 100 m celler, baseret på en aggregeret omkostningsberegning for bygninger, landbrugsareal, husdyrsproduktion og virksomheder mm. og hyppighed af oversvømmelseshændelser. Resultatet angives i farvekoder dækkende omkostninger i intervaller op til et niveau på over 500.000 DKK per år. Modellen har indbygget klima

og hydrologiske data, og brugerne har ikke selv mulighed for at vælge egne input. Output er risikokort med aggerede data for 100x100m celler med en indbygget vægtning af celler med forskellige risikoniveauer. På den baggrund er det ikke muligt direkte at relatere resultaterne til detaljerede sektorspecifikke omkostninger eller til lokale klimatilpasnings projekter, og samfundsøkonomiske omkostninger kan ikke udledes af modellens beregninger. En del af modellens omkostningsdata for oversvømmelser er baseret på kildemateriale, som er ret gammelt, og det gælder f.eks. på bygningsområdet, hvor enhedsomkostningerne bygger på oversvømmelsesdata fra perioden 1973 til 2006. Modellens data for omkostninger ved reparation af infrastruktur bygger også på et svagt grundlag. Yderligere er der anvendt meget aggregerede danske data til beregning af produktionstab i virksomheder ved oversvømmelser.

- *Fokus:* Oversvømmelses- og risikokortlægning ved kysterne samt forslag til tilpasning.
- *Oversvømmelsestype:* Stormflod.
- *Opløsning:* 100x100 m modelceller.
- *Oversvømmelsesmodel:* Havvand på land.
- *Styrke:* Analyseværktøj til kommunerne samt færdigt udarbejdede rapporter med forslag til løsninger langs alle landets kyststrækninger. Ser både på stormflod og erosion. Brugeren kan også vælge selv at hente værktøjet og foretage egne analyser, og derved selv lave risikokort. Modellen beregner skade på flere sektorer ud over bygninger og infrastruktur, såsom skade på landbrugsareal, husdyrsproduktion og virksomhedstab.
- *Datagrundlag:* Klimascenarier, MiljøGIS, SDFE KORT10, Jupiter, BBR, DHIs MetOcean-model, Danmarks Højdemodel, data fra Kystanalysen, Beach model (erosionsmodel). Økonomiske enhedspriser er samlet fra Kystdirektoratet, BaneDanmark, ejendoms- og grundværdier, egne estimater og funktioner for skade ved erosion, modeller for virksomhedstab (bruger bl.a. CVR registeret som input), samt Natur- og Erhvervsstyrelsens husdyrsdatasæt og afgrødedatasæt.
- *Bemærkning:* De færdigt udarbejdede rapporter for hver strækning indeholder løsningsforslag, såfremt en model-celles risiko overstiger 1,5 mio. DKK. Risikoniveau i model-celler angives ved farvekoder.

Der er i princippet ingen hindringer for, at de fire omtalte værktøjer i højere grad kunne anvende fælles forudsætninger til brug ved beregninger af omkostninger ved oversvømmelser svarende til de omkostningskategorier, som er indeholdt i Tabel 5 i afsnit 4. Det vil f.eks. betyde, at omkostningsberegninger foretaget med DTUSkadesøkonomi og Kystplanlægger byggede på et mere ensartet grundlag. En sådan koordinering af data kunne med fordel baseres på en aftale mellem vidensinstitutioner om fælles faglig udvikling, og også rådgivere på området burde indgå i dette fællesskab, så modeller som PLASK og internt anvendte værktøjer i højere grad kunne bygge på et fælles fagligt grundlag.

Der er muligheder for at udvide beregninger med de enkelte værktøjer som KAMP og PLASK med f.eks. omkostningsberegninger foretaget med DTUSkadesøkonomi, som er modellen med de mest omfattende økonomiske beregninger. Kystplanlægger indeholder meget detaljerede data for kysternes sårbarhed og resultaterne heraf kunne

være interessante at anvende i detaljerede beregninger af klimatilpasning i kystområderne. Disse resultater er dog ikke tilgængelige som selvstændigt output, der kan anvendes af andre værktøjer. En sådan facilitet kunne med fordel udvikles.

7. Generelle konklusioner i et landsdækkende perspektiv

I dette afsnit præsenteres en række overordnede konklusioner for Danmark baseret på de meget begrænsede tilgængelige studier af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning fra de fire oversvømmelseskilder. Den meget begrænsede litteratur på området betyder, at samlede konklusioner for Danmark er behæftet med stor usikkerhed, og at økonomiske konsekvenser kun delvist er belyst. Som supplement til de overordnede konklusioner baseret på studier præsenteres en række simple overslagsberegninger mhp. understøttelse af overordnede danske konklusioner.

Som tidligere konkluderet i afsnit 2 dækker studierne i særligt omfang samfundsøkonomiske omkostninger og klimatilpasning ved stormfloder med særligt fokus på bygninger, og dette område vil derfor have en særlig vægt i de samlede konklusioner.

7.1 Stormflod

Omkostninger ved oversvømmelser

Stormfloder er den hyppigst dækkede oversvømmelseskilde i studierne for Danmark som konkluderet tidligere, men samlede landsdækkende konklusioner er dog meget sparsomme. Omkostningerne for byerne er beregnet af COWI (2017a) for en 100 årig periode til at udgøre en NPV på 100 mia. i form af en risikoberegning under hensyn til sandsynligheden for oversvømmelseshændelser i hele analyseperioden. Tilsvarende har DTU (2021a) beregnet, at omkostningerne ved en stormflod for et RCP 4,5 scenarie og en 50-års stormflod kan udgøre 16,1 mia. DKK samt, at tilsvarende omkostninger for 100-års returperioder for RCP 4,5 og RCP 8,5 scenarier udgør 18,2-20,1 mia. DKK. I en efterfølgende upubliceret DTU beregning, hvor sandsynligheden for hændelserne er tilføjet mhp. på et estimat af risiko, og med antagelser om omkostninger for hændelser for lavere returperioder, opnås omkostninger i NPV i samme størrelsesordenen som i COWI (2017a), hvor omkostninger for bygninger i en NPV risikoberegninger udgør 63,6 mia. DKK.

Beregninger af risiko giver et godt samlet økonomisk grundlag for at vurdere investeringer i klimatilpasning, men detaljeret information om omkostningerne ved specifikke oversvømmelseshændelser og om, hvilke værdier ud over konsekvenser for bygninger, som er på spil, har også en vigtig selvstændig betydning i forbindelse med beslutninger om klimatilpasning. Bygninger har været relativt let at inddrage i analyser, da der foreligger forsikringsoplysninger fra oversvømmelser, og på den måde er bygninger kommet til at veje tungt i opgørelser. Der er dog også et statistisk grundlag

for at andre vigtige sektorer, som f.eks. industri og serviceerhverv kunne inddrages i analyser, der mangler dog her en detaljeret geografisk statistik over værditilvækst, som grundlag for at beregne produktionstab ved oversvømmelser. Derudover er der et godt grundlag for at inddrage omkostningerne ved trafikpåvirkning fra oversvømmelser, hvilket i princippet kunne beregnes på basis af eksisterende landstrafikstatistik og modeller, hvis disse informationer var tilgængelige på detaljeret geografisk niveau. Som supplement til beregninger af omkostninger ved oversvømmelser af bygninger, erhverv og trafik kan det også være af stor lokal betydning af inddrage et endnu bredere spektrum af værdier, som også omfatter en rækkeværdier som f.eks. helbred, natur og kulturelle værdier, som kan være svære at sætte pris på. Inddragelsen af sådanne værdier er vigtigt, da de ellers ikke bliver synlige og kan prioriteres direkte i opgørelser over omkostninger ved oversvømmelser.

Risikoanalyser vil som tidligere nævnt komme til at lægge særligt vægt på relativt lave oversvømmelsesniveauer med begrænsede omkostninger, da sådanne hændelser sker ofte og kommer til at tælle meget i risikoopgørelserne. Dette kan stå i modsætning til, at beslutningstagere i mange tilfælde vil lægge vægt på at undgå store oversvømmelseshændelser. En anden begrænsning i forbindelse med risikoberegninger er, at sandsynligheden for oversvømmelseshændelser er behæftet med meget stor usikkerhed, og en samlet risikoberegning kan dermed komme til at maskere en vigtig del af risikobilledet. Alt i alt må det dermed konkluderes, at i forbindelse med beregninger af omkostninger ved oversvømmelser, er det vigtigt både at vise resultater over konsekvenserne af specifikke oversvømmelser og af den samlede forventede risiko med tydelig angivelse af usikkerheder og konsekvenser, som er vanskelige at repræsentere i økonomiske værdier.

Et internationalt studie (Vousdoukas et al., 2020) opgør de samlede årlige forventede skadesomkostninger indtil år 2100 ved stormfloder i Danmark til at være 8,9 mia. EUR i et lavt udslips-scenarie (svarende til et lavt RCP 4,5 klimascenarie), og i et højt udslips-scenarie (svarende til et højt RCP 8,5 klimascenarie) til at være 84,6 mia. EUR for hele Danmark. Disse omkostninger ligger på et meget højt niveau, hvilket bl.a. afspejler studiets fremskrivning af fremtidige økonomiske værdier repræsenteret ved BNP. Tilpasningsomkostninger er beregnet som gennemsnitlige årlige omkostninger for et digehøjde på 0,88 m i det lave scenarie og på 1 m i det høje scenarie svarende til henholdsvis 90,2 mio. EUR og 224,06 mio. EUR, hvilket gør investeringer i disse diger yderst rentable. Diger på den højde vil dog kun i begrænset omfang reducere omkostningerne ved oversvømmelser, og der vil også være resterende omkostninger på henholdsvis 1,14 mia. EUR og 2,82 mia. EUR i henholdsvis det høje og lave klimascenarie.

Region Midtjylland og SCALGO (2020) konkluderer at 64.000 huse med en samlet værdi på 178,2 mia. DKK målt i ejendomsværdier kan oversvømmes ved stormfloder på nationalt niveau. For alle kyststrækninger er der forudsat samme stormflodshøjde nemlig på 2 m, hvilket dog ikke afspejler de reelle variationer indenfor Danmark. Scenariet anses derfor ikke for at være plausibelt. For kontekst forekommer 2 m vandstand alene som en del af den daglige tidevandscyklus i vadehavet, mens der for mange andre dele af Danmark aldrig er målt en 2 m vandstandsvariation.

For hovedstadsområdet er der udarbejdet analyser af Rambøll (2020), Incentive (2020) og af Københavns og Hvidovre kommuner under forudsætning af et højt stormflodsniveau på 5 m svarende til en 2000-års stormflod (ved brug af metoden som inddrager uofficielle observationer for en periode lang historisk tidsperiode (se den metodiske gennemgang i afsnit 4). Omkostningerne er opgjort for private bygninger, erhverv, elsvigt, infrastruktur (transformerstationer, veje og jernbaner), forsinkelser (transport – veje, tog og fly) og for sygdom/sundhed. Analyserne når frem til samlede omkostninger i nutidsværdier, på ca. 5,1 mia. DKK for perioden frem imod år 2120, og af disse udgør privat beboelse 1,7 mia. DKK og erhvervsbygninger 0,64 mia. DKK

Som supplement til disse konklusioner har DTU i nærværende studie beregnet de mulige omkostninger for kystturisme i Danmark, da mistede indtægter fra kystturisme er en væsentlig del af lokale omkostninger ved stormfloder. Beregningerne er foretaget per kommune ved at multiplicere antal overnatninger i månederne for stormfloder (oktober-marts) med indtægten per overnatning. Antal overnatninger pr. måned og kommune er fra (VisitDenmark / Danmarks Statistik, 2021), og det gennemsnitlige døgnforbrug er i (Visitdenmark, 2018) estimeret til 650 DKK/døgn for kystkommuner og 1.700 DKK/døgn for København, Århus, Odense og Ålborg. Perioden 2017-2019 er benyttet (før Covid19). Kun kommuner, som rammes af oversvømmelse for RCP 8,5 scenariet baseret på DTU (2021), er medtaget, så kommuner uden kyst såsom Frederiksberg indgår ikke. Beregningen afspejler dermed summen, som en kommune risikerer at miste, hvis al turisme er sat ud af spillet i en hel vintersæson for et pågældende RCP-scenarie. Tallet skal derfor nedjusteres, hvis ikke al turisme rammes grundet oversvømmelses omfang, eller justeres efter hvilket tid af året, oversvømmelsen rammer. Det er naturligvis usikkert i hvor lang en periode, at stormfloder vil kunne betyde, at turister vælger ikke at komme, men hvis der f.eks. er tale om oversvømmelser af overnatningssteder eller populære attraktioner, kan der være tale om en betydelig nedgang i antallet af turister. Hvis der tages udgangspunkt i det maksimale forbrug af turister for stormflodsmånederne oktober til marts vil de samlede tabte turistindtægter for disse måneder kunne være 5,9 mia. DKK for København efterfulgt af Varde på 814 mio. DKK, Århus på 750 mio. DKK og Ringkøbing-Skjern på 677 mio. DKK, hvilket kan give en indikation af potentielt mistede turistindtægter, hvis oversvømmelser i kystområderne forhindrer turister i at komme til områderne. Samlet, for alle kystbyer med tilgængelige data, er beløbet 13,1 mia. DKK, som vist i Tabel 6.

Tilpasning

For klimatilpasning til imødegåelse af stormflod har Kystdirektoratet udarbejdet en analyse af sårbarheden af danske kyststrækninger som led i udviklingen af Kystplanlægger-værktøjet (KDI, 2021). Nærværende studie har fået data direkte stillet til rådighed af Kystdirektoratet om sårbare kyststrækninger truet af oversvømmelse eller kysterosion angivet for tre tidshorisonter: Kort, mellemlangt og langt sigt, hvilket dækker tidshorisonterne 20 år, 50 år og 100 år (2040, 2070 og 2120). Disse data er vist i tabel 7 nedenfor og viser totallængden af kyststrækninger, hvor Kystdirektoratet har foreslået en reduktion af oversvømmelses- og eller erosionsrisikoen. Strækningerne med behov for kystbeskyttelse i Danmark udgør henholdsvis 2.164 km, 3.068 km og 4.299 km på kort-, mellemlangt- og langt sig. Strækningerne omfatter strækninger, som i dag ikke har kystbeskyttelse og strækninger, hvor eksisterende

beskyttelse bør udvides pga. fremtidige havstandsstigninger. Samtidig er der angivet et antal vejledende forslag til en reduktion af risici fra Kystdirektoratet. Kun antallet af forslag og ikke dimensionering og længde af tiltagene for specifikke strækninger er angivet. Dette må ses i lyset af, at det er kommunerne, der har ansvar for design og dimensioner af risikoreducerende tiltag.

Tabel 6. Omkostninger pr. kommune i mistede turistindtægter for en vintersæson som følge af stormflod i mio. DKK.

Assens	28,3	Middelfart	89,2
Bornholm	69,2	Morsø	23,5
Brønderslev	16,8	Norddjurs	85,2
Esbjerg	118,6	Nordfyns	53,3
Fanø	115,4	Nyborg	53,7
Faxe	31,4	Næstved	33,4
Fredensborg	5,2	Odder	23,8
Fredericia	59,2	Odense	346,6
Frederikshavn	160,4	Odsherred	53,5
Frederikssund	24,7	Randers	26,1
Faaborg-Midtfyn	33,4	Ringkøbing-Skjern	676,9
Gentofte	28,9	Roskilde	34,9
Guldborgsund	131,9	Rudersdal	35,9
Haderslev	88,9	Samsø	11,3
Halsnæs	37,1	Skive	43,4
Hedensted	49,7	Slagelse	54,3
Helsingør	97,4	Stevns	22,9
Holbæk	21,0	Struer	21,1
Holstebro	139,3	Svendborg	43,5
Horsens	43,4	Syddjurs	144,0
Ishøj	10,7	Sønderborg	177,3
Jammerbugt	202,7	Thisted	126,5
Kalundborg	37,0	Tønder	307,1
Kerteminde	22,2	Tårnby	111,0
Kolding	123,8	Varde	814,0
København	5,884,4	Vejle	122,3
Køge	18,7	Vesthimmerlands	79,9
Langeland	56,2	Viborg	36,8
Lejre	11,3	Vordingborg	38,7
Lemvig	133,6	Ærø	9,9
Lolland	208,7	Aabenraa	57,5
Lyngby-Taarbæk	21,9	Aalborg	507,3
Læsø	6,9	Aarhus	750,2
Mariagerfjord	39,7	**Sum**	13092,9

Tabel 7. Kategorier og omfang af truede kyststrækninger samt antal umiddelbart anbefalede kystbeskyttelsesanlæg (uafhængig af størrelse) (KDI, 2021) og data fra Kystdirektoratet leveret 5/10 2021.

	Kort sigt	*Mellemlang sigt*	*Lang sigt*
Kategorier og inddeling af truede kyststrækninger (reduktionsstrækninger)			
Antal strækninger (med ensartet risikobillede), som vurderes truet ud af de 459 strategistrækninger	110 (24%)	178 (39%)	249 (54%)
Antal samlede strækninger med oversvømmelsesrisiko	92	67	71
Antal samlede strækninger med erosionsrisiko	11	45	83
Antal samlede strækninger med både oversvømmelses- og erosions-risiko	7	66	95
Samlet længde på truede strækninger (km)	2164	3068	4299
Antal kystbeskyttelsesanlæg på truede kyststrækninger (reduktionsstrækninger)			
Ift. reduktion af oversvømmelsesrisikoen			
Diger	42	59	75
Højvandsmur	60	72	82
Klitbarrierer (naturbaseret højvandsbeskyttelse)	20	37	48
Sluse (ved munding af vandløb)	21	28	37
Ift. reduktion af erosionsrisikoen			
Sandfodring	19	84	124
Skråningsbeskyttelse	2	3	4
Bølgebryder	0	1	1

Tabel 8 viser enhedsomkostninger for kystbeskyttelsestiltag, der kan anvendes til beregning af omkostninger for klimatilpasning langs danske kyststrækninger baseret på økonomiske afvejninger og politiske beslutninger. På dette grundlag har lokale studier omfattende INCENTIVE, 2020 og Rambøll m.fl., 2020 estimeret omkostningerne til klimatilpasning for stormfloder i København og Hvidovre kommuner inklusive dige-placeringer i Dragør og Tårnby kommuner til at udgøre 2,4-4,7 mia. DKK. Københavns kommunes klimaplan fra 2017 opgør omkostningerne til at være 7,5-7,6 mia. DKK for klimasikring af hele København og understreger her, at tallet er opnået i en indledende screeningsfase (Københavns Kommune, 2017). Begge disse studier benytter sikringshøjder på 5 m, ved stormfloder fra syd.

Tabel 8. Enhedsomkostninger for kystbeskyttelsestiltag (Kilder: Rambøll 2015; KDI 2016).

	Tilpasningstiltag	*Kort sigt*	*Mellemlang sigt*	*Lang sigt*
Enhedsomkostninger (moderat eksponering, 25 års levetid (sandfodring undtaget))	Diger (DKK/km)	19.000.000 DKK	29.000.000 DKK	39.000.000 DKK
	Dige vedligehold (DKK/km/år)	0 DKK	0 DKK	1.000.000 DKK
	Højvandsmur (DKK/km)	19.000.000 DKK	29.000.000 DKK	39.000.000 DKK
	Højvandsmur vedligehold (DKK/km/år)	0 DKK	0 DKK	1.000.000 DKK
	Klitbarrierer (naturbaseret højvandsbeskyttelse)	17.000.000 DKK	25.000.000 DKK	34.000.000 DKK
	Klitbarrierer vedligehold (DKK/km/år)	0 DKK	0 DKK	0 DKK
	Sluse (ved munding af vandløb)	23.000.000 DKK	35.000.000 DKK	47.000.000 DKK
	Sluse vedligehold (DKK/km/år)	0 DKK	1.000.000 DKK	1.000.000 DKK
	Sandfodring (hvert 5. år)	5.000.000 DKK	5.000.000 DKK	5.000.000 DKK
	Skråningsbeskyttelse	13.000.000 DKK	13.000.000 DKK	13.000.000 DKK
	Skråningsbeskyttelse vedligehold (DKK/km/år)	0 DKK	0 DKK	0 DKK
	Bølgebryder	20.000.000 DKK	20.000.000 DKK	20.000.000 DKK

7.2 Skybrud

Omkostninger ved oversvømmelser

Som konkluderet i afsnit 2 er der ikke udført samlede danske analyser af omkostningerne ved oversvømmelser fra skybrud i Danmark, men omfanget af udfordringen opsummeres kort på baggrund af foreliggende studier. Det er i den sammenhæng vigtigt at bemærke, at forsyningsselskaberne og kommunerne har udført detaljerede analyser dækkende en stor del af den samlede danske udfordring, men disse analyser er ikke offentligt tilgængelige og er heller ikke udført på basis af ensartede forudsætninger.

Danske regioner (Region Midtjylland and SCALGO, 2020) har udført en analyse af oversvømmelser af antal berørte bygninger ved oversvømmelser fra hav, nedbør og vandløb vha. SCALGO-værktøjet. En række forsimplinger indgår i dele af antagelser og metodikker, deriblandt er der for nedbør ikke medtaget underjordiske afløbssystemer, som vil reducere oversvømmelserne (se afsnit 4). I Danske Regioners analyse fremgår det, at nedbørsbetingede oversvømmelser af bygninger i lavninger står for langt størstedelen af bygningsmassen i fare for oversvømmelser totalt set,

nemlig 393.500 bygninger for en 100-års begivenhed. Yderligere har Miljøstyrelsen i en analyse for Miljøministeriet på basis af KAMP modellen foretaget en analyse, som samlet set skønner antallet af berørte bygninger af alle typer af oversvømmelser til at være i en størrelsesorden på 700.000 svarende til skønnet af Danske Regioner.

I Rambøll (2018) indgår skadesomkostningerne ved skybrud beregnet for repræsentative cases baseret på PLASK-værktøjet (Miljøstyrelsen, 2020). Heraf ses for et blandet område med boliger, erhverv og en gennemfartsvej omfattende 12.000 indbyggere og 144.000 m^2 bygningsareal omkostninger ved skybrud i nutidsværdier på 59 mio. DKK for en 100-års periode. For et blandet byområde med 75.000 m^2 blandet byggeri ses tilsvarende omkostninger ved skybrud på ca. 170 mio. DKK, og for et tyndt befolket landområde ses omkostninger ved skybrud på 50 mio. DKK. Det er ikke muligt på baggrund af disse cases at drage generelle konklusioner om samlede danske omkostninger.

Skybrudshændelsen d. 2/7 2011 over hovedstadsområdet, som var den hændelse med de hidtil største registrerede omkostninger, vurderes af have forvoldt omkostninger indenfor skadeskategorier dækket af forsikringer på ca. 6 mia. DKK og udløste efterfølgende forsikringsudbetalinger på ca. 5. mia. DKK, heraf 2,24 mia. DKK for erhvervsbygninger. (Rambøll, 2018).

Tilpasning

Smith Innovation (2012) har med klimafaktorer på 1,2 og 1,5 (svarende til intensiteten af ekstreme skybrud som styrende faktor for dimensioneringen af kloakker) estimeret, at klimaændringerne vil medføre merinvesteringer på 2.4 mia. DKK og 5.5 mia. DKK i nutidsværdi over en 20-årig periode til investeringer i kloakker. I forhold til et årligt investeringsniveau forventes klimaændringer at øge investeringerne med henholdsvis 10% og 23% for en klimafaktor på 1,2 og 1,5.

Arbejdet med kloak og spildevand tilgodeser ud over reduktion af direkte oversvømmelsesbaserede omkostninger også varetagelse miljøhensyn, som f.eks. reduktion af uhensigtsmæssig udledning af spildevand. Der kan derfor være en vis grad af merværdi i forbindelse med investeringer i kloakker til skybrudssikring, og der kan også være fordele forbundet med reduktion af overfladevand, som ledes til spildevandsanlæg, hvis der gennemføres separat kloakering.

Som udgangspunkt for en vurdering af klimatilpasningsbehovet indenfor kloakeringsområdet i Danmark vurderes tilstanden for det danske kloakeringssystem som udgangspunkt at være god (karakter 4 ud af 5), og samtidig er kloaksystemets gennemsnitlige alder faldende pga. mange nyinvesteringer (Foreningen af Rådgivende Ingeniører, 2020). Historisk er der fra 2013-2016 foretaget overfladebaserede klimatilpasningsprojekter for 1,1 mia. DKK, svarende til 275 mio. DKK/år (Foreningen af Rådgivende Ingeniører, 2020), og de samlede investeringer i kloakker har udgjort ca. 1.8 mia. DKK/år. Heraf er 800 mio. DKK til nyanlæg, og 1 mia. DKK er til vedligehold og fornyelse (Smith Innovation / Realdania, 2012). Samlet anvendes ca. 5 mia. DKK/år på udbygning og vedligehold af kloaksystemer og spildevand, og dette tal forventes ifølge (Foreningen af Rådgivende Ingeniører, 2020) at være stabilt. Hvis vi tager udgangspunkt i ovenstående skøn fra (Smith Innovation, 2021) om 20-23% ekstra investeringer på kloakområdet pga. klimaændringer, så vil ekstrainvesteringer udgøre

ca. 900 mio. DKK årligt ud af de 5 mia. DKK, som iflg. FRI anvendes årligt på investeringer på kloakområdet.

7.3. Vandløb

Omkostninger ved oversvømmelser

I Region Midtjylland og SCALGO (2020) beregnes antallet af huse, som er oversvømmelsestruede fra vandløb ved en 100-års hændelse til 10.664 med en samlet ejendomsværdi (fratrukket grundværdi) på 25,2 mia. DKK. Heraf må kun en delmængde forventes at være påvirket ved en konkret begivenhed (se også afsnit 6.2 om oversvømmelser i lavninger fra skybrud). Denne værdi må ses som et groft estimat og står påfaldende alene i litteraturen om oversvømmelser fra vandløb i Danmark samlet set.

Herudover har Stormrådet udgivet tal i 2017 over de sparsomme antal oversvømmelser, som har været kompensationsberettigede i perioden 2011-2016, og opgør det samlede udbetaling til 55 mio. DKK, hvoraf de 23 mio. DKK er for små hændelser (11 stk.), og 32 mio. DKK er for store hændelser (3 stk.).

Tilpasning

I forbindelse med landbrugsaftalen (indgået 4. okt. 2021) kan der være nogle sidegevinster i form af klimatilpasning til oversvømmelser fra vandløb. Målet i aftalen er varigt at udtage 100.000 ha lavbundsjord, inkl. randarealer med henblik på CO_2- eller næringsstof-effekter, og en synergi med klimatilpasning er her åbenlys. Det er dog ikke muligt at vægte hensynet til klimatilpasning og begrænsning af næringsstofudledning direkte. Miljøstyrelsen forventer omkostninger, som beløber sig til 128.000/133.000 DKK/ha uden/med jordfordelingsomkostninger. Samlet giver dette en udgift på 12,8-13,3 mia. DKK. For erstatningssager i forbindelse med vandløbsrestaurering, hvor oversvømmelser forventes at gøre jorden ikke-brugbar, på 150.000-180.000 DKK/ha for omdriftsjord og 50.000-100.000 DKK/ha for anden jord. Scenarier for fremtidige udtag til vandløbsrestaurering er ikke tilgængelige (personlig kommunikation, Miljøstyrelsen).

7.4. Grundvand

Omkostninger ved oversvømmelser

Som for vandløbsbetingede oversvømmelser er litteraturen inden for skadesomkostninger fra grundvandsbetingede oversvømmelser meget sparsom. I Realise og Kuono (2020) indgår cases, hvoraf det største af disse er for Odense kommune. I disse cases opgøres de samlede skadesomkostninger til 4.3 mia. DKK, for en 100-årig tidshorisont, der er dog stor usikkerhed omkring metoden og forudsætningerne anvendt til opgørelse af skadesomkostningerne i disse cases. Beregningerne er baseret på en kombination af beregninger fra GEUS og kommunernes egne data (GEUS, 2020). Specifikke fremtidsscenarier (RCP/returperiode) fremgår ikke. Af flere årsager er en simpel skalering til et samlet dansk niveau på baggrund af case studierne ikke meningsfyldt, deriblandt pga.

forskelle i arealanvendelse, værdier og grundvandsniveau og dynamik. For eksemplets skyld kan det dog skønnes, at skadesomkostningerne for Odense (205.881 indbyggere i 2020) svarer til omkostninger på 121,5 mia. DKK for hele Danmark (5,84 mio. indbyggere i 2020) skaleret på basis af indbyggertal alene.

En indledende basis for opskalering af omkostninger af oversvømmelser fra grundvand i Danmark kan være et estimat over antallet af berørte bygninger (Miljøministeriet, 2021). Heraf fremgår det, at 450.000 bygninger på landsplan har mindre end en meter til grundvandsspejlet, hvoraf 51.000 har kældre. Det er ikke muligt på dette grundlag at skønne over, hvor mange af disse bygninger, som vil få oversvømmelser fra grundvand, og omkostningsberegningerne per oversvømmet bygning i ovennævnte case studier danner heller ikke et godt grundlag for samlede omkostningsskøn.

Tilpasning

I ovenstående eksempel for Odense er der angivet tilpasningsomkostninger på 207-726 mio. DKK for forskellige tilpasningsscenarier omfattende forskellige aktører og omfang af tilpasning. Alle disse scenarier er rentable hvad angår sparede oversvømmelsesomkostninger, som er i intervallet 851-3.887 mio. DKK. Som ovenfor kan en simpel skalering udføres som rent overslag på basis af befolkningstal på nationalt niveau, svarende til et interval for nationale tilpasningsomkostninger på 5,9-20,6 mia. DKK, men det må understreges, at estimatet er et meget groft overslag og er meget afhængigt af lokale forhold.

7.5 Opsummerende oversigt over samfundsøkonomiske udgifter til oversvømmelser og tilpasning

I den følgende Tabel 9 gives et overblik over samlede omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning indenfor stormflod, skybrud, vandløb og grundvand baseret på studier og overslagsberegninger af DTU indeholdt i nærværende afsnit. Overslagsberegningerne er behæftet med betydelig usikkerhed.

Tabel 9. Oversigt over landsdækkende estimater over samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning for stormflod, skybrud, vandløb og grundvand.

	Estimerede omkostninger oversvømmelser	**Estimerede omkostninger klimatilpasning**	**Bemærkninger**
Stormflod			
DTU (2021a) Hele Danmark	Mellem 18,2 mia. DKK og 60 mia. DKK for en stormflod svarende til en 100 års RP i et lavt og højt klimascenarie for en periode 100 år frem. For en stormflod svarende til en 50 års RP omkostninger være 16,1 mia. DKK	Ikke omfattet af studiet	Flere hændelser vil kunne forekomme i perioden, som f.eks. også 20 års hændelser, og en risikoberegning vil akkumulere alle hændelserne
COWI (2017) alle danske byer	NPV på 100 mia. DKK for 100 årig tidshorisont	Ikke omfattet af studiet	Et højt maksimalt stormflodsniveau på 5 m. er omfattet
(Vousdoukas et al., 2020) Hele Danmark	Indtil 2100 årlig risiko på mellem 8,9 mia. EUR og 84,6 mia. EUR i henholdsvis lavt og højt klimascenarie	Indtil år 2100 årlige omkostninger for en digehøjde på 0,88 m i lavt klimascenarie på 90,2 mio. EUR og 224,06 mio. EUR, i højt klimscenarie	Estimatet er meget højt, og omkostningsdata er generaliserede internationale data
Incentive, 2020 København og Hvidovre	Den forventede risiko ved oversvømmelser indtil 2120 svarer til en nutidsværdi på ca. 5,1 mia. DKK. Heraf udgør privat beboelse 1,7 mia. DKK og erhvervsbygninger 0,64 mia. DKK	Ikke omfattet af studiet	Et højt maksimalt stormflodsniveau på 5 m. er omfattet
Turisme Overslagsberegning af DTU	13,1 mia. DKK i samlet risiko		
Kystbeskyttelse Beskyttelse mod stormfloder og erosion			Estimatet er overvurderet grundet manglende præcise data
Skybrud			
Region Midtjylland og SCALGO (2020) – screening studie	393.500 bygninger i lavninger, hvor afløbssystemer ikke er indregnet		Estimatet er højt, da afløbssystemer i praksis vil aftage en stor del af oversvømmelserne
FRI (2021) og Smith (2012)			
Vandløb			
Region Midtjylland og SCALGO (2020) – screening studie	10.600 bygninger		
Grundvand			
Miljøministeriet (2021	450.000 bygninger har grundvandsspejl på under 1 m, hvoraf 50.000 har kældre		

8. Behovet for et styrket vidensgrundlag

I nærværende analyse er der foretaget en kortlægning af eksisterende viden og konklusioner om samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning foruden identifikation af datamæssige og metodemæssige svagheder og litteratur-review.

Som konkluderet er der relativt få dækkende danske studier over omkostningerne ved oversvømmelser, og studierne dækker i overvejende grad stormfloder samtidig med, at klimatilpasning kun er belyst i meget begrænset omfang. Det er dermed vanskeligt at drage konklusioner om økonomisk optimale investeringer i klimatilpasning i forbindelse med oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand. Denne konklusion står i modsætning til den samlede, men dog sporadisk dækkende evidens om, at oversvømmelser kan medføre meget store samfundsøkonomiske omkostninger.

Som det fremgår at litteraturstudiet og af rapportens gennemgang af metodiske udfordringer og kritiske forudsætninger, så er det en krævende opgave at gennemføre robuste studier af omkostninger på alle de fire oversvømmelsesområder på landsdækkende niveau såvel som i geografisk afgrænsede områder. Der er dog i Danmark et robust fagligt-, model-, og datamæssigt grundlag for at gennemføre sådanne analyser i et samspil mellem forskning, myndigheder, rådgivere og andre involverede parter, og samtidig giver vores meget veludviklede digitale systemer helt unikke muligheder for at gennemføre avancerede studier.

En mere robust og samlet national analyse af de samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser knyttet til stormfloder, vandløb, grundvand og skybrud og investeringer i klimatilpasning på detaljeret geografisk niveau bør adressere:

- Intensitet og hyppighed af hændelser.
- Modellering af oversvømmede områder betinget af hændelser.
- Sårbare aktiviteter og værdier som boliger, sommerhuse, erhverv, trafik, vejnet, rekreative områder, historiske og kulturelle værdier og økosystemer inkl. estimering af økonomiske værdier for alle områder suppleret med data for særlige områder som helbredsmæssige konsekvenser, biodiversitet og unikke kulturelle værdier.
- Detaljeret kortlægning af den nutidige og fremtidige arealanvendelse i Danmark for en række alternative fremtidsscenarier repræsenterende byudvikling, erhverv, landbrug, skovbrug og økosystemer. Fremtidige scenarier for arealanvendelse kunne f.eks. baseres på en sammenstilling af forskellige planer og diskussionsoplæg, som foreligger for de forskellige områder.
- Detaljeret geografisk vurdering af muligheder og omkostninger ved klimatilpasning for oversvømmelser fra stormflod, skybrud, vandløb og grundvand.
- Statistik over omkostninger ved oversvømmelseshændelser: Forsikring, erhvervsindtægter, forsyningssektor, potentielle lokale produktionstab for virksomheder ved oversvømmelser (Danmarks statistik) mm.
- Vurderinger af finansieringsbehov og byrdefordeling i forbindelse med investeringer i klimatilpasning.

Der er allerede en del aktiviteter i gang til planlægning og gennemførelse af klimatilpasning indenfor stormflod, skybrud, vandløb og grundvand. Det manglende vidensgrundlag, som er kortlagt i rapporten peger på, at der er en stor risiko for, at der ikke vil blive gennemført omkostningseffektiv klimatilpasning med mindre, der hurtigt investeres i tilvejebringelse af et bedre vidensgrundlag baseret på et tæt samspil mellem forsknings, rådgivning og opgavevaretagelse hos myndighederne. Manglen på et stærkt vidensgrundlag kan betyde, at der enten investeres i for meget eller i for lidt klimatilpasning pga. mangelfuld vurdering af omkostninger ved oversvømmelser og af deres lokalisering og hyppighed. Der er også en risiko for helt at overse oversvømmelsesrisiko overfor store samfundsmæssige værdier og natur.

Samtidig viser gennemgangen af studierne også, at der faktisk er et godt grundlag i Danmark for hurtigt at kunne etablere et bedre vidensgrundlag, og realiseringen af dette kunne bl.a. ske gennem en række tiltag omfattende:

- Åbenhed omkring data og beregningsforudsætninger omfattende både offentlige myndigheder, forsyningssektoren og vidensinstitutioner.
- Etablering af dataplatforme med adgang til open source værktøjer og med oversigt over data omfattende både frie data og kommercielt tilgængelige data.
- Statslig koordinering af hvordan digitale data kan stilles til rådighed for analyser af oversvømmelser og klimatilpasning.
- Tværfagligt samarbejde om landsdækkende analyser af samfundsøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser og klimatilpasning inklusive finansiering af studierne.

9. Appendiks

9.1 Enhedsomkostninger - sektoropdelt

Enhedsomkostninger fundet i danske rapporter og studier, som supplerer uddraget af de nyeste forudsætninger om enhedsomkostninger indeholdt i tabel 5 i afsnit 4.1.

Bebyggelse

Kort titel	Kystplanlægger	Stormflod og havvandsstigninger	Beskyttelse mod oversvømmelse af København	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalvebodern	klimasikring af København mod oversvømmelser	Udredning om tilpasning til havvandstigninger	DTU Skadesmodel, stormflod, 100 cm vandstand	Byernes udfordringer med havvandstigning	Forsyningssikkerhed på vandområdet	PLASK	Enhedsomkostninger fra skybrud	DTU Skadesmodel, Skybrud, 20 cm vandstand	cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand	DTU Skadesmodel, Vandløb, 20 cm vandstand	Vand- og spildevandsanlæg i landbrugsjord 2021
Reference	KDI, 2021	COWI, 2018	COWI 2016	Incentive, 2020	COWI, 2010	Rambøll, 2015	DTU, 2021b	COWI, 2017a	Rambøll, 2018	Miljøstyrelsen, 2020	COWI, 2014	DTU, 2021b	Realise Aps og Kuono P/S, 2020	DTU, 2021b	SEGES, 2021
Oversvøm-melsestype	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SB	SB	SB	SB	GV	VL	-
Stueetage - privat		3599 [m²]	2825 [m²]		5973 [m²]	40512 [bygn]		3599 [m²]	1153 [m2]	1257 [m²]	1107 [m²]		184 [m²]		
Kælder – privat		537 [m²]	528 [m²]		352 [m²]	50000 [bygn]		537 [m²]	530 [m2]	578 [m²]	509 [m²]		283 [m²]		
Bolig	Funktion						4807[m²]					1257 [m²]		976 [m²]	
Etage-ejendom						220000 [bygn]									
Tab af indbo - helårsbolig	Funktion														
Fritidshus						25000 [bygn]	5616 [m²]					1249 [m²]		970 [m²]	
Udhuse og carporte						5000 [bygn]									
Øvrige bygninger						50000 [bygn]									
Bygnings-skade, erhverv							5510 [m²]			238418 [virks.]		1407 [m²]	34970 [virks]	1092 [m²]	
Tab af løsøre - erhverv										153268 [virks.]	135.000 [virk.]				
Drifts/ produktions-tab, erhverv										184651 [virks.]	160.000 [virk.]				
Erhverv - skader, produktionstab og løsøre	Funktion	472997 [virks]	448000 [virks.]			222685 [bygn]		455616 [virks.]			210.000 [m²]				
Forsynings- og tekniske bygnigner						50000 [bygn]									
Butikker - produktions-tab					0 [enh.]										
Butikker - erstatning varelager-kælder					2328 [m²]										
Butikker - erstatning varelager-stue					2328 [m²]										
Butikker - renoverings omkostning stue					3121 [m²]										

Elsvigt

Kort titel	Kystplanlægger	Stormflod og havvandsstigninger	Beskyttelse mod oversvømmelse af København	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne	klimasikring af København mod oversvømmelser	Udredning om tilpasning til havvandstigninger	DTU Skadesmodel, stormflod, 100 cm vandstand	Byernes udfordringer med havvandstigning	Forsyningssikkerhed på vandområdet	PLASK	DTU Skadesmodel, Skybrud, 20 cm vandstand	cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand	DTU Skadesmodel, Vandløb, 20 cm vandstand	Vand- og spildevandsanlæg i landbrugsjord 2021
Reference	KDI, 2021	COWI, 2018	COWI 2016	Incentive, 2020	COWI, 2010	Rambøll, 2015	DTU, 2021b	COWI, 2017a	Rambøll, 2018	Miljøstyrelsen, 2020	DTU, 2021b	Realise Aps og Kuono P/S, 2020	DTU, 2021b	SEGES, 2021
Oversvømmelsestype	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SB	SB	SB	GV	VL	-
Elsvigt private		2098 [enh.]	2063 [enh.]		1850 [enh.]			2098 [enh.]		2230 [husstand]				
Elsvigt erhverv		6295 [virks.]	6189 [virks.]		5551 [virks.]			6295 [virks.]		6693 [virks.]				
Elsvigt, offentlig institution					0 [enh.]					6693 [off. inst.]				
Transformer- stationer			1100000 [enh.]		1100000 [enh.]									

Landbrug

Kort titel	Kystplanlægger	Stormflod og havvandsstigninger	Beskyttelse mod oversvømmelse af København	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne	klimasikring af København mod oversvømmelser	Udredning om tilpasning til havvandstigninger	DTU Skadesmodel, stormflod, 100 cm vandstand	Byernes udfordringer med havvandstigning	Forsyningssikkerhed på vandområdet	PLASK	DTU Skadesmodel, Skybrud, 20 cm vandstand	cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand	DTU Skadesmodel, Vandløb, 20 cm vandstand	Vand- og spildevandsanlæg i landbrugsjord 2021
Reference	KDI, 2021	COWI, 2018	COWI 2016	Incentive, 2020	COWI, 2010	Rambøll, 2015	DTU, 2021	COWI, 2017a	Rambøll, 2018	Miljøstyrelsen, 2020	DTU, 2020	Realise Aps og Kuono P/S, 2020	DTU, 2020	SEGES, 2021
Oversvømmelsestype	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SB	SB	SB	GV	VL	-
Tabt husdyrsproduktion, svin	3079 [dyr]													
Tabt husdyrsproduktion, kvæg	11642 [dyr]													
Tab af afgrøde type 1 (vinterafgrøder), oversvømmelse	3083,5 [ha]													
Tab af afgrøde type 2 (vårafgrøder), oversvømmelse	3118,5 [ha]													
Tab af afgrøde type 3 (hovedsageligt græs), oversvømmelse	2310 [ha]													
Tab af afgrøde, gennemsnitserstatning														1,31 [m2]

Infrastruktur

Kort titel	Kystplanlægger	Stormflod og havvandsstigninger	Beskyttelse mod oversvømmelse af Københavnhavn	Konsekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne	klimasikring af Københavnhavn mod oversvømmelser	Udredning om tilpasning til havvandstigninger	DTU Skadesmodel, stormflod, 100 cm vandstand	Byernes udfordringer med havvandstigning	Forsyningssikkerhed på vandområdet	PLASK	DTU Skadesmodel, Skybrud, 20 cm vandstand	cost-benefit-analyser af terrænnært grundvand	DTU Skadesmodel, Vandløb, 20 cm vandstand	Vand- og spildevandsanlæg i landbrugsjord 2021
Reference	KDI, 2021	COWI, 2018	COWI 2016	Incentive, 2020	COWI, 2010	Rambøll, 2015	DTU, 2021b	COWI, 2017a	Rambøll, 2018	Miljøstyrelsen, 2020	DTU, 2021b	Realise Aps og Kuono P/S, 2020	DTU, 2021b	SEGES, 2021
Oversvøm-melsestype	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SB	SB	SB	GV	VL	-
Trafikfor-styrrelser alle hovedveje		239 [t]	272 [t]	305 [t]	363 [t]		310 [t]	239 [t]	310 [t]	301 [t]	310 [t]		310 [t]	
Vejbrud/ genopfør- else	500 [m²]	3001 [m]	2951 [m]		1100000 [enh.]			3001 [m]	100 til 1000 [m2]	3203 [m]		534 [m²]		
Jernbane, nyetablering	37500 [m²]													
Jernbane skinnerep		4324 [m]				5000 [m]		4324 [m]						
Oprydning	3 [m²]								3 [m²]	3 [m²]				
Station (genetablering af sårbare installationer)		497919 [enh.]			228788185 [enh.]			497919 [enh.]						
Skader på kloakker		1201168 [enh.]	1100000 [enh.]		1100000 [enh.]			1201168 [enh.]						
Anlæg+driftstab, Kastrup Lufthavn		5,1×10^9 [enh.]						5,1×10^9 [enh.]						
Anlæg+driftstab, Øresundsbro (tunnel)		4,1×10^9 [enh.]						4,1×10^9 [enh.]						
Driftstab, jernbane		0,2×10^9 [enh.]						0,2×10^9 [enh.]						
Anlæg+driftstab, Metro		2×10^9 [enh.]						2×10^9 [enh.]						
Forsinkelser, Kastrup Lufthavn		5,9×10^9 [pers. forsink.]						5,9×10^9 [pers. forsink.]						
Forsinkelser, Øresundsbro		3,8×10^9 [pers. forsink.]						3,8×10^9 [pers. forsink.]						
Forsinkelser, jernbane		7,2×10^9 [pers. forsink.]						7,2×10^9 [pers. forsink.]						
Forsinkelser, Metro		7,5×10^9 [pers. forsink.]						7,5×10^9 [pers. forsink.]						
Forsinkelser kollektivtransport generelt									338 [time]					

10. Referencer

- Abadie, L. M., Galarraga, I., Markandya, A., og Sainz De Murieta, E. (2019). *Risk measures and the distribution of damage curves for 600 European coastal cities*. Environmental Research Letters, 14(6). 064021. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab185c

- Arnbjerg-Nielsen, K., Leonardsen, L., & Madsen, H. (2015*). Evaluating adaptation options for urban flooding based on new high-end emission scenario regional climate model simulations*. Climate Research, 64(1). 73–84. https://doi.org/10.3354/cr01299

- COWI (2010). *Muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser*. [Udarbejdet for Københavns Kommune, Teknik og Miljøforvaltning]

- COWI (2014). *Enhedsomkostninger ved oversvømmelsesskader fra skybryd* [Udarbjedet for Forsikring & Pension]

- COWI (2016). *Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København*. [udarbejdet til Københavns Kommune]

- COWI (2017a). Byernes udfordringer med havvandstigning og stormflod. [udarbejdet til Realdania]

- COWI (2017b*). Opdateret overslag for sikring af København mod stormflod*. [udarbejdet til Københavns Kommune]

- COWI (2018). *Stormflod og havvandsstigninger*. [Udarbejdet til regnvandsforum]

- COWI (2019). *Udredning om stormflod og havvandsstigning i regi af regnvandsforum - stormflodssikring*. [Udarbejdet til Regnvandsforum, Af Jeppe, S., Jensen, A. og Schmidt Nørgaard, A. H. K]

- COWI (2020). *Stormflod og havvandsstigning - strategi for klimatilpasning af små havne*. [udarbejdet til Region hovedstaden og regnvandsforum, Af Jensen, J. P. og Overgaard, P. H.]

- Danmarks Miljøportal (n.d.), *KAMP - et Klimatilpasning- og Arealanvendelsesværktøj til Miljø- og Planmedarbejdere*. Tilgængeligt på https://kamp.miljoeportal.dk/ (besøgt 20/10/2021)

- DMI (2020). *Methods used in the Danish Climate Atlas*, Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). [Af Thejl, P., Boberg, F., Schmith, T., Christiansen, B., Christensen, O.B., Madsen, M. S., Su, J., Andree, E., Olsen, S., Langen, P. L., Madsen, K. S. og Pedersen, R. A.)

- DTU (2020). *Omkostninger ved kystoversvømmelse i Jyllinge Nordmark* [af Halsnæs, K., Møller, P. L., Bay, L., Svenningsen, L. S., Dømsgaards, M. L., Larsen, M. A. D.]

- DTU (2021a). *Data-driven climate services - Deliverable 2 on National and local scale flood modelling as a basis for damage cost assessments*. [Udarbejdet til DMI af Larsen, M. A. D., Karamitilios, G., Dømgaard, M. L. og Halsnæs, K.]
- DTU (2021b), *Modeldokumentation og -vejledning for DTU SkadesØkonomi model* [Af Halsnæs, K., Dømgaards, M. L., Larsen, M. A. D., Kaspersen, P. S.]
- EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - An indicator based report.* European Environmental Agency (EEA)
- EEA (2017). *Climate change adaption and disaster risk reduction in Europe - Enhancing coherence of the knowledge base, policies and practices*, European Environmental Agency (EEA). [Af Kurnik, B., Castellari S., Jol, A., Mysaik, J., Schwarze, R., Groeve, T. D., Swart, R., Semenza, J. C., Kendrovski, V., Jeuken, A., Wolters, H. Pringle, P., et al,.]
- Erhvervsministeriet (2017). De fremtidige stormflods-, oversvømmelses- og stormfaldsordninger.
- EU Kommisionen (2021). *'Economic impacts of climate change and mitigation' i Quarterly Report on the Euro Area*, 20(1). pp. 23-37 [Af Dimitrijevics, A. og Mourre, G.]
- EU (2020). *Adaptive asset management for flood protectionm - FAIR end report*,
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører (2020). *State of the Nation 2020 - Kloak og Spildevand*.
- GEUS (2020*). HIP - Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem*, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
- Hallegatte, S., Hourcade, J. C., & Ambrosi, P. (2007*). Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas*. Climatic Change, 82(1-2). 47–60. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9161-z
- Hallegatte, S., Ranger, N., Mestre, O., Dumas, P., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., & Wood, R. M. (2011*). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: A case study on Copenhagen*. Climatic Change, 104(1). 113–137. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9978-3
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). *Future flood losses in major coastal cities.* Nature climate change, 3(9). 802-806.
- Højberg, A. L., Troldborg, L., Stisen, S., Christensen, B. B. S., & Henriksen, H. J. (2013). *Stakeholder driven update and improvement of a national water resources model*. Environmental Modelling and Software, 40, 202–213. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.010
- IMF (2020). *Fiscal Monitor: Policies for the Recovery*. International Monetary Fund (IMF)

- Incentive (2020). *Samfundsøkonomiske kosekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne*. [udarbejdet til Københavds kommune og Hvidovre Kommune, Af Kolstrup, K., Espensen, P. F. og Franch, T.]
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Af Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Af R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report.* Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Af Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jebens, M., Sorensen, C., & Piontkowitz, T. (2016). *Danish risk management plans of the EU Floods Directive*. I 'E3S Web of Conferences (7)' . EDP Sciences.
- KDI (2016). *Omkostningseffektiv kystbeskyttelse - Definition og beregning af omkostningseffektiv kystbeskyttelse*, Kystdirektoratet (KDI)
- KDI (2018). *Metode til national risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb samt ajourføring af risikoområder*, Kystdirektoratet (KDI). [Af Andersen, K. J., Piontkowitz, T., Jebsen, M., Thomsen, M., Henriksen, L., S., Sørensen, C.S. og Ditlevsen, C.]
- KDI (2021). *Metoderapport for kystplanlægger.* Kystdirektoratet (KDI). [Af Bonde, L., Viocan, U. R., Ditlevsen, C., Geertsen, K.-S., Grimstrup, C., Halvorsen, N. S., Hansen, M. U., Karlsson, H. V., Kloster, B. B., Knudsen, N. R., Kørchen, R., Merione, M., Nielsen, P. S., Sørensen, C. S., Thomassen, J., Toxvig, I. G., Jensen, M. G.]
- KL og DANVA (2019). *National indsats imod stigende overfladenært grundvand*. [Af Kaalund, L. og Bjerregaard, N. V.)
- KL (2020). *Klimatilpasning for fremtiden - vand fra alle sider*, Kommunernes Landsforening (KL)
- Klimatilpasning.dk (2013): https://www.klimatilpasning.dk/aktuelt/nyheder/2013/juli/nye-tal-for-skybrudsskader/ (17/01/2021)
- KU IFRO (2019). *IFRO Rapport - Review af litteratur om økonomiske effekter af havvandsstigninger for byer*. Københavns Universitet; Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (KU IFRO). [Af Schou, J. S., Lautrup, M. og Callesen, G. E.)

- KU IFRO (2021). *Tættere på klimatilpasningens samlede effekter* [Af Lautrup, M., Matthiesen, L. L., Jacobsen, J. B., Panduro, T. E.]
- Københavns Kommune (2012). *Skybrudsplan*.
- Københavns Kommune (2017). *Stormflodsplan*.
- Københavns Kommune (2011). *Københavns klimatilpasningsplan*.
- Larsen, M. A. D., Refsgaard, J. C., Jensen, K. H., Butts, M. B., Stisen, S., & Mollerup, M. (2016). *Calibration of a distributed hydrology and land surface model using energy flux measurements*. Agricultural and Forest Meteorology, 217, 74–88. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.012
- Larsen, M. A. D. (2020). *Beslutningsgrundlag for sikring mod stormflod skal være rationelt*. Ingeniøren, Watertech 3, p. 54-67.
- Nationalbanken (2021). Flood Risk Discounts in the Danish Housing Market. Economic Memo- October 2021 - No 7 Mirobe, Georogio and Poeschl, Johannes
- Mijø- og fødevareministeriet (2016). *Kystanalyse*. [Af kyst- og fødevareministeriet, erhvervs- og vækstministeriet, social- og indenrigsministeriet og energi-, forsynings- og klimaministeriet]
- Miljøstyrelsen (2017). *Evaluering af kommunal klimatilpasning.*
- Miljøstyrelsen (2020). *PLASK- klimatilpasningsværktøj til dialog og beregning.*
- Miljøministeriet (2021). Afrapportering fra fast track-projekt om højtstående grundvand i byområder.
- Olesen, L., Löwe, R and Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). *Flood Damage Assessment: Literature review and recommended procedure*. [Udarbejdet til Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Melbourne, Australien.]"
- Prahl, B. F., Boettle, M., Costa, L., Kropp, J. P., & Rybski, D. (2018). *Damage and protection cost curves for coastal floods within the 600 largest European cities*. Scientific data, 5(1). 1-18.
- Rambøll (2015). *Udredning om tilpasning til havvandsstigninger.* [Udarbejdet til Realdania af Nielsen, H. S., Hansen, J. A., Juhl, M. B. M, Jensen, L.H., Schellenkens, E., Ballard, D., Cleveringa, J., Thomsen, H., Leonardsen. og J., Munk, T. S.,]
- Rambøll (2018). *Baggrundsrapport - Analyse af forsyningssikkerhed på vandområdet*. [Udarbejdet til miljøstyrelsen]
- Realise og Kuono (2020). *Samfundsøkonomiske cost-benefit-analyser for løsninger til håndtering af terrænnært grundvand*. [Udarbejdet til DANVA og KL]
- Refsgaard, J. C., Sonnenborg, T., Butts, M., Christensen, J., Christensen, S., Drews, M., … Vilhelmsen, T. N. (2016). *Climate change impacts on groundwater hydrology – where are the main uncertainties and can they be*

reduced? Hydrological Sciences Journal, 61(13), 2312–2324. https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1131899

- Regeringen (2019). Danmarks hovedstad - initiativer til styrkelsen af hovedstadsområdet.
- Region Midtjylland og SCALGO (2020). *Analyse: Risiko for oversvømmelse af ejendomme* [udarbejdet til Danske Regioner]
- SEGES (2021). *Vand- og spildevandsanlæg i landbrugsjord 2021*
- Smith innovation (2012). *Markedets vej - Analyse af markedspotentialet for klimatilpasning.* [udarbejdet til Realdania]
- Smith innovation (2020). *Sammen om vandet - stormflodssikring af Kalveboderne*. [Udarbejdet Københavns Kommune og Hvidovre Kommune]
- Spildevandskomiteen (2017), *Skrift 31 - Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn*, Dansk Igeniørforening, Danmark.
- Springmann, M. (2012). *The costs of climate-change adaptation in Europe: A review.*
- Su, J., Andrée, E., Nielsen, J. W., Olsen, S. M., & Madsen, K. S. (2021). *Sea Level Projections From IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere Call for a New Climate Adaptation Strategy in the Skagerrak-Kattegat Seas*. Frontiers in Marine Science, 8, 629470. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.629470
- Visitdenmark, 2018. *Turisternes døgnforbrug*.
- VisitDenmark og Danmarks Statistik, 2021. *Overnatninger efter kapacitet, gæstens nationalitet, overnatningsform, periode, område og tid* [Online]. URL https://visitdenmark.statistikbank.dk/VDK
- Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Mentaschi, L., Dottori, F., Giardino, A., Bouziotas, D., & Feyen, L. (2016). *Developments in large-scale coastal flood hazard mapping.* Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(8). 1841-1853.
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Hinkel, J., Ward, P. J., Mongelli, I., Ciscar, J. C., & Feyen, L. (2020). *Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe*. Nature Communications, 11(1). 2119. https://doi.org/10.1038/s41467-020-15665-3