



Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning

Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Panduro, Toke; Andersen, Trine Toft; Asmussen, Maria Facchin; Nielsen, Ditte Søgaard

Publication date:
2022

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Arnbjerg-Nielsen, K., Panduro, T., Andersen, T. T., Asmussen, M. F., & Nielsen, D. S. (2022). *Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning*. DTU Institut for Miljø og Ressourceteknologi.

General rights

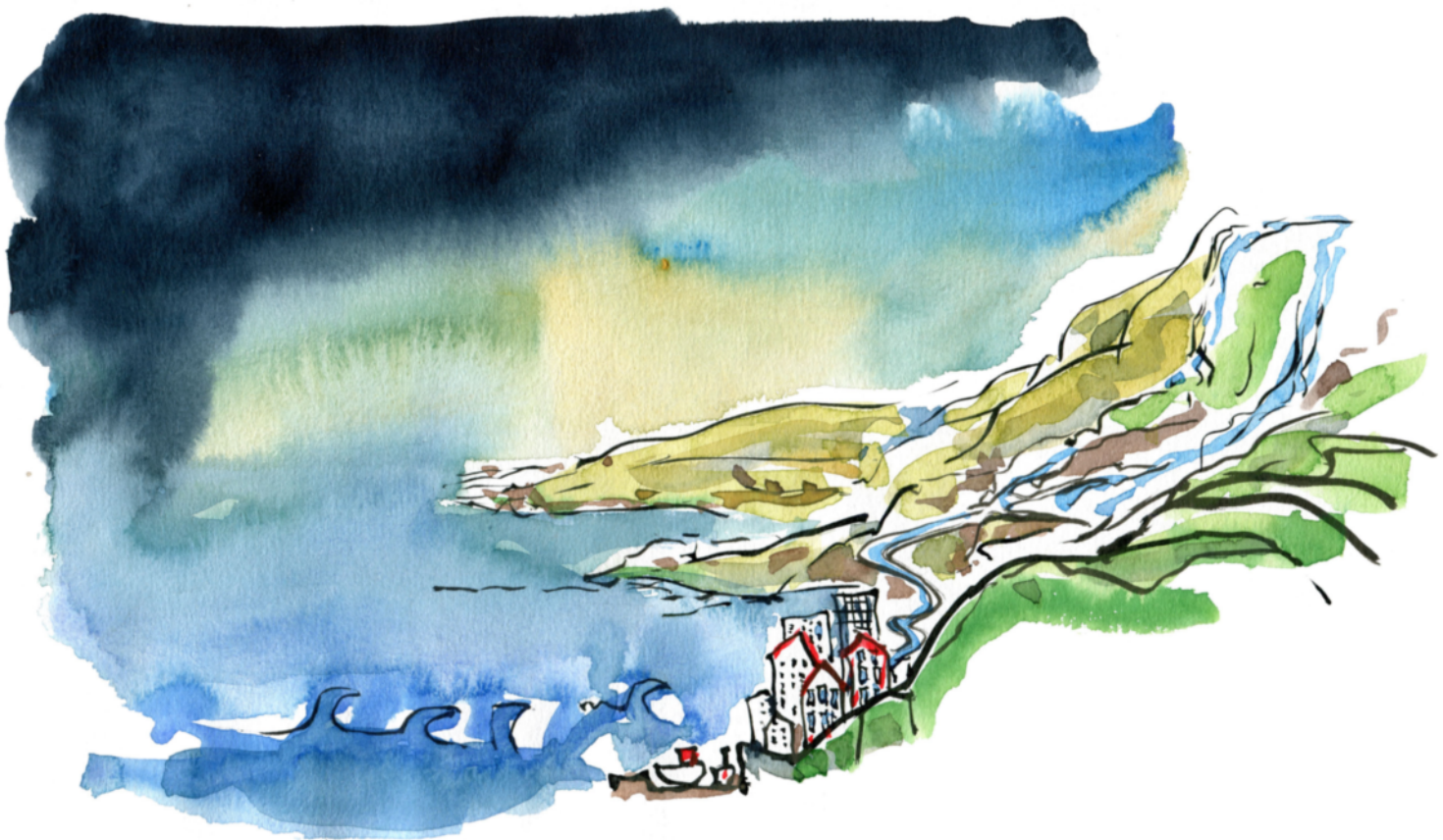
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning

K Arnbjerg-Nielsen, T Panduro, TT Andersen, DS Nielsen og MF Asmussen





Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning

Karsten Arnbjerg-Nielsen¹, Toke Panduro², Trine Toft Andersen³, Maria Facchin Asmussen³ og Ditte Søgaard Nielsen³

¹ DTU Sustain

² Aarhus Universitet

³ Rambøll Danmark A/S

December 2022

Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning

Rapport
2022

Af

Karsten Arnbjerg-Nielsen¹, Toke Panduro², Trine Toft Andersen³, Maria Facchin Asmussen³ og Ditte Søgaard Nielsen³

¹ DTU Sustain

² Aarhus Universitet

³ Rambøll Danmark A/S

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse

Forside: Illustration af Frits Ahlefeldt

Udgivet af: DTU, Institut for Miljø- og Ressourceteknologi, Bygningstorvet, Bygning 115,
2800 Kongens Lyngby
www.sustain.dtu.dk

Forord

Der er over de seneste år udgivet en lang række metoder og værktøjer til brug for opgørelser af omkostninger i forbindelse med oversvømmelser. Denne rapport har som formål at give et overblik over de vigtigste af de metoder og værktøjer, der p.t. anvendes i Danmark, og sætte dem i en teoretisk kontekst. Endvidere vil der blive givet anbefalinger til, hvilke typer af metoder, der bør anvendes fremover og hvilke krav, det fremadrettet vil stille til indsamling og bearbejdning af danske data.

Rapporten er udarbejdet i perioden oktober – december 2022. Der har været nedsat en følgegruppe med deltagelse af opdragsgiver med følgende sammensætning:

Miljøministeriet: Mathilde Zilén Pedersen og Malene Linderoth

Miljøstyrelsen: Malde Volmer Beinthin og Anders Bo Jensen

Kystdirektoratet: Kaija Jumppanen Andersen og Urs Brandt

Der har i følgegruppen været afholdt to møder. Gruppen har bidraget ved indsamling af relevant litteratur, for så vidt angår de metoder, som de selv har været med til at udarbejde. Tilsvarende har udkast til kapitel 4 og 6 været forelagt gruppen bag værktøjet SkadesØkonomi for at sikre at beskrivelsen ikke indeholder faktuelle fejl.

Rapporten er udarbejdet af projektgruppen og er ikke nødvendigvis udtryk for opdragsgivers synspunkter.

Lyngby, december 2022

Forfatterne

Indhold

Sammenfatning	7
1. Indledning	9
2. Teoretisk tilgang til opgørelse af skader	10
2.1 Tidsmæssig afgrænsning.....	10
2.2 Områdemæssig afgrænsning	12
2.3 Beskrivelse af farer ved oversvømmelse.....	14
2.4 Beskrivelse af sårbarheder i form af skadestyper	16
3. Matematisk beskrivelse af teoretisk tilgang.....	18
3.1 Fysiske karakteristika ved beskrivelsen af farer.....	18
3.2 Sårbarhed af bygninger	19
3.3 Sårbarhed af virksomheder.....	21
3.4 Sårbarhed af infrastruktur	22
3.5 Varsling, individuel forebyggelse og beredskab	23
3.6 Operationelle skadesmodeller fra udlandet.....	23
4. Gennemgang af udvalgte metoder til opgørelser af skader	27
4.1 Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi	27
4.2 Serviceniveaubekendtgørelsen	29
4.3 Oversvømmelsesloven	34
4.4 SkadesØkonomi.....	36
4.5 Evaluering af skadesberegningerne i forhold til teoretisk model.....	39
5. Anvendelse af udvalgte danske skadesmodeller på bygninger.....	44
5.1 Data og antagelser.....	44
5.2 Skadesomkostninger for et gennemsnitligt parcelhus med kælder	45
5.3 Skadesomkostninger for andre boligtyper	48
5.4 Potentielle kontraster inden for samme kommuner.....	49
5.5 Fordele og ulemper ved at anvende metoderne til at beregne bygningskader.....	49
5.6 Perspektivering til større områder.....	51
6. Metodevalg i forhold til ulighedsskabende mekanismer	53
6.1 Ulighed: Fundamental usikkerhed og systemisk risiko skaber ulighed.....	53
6.2 Ulighed: Ulighed skaber mere ulighed.....	54
6.3 Ulighed: Manglende målbarhed skaber ulighed	55
6.4 Opsummering.....	56
7. Fremadrettede anbefalinger.....	57
8. Konklusion.....	59
Referencer	61

Sammenfatning

Danmark har over de seneste årtier oplevet en kraftig stigning i antallet og kraftigheden af oversvømmelser. Denne tendens vil med stor sikkerhed blive forstærket yderligere fremover som følge af klimaændringer. Oversvømmelserne har medført store omkostninger, og der planlægges p.t. en lang række tiltag; især i byområder og langs kysterne. Tiltagene benævnes under et som klimatilpasning, hvilket indebærer, at formålet primært er at mindske risikoen for oversvømmelse til et acceptabelt niveau nu og i fremtiden.

Økonomiske analyser kan hjælpe med at klarlægge hvilke typer af tiltag, der bør overvejes. For at kunne lave sådanne analyser er det vigtigt at kunne beregne en gennemsnitlig årlig skade før og efter et tiltag. Denne gevinst i form af en risikoreduktion, skal så sammenlignes med de omkostninger, som tiltaget medfører. Den gennemsnitlige årlige skade er baseret på beregninger af den teoretiske skade udtrykt i form af en skadesfunktion, der beskriver, hvordan oversvømmelser medfører omkostninger ved at skade sårbare elementer, såsom bygninger.

Rapporten gennemgår teoretiske overvejelser i forbindelse med at værdisætte de omkostninger, som samfundet oplever i forbindelse med oversvømmelser. Der er vigtige metodiske overvejelser omkring afgrænsninger i tid og sted, fordi store oversvømmelser påvirker store landområder i mange årtier. Formålet med at opstille en model for skaderne skal derfor være meget klart kommunikeret. Der er stor forskel på, om man vil beregne et beløb, der modsvarer en genanskaffelse af genstande i forbindelse med en afgrænset, konkret oversvømmelse, vil opgøre konsekvenserne af en stor oversvømmelse i et større område med længere tidsmæssig påvirkning af området selv og naboområderne, eller endelig vil vurdere hvilke omkostninger et samfund vil skulle medtage i en længere serie af oversvømmelser, der rammer forskellige områder. Den første model er meget velegnet til at beskrive f.eks. forsikringssekskabers overvejelser, men er mindre egnet til at lave nationale samfundsøkonomiske analyser. Formålet med modellen vil også have betydning for, hvordan den konkrete, matematiske formulering af skadesfunktionerne bør udformes.

De relativt hyppige oversvømmelser de seneste år har medført, at der er udviklet metoder til prissætning baseret på danske data. Tre metoder diskuteres, benævnt Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven, og SkadesØkonomi. De tre metoder anvender delvist forskellige data til at opstille skadesfunktioner, og typen af skadesfunktioner er også forskellige. Overordnet er de tre metoder dog baseret på den samme teoretiske afgrænsning, idet de alle fokuserer på genanskaffelsesomkostninger. Endvidere er alle tre metoder fokuserede på at opstille simple skadesfunktioner i form af middelværdier uden at afrapportere usikkerheder eller alternative modelformuleringer af skadesfunktionerne.

De tre metoder beregner meget forskellige omkostninger for samme bygning, selv om skadesfunktionerne kun er baseret på én variabel til beskrivelse af faren (vanddybden) og få variable til at beskrive bygninger (byggningsstørrelse og bygningens værdi). Det kan ikke anbefales at vælge én af metoderne til at beregne nationale skøn på omkostninger for oversvømmelser. Såfremt der ønskes opstillet en fælles skadesfunktion for bygninger, bør den som minimum opstilles baseret på det samlede datasæt. Den samlede skade bør også korrigeres i forhold til, at alle de anvendte metoder har en tendens til at undervurdere den økonomiske skade.

Det er påvist, at de forskellige metoder har forskellige effekter på ulighed, baseret på hvilken modelstruktur de har til at beskrive sårbarheden af bygninger. Det er derfor vigtigt, at modelstrukturen overvejes i forhold til både at beskrive data godt, samt hvordan modellen fungerer i forhold til anvendelsen i cost-benefit analyser. I forhold til en samlet model virker Serviceniveaubekendtgørelsen til at mangle en afhængighed af vanddybden. Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi beskriver skadesfunktioner for bygninger ved hhv. bygningens værdi og bygningens størrelse. SkadesØkonomi er den af de to metoder, der mindst øger den regionale ulighed i forbindelse med evaluering af klimatilpasningstiltag, mens Oversvømmelsesloven i højere grad end SkadesØkonomi forsøger at tage hensyn til bygningens egenskaber. Ingen af metoderne er ideelle til generel anvendelse.

Fremadrettet bør det undersøges, hvilke data, der er tilgængelige og hvilke metoder, der bedst kan anvendes til at analysere data. For at sikre åbenhed omkring beslutningerne bør såvel data som modeller stilles til rådighed for offentligheden.

1. Indledning

Klimaændringer medfører en stigning i antallet og kraftigheden af oversvømmelser både i Danmark og internationalt. Beslutningen om hvilke områder, der skal beskyttes mod oversvømmelser, og hvilke, der gerne må blive oversvømmet, kan understøttes af økonomiske analyser. Beregninger af skaders hyppigheder og omfang kan vægtes i forhold til de omkostninger, der vil være ved at mindske skaderne. Det sker i form af cost-benefit analyser, hvor man sammenligner forskellige tiltags effektivitet i forhold til at sænke den årlige, gennemsnitlige skade. Det er derfor helt afgørende, at der er en god viden om, hvordan skader opstår, og hvordan de kan forhindres.

Internationale undersøgelser peger på, at oversvømmelser vil være den væsentligste effekt af klimaændringer i Danmark (IPCC, 2022). I et anerkendt studie påpeger Vousdoukas (2020), at Danmark er blandt de lande i Europa, der påvirkes mest af især stigende havvandstand og beregner, at den økonomiske omkostning vil stige fra det nuværende niveau på 0 til mellem 65 og 630 milliarder kr. årligt i år 2100, afhængigt af størrelsen af klimaændringerne. I samme undersøgelse konkluderes det, at det vil være samfundsøkonomisk rentabelt at bygge diger på mellem 22 og 48% af Danmarks kystlinje, og at den samlede effektivitet per investeret krone af disse diger vil være mellem 3 og 7 kr. Baseret på dette studie vil den årlige, gennemsnitlige omkostning til klimatilpasning og udbedring af skader dermed udgøre et tocifret milliardbeløb om året i år 2100, såfremt man udelukkende anvender diger til klimatilpasning. Hertil kommer udgifter til andre former for oversvømmelser. Det er indlysende, at disse tal gør det relevant at undersøge, hvilke antagelser, der ligger bag udregningen af skadernes omfang og dermed behovet for klimatilpasning.

Ændringerne sker gradvist, så der er stadig tid til at overveje, hvilke tiltag der skal implementeres og hvornår. Det er dog nødvendigt allerede nu at begynde at overveje, hvilke muligheder der er for at lave klimatilpasning. Det skyldes, at mange investeringer foretages under antagelse af, at den kan forrentes over lang tid. Det er en antagelse, som ikke er rimelig for områder, der er, eller i fremtiden vil blive, udsat for hyppige oversvømmelser.

Der har desværre været en del oversvømmelser de seneste årtier. Følgerne har været voldsomme for de påvirkede, men har dog den fordel, at der er et bedre datagrundlag end tidligere for at kunne skønne de faktiske omkostninger i forbindelse med oversvømmelser. Denne rapport vil dels give en teoretisk indføring i, hvordan skader kan beregnes og dels gennemgå tre metoder, der pt. anvendes i Danmark. På den baggrund diskuteres, hvilke muligheder der er for fremadrettet at forbedre data og modeller for skader i Danmark. Rapporten fokuserer på skader på bygninger, men vil i en række tilfælde diskutere skader mere generelt, således at skader på bygninger sættes i kontekst af de samlede skader.

2. Teoretisk tilgang til opgørelse af skader

I dette kapitel diskuteres den teoretiske ramme for analyser af skader på oversvømmelser baseret på en eller flere oversvømmelseskilder (nedbør, hav, grundvand og vandløb). Den teoretiske ramme vil beskrive punkt for punkt, hvilke afgrænsninger, der typisk foretages, og hvad det indebærer af antagelser for analysen.

Teorien gennemgås uden at tage hensyn til de begrænsninger, som naturligt opstår som følge af at have en begrænset mængde ressourcer til at gennemføre en konkret analyse. Generelt er der ingen metoder og værktøjer, der inddrager alle de omtalte processer. Dette er både på grund af begrænsninger i tilgængelige data, og fordi en sådan avanceret metode ikke nødvendigvis er egnet til at tage konkrete beslutninger såsom at afveje konkrete klimatilpasningstiltag i forhold til hinanden.

Til sidst i hvert afsnit er der med kursiv markeret, hvilken antagelse der typisk er gældende i forbindelse med cost-benefit analyser af klimatilpasningsprojekter i Danmark. Formålet med disse afsnit er også at opsummere afsnittet.

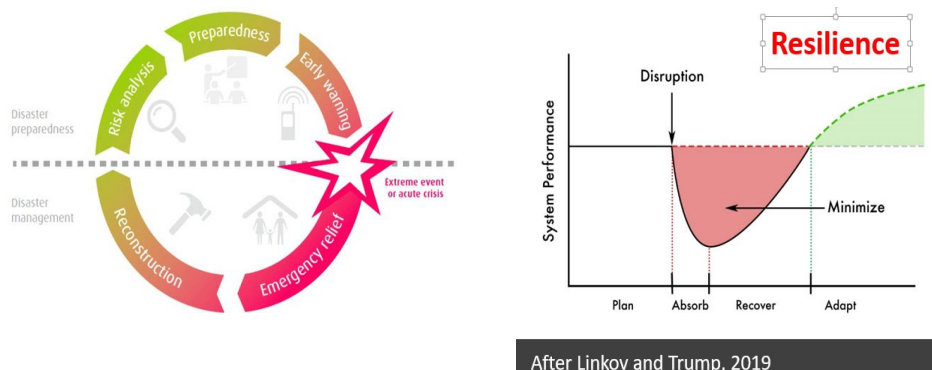
2.1 Tidsmæssig afgrænsning

For den enkelte husejer kan en oversvømmelse have et kort og veldefineret forløb, typisk i form af oprydning, udtørring, reparation og erstatningskøb for ødelagte genstande. For samfundet kan konsekvenserne imidlertid være noget mere voldsomme. Oversvømmelserne i Holland i 1953, i New Orleans i 2006 og i Fukushima i 2011 har alle stadig store og konkrete påvirkninger af de samfund, som de skete i. Det samme skete for Danmark i 1872, hvor en voldsomt stor oversvømmelse fra Østersøen i generationer satte dagsordenen for den lokale beskyttelse samt begrænsninger af arealanvendelsen i det sydlige Danmark. Hvis en tilsvarende hændelse – med eller uden yderligere voldsomhed på grund af klimaændringer – skete i dag, ville det også tage lang tid for samfundet at komme sig.

Arnbjerg-Nielsen (2020) vurderer på baggrund af bl.a. Hallegatte (2011), at det vil tage ca. 7 år før bygge- og anlægsaktiviteterne i København er tilbage på et normalt niveau efter en hændelse svarende til den i 1872. Der vil naturligt i den forbindelse være en række dynamiske effekter. Nogle af disse effekter vil udjævnes over tid, f.eks. ændringer i arbejdsudbuddet og mobiliteten, mens andre vil have permanente effekter. Blandt de permanente effekter kan nævnes, at bygninger vil blive istandsat til et bedre niveau, end de var, før oversvømmelsen skete, og Københavns status i forhold til andre byer i regionen vil formentlig også være permanent påvirket. Dermed er det vanskeligt at fastlægge, hvad den præcise påvirkning fra oversvømmelsen er, både fordi der tidsmæssigt går lang tid, og fordi samfundet ikke retableres til samme tilstand som inden hændelsen, og der dermed ikke er tale om retableringsomkostninger.

Såfremt det tidsmæssige aspekt inddrages, vil det være naturligt at lave det, som økonomer kalder en fuld analyse. En sådan analyse vil dog indeholde mange kritiske antagelser, som det kan være svært at verificere. En særlig vigtig egenskab ved en sådan model i forhold til

oversvømmelser vil være, hvad samfundet har lært af oversvømmelsen, og hvor lang tid samfundet vil huske denne læring. En sådan model vil være meget kompleks, og det vil bl.a. være svært at identificere præcis, hvilken betydning oversvømmelsen har, fordi ændringer i f.eks. arbejdsudbuddet også vil påvirkes af mange andre faktorer. På Figur 2-1 er angivet de to principper, som man vil skulle bruge til at vurdere oversvømmelsen. Man vil dels skulle se på mindst en hel cyklus af oversvømmelser, dvs. fra en oversvømmelse sker til den næste oversvømmelse, og dels skulle se på hvilke forbedringer/ændringer, der er sket i samfundet nogle år efter oversvømmelsen.



Figur 2-1. Oversvømmelser vurderet i et langvarigt tidsperspektiv. Til venstre er angivet hele cyklussen fra oversvømmelsen konkret sker til næste oversvømmelse sker, typisk opgjort i fem faser, hvoraf de ene sker kort inden hændelsen, de to næste sker under og kort efter hændelsen, mens de to sidste kan have en lang tidsmæssig udstrækning. Til højre er skitseret, hvordan samfundet som helhed først påvirkes negativt under og kort efter hændelsen, mens der på sigt generelt vil ske en produktivitetsforbedring, i hvert fald på nogle områder. Venstre: Disaster Risk Reduction (DRR), and Disaster Management Cycle. From: World Risk Report 2016, United Nations University (Universitat Stuttgart). Højre: <https://www.oecd.org/naec/resilience/>

Som angivet i Arnbjerg-Nielsen (2020) bør man som udgangspunkt vurdere, hvorvidt en sådan hændelse er acceptabel for samfundet. Hvis den ikke er, giver det naturligt ikke mening af lave en cost-benefit analyse, idet de netop udføres til sammenligning mellem acceptable scenarier. Der vil naturligvis være forskellige definitioner af, hvad en uacceptabel hændelse er. I det nævnte notat tages udgangspunkt i, at en oversvømmelse af København med effekter, der varer op til syv år, vil være uacceptabel for Københavns Kommune. Dermed er anbefalingen, at Københavns Kommune ikke bør anvende en cost-benefit analyse som beslutningsværktøj i forbindelse med klimatilpasning mod stigende havvand. Det kan på samme måde overvejes, hvor stort et område skal være, før cost-benefit analyser giver mening.

Oversvømmelserne i Holland i 1953 blev fulgt op af beslutninger på nationalt niveau, der også indikerede, at en gentagelse ville være uacceptabel. Man har lige siden 1953 bygget fysiske systemer i form af f.eks. diger, der fundamentalt har ændret på bl.a. arealanvendelsen og natursynet i landet. Over så lange tidsperioder vil der ske mange andre ændringer i samfundet, herunder i arbejdsudbud, uddannelsesniveaue, økonomisk råderum, mv. Derfor vil det være vanskeligt at opstille rammerne for en traditionel cost-benefit analyse. I stedet vil det være relevant at anvende mere generelle ligevægtsmodeller. Det mest kendte eksempel på en sådan model er ADAM (Danmarks Statistik, 2022); et makroøkonomisk værktøj, der anvendes til f.eks. at vurdere konsekvenser af politisk-økonomiske indgreb samt økonomiske fremskrivninger.

Med undtagelse af de meget sjældent forekommende stormfloder fra Østersøen vurderes det, at skaderne fra oversvømmelser i Danmark i nutidens klima kan beskrives retvisende i form af en vurdering af reableringsomkostninger. På sigt vil oversvømmelsernes hyppighed og voldsomhed gradvist medføre, at det ikke længere giver mening at fastholde denne rammesætning. Derfor vil det være relevant at inddrage metoder, der beskriver, hvordan man forhindrer, at en uacceptabel konsekvens opstår. Der kan f.eks. tages udgangspunkt i teorier for at undgå tipping points (Mecure et al., 2021) eller at undersøge forskellige tiltag ud fra metoden Dynamic Adaptation Policy Pathways (f.eks. Andersen et al, 2020).

Typisk antagelse: Der fokuseres på et tidsmæssigt meget kort forløb fra hændelsen varsles til de direkte effekter er udbedret, og ofte medtages kun meget simple, indirekte effekter såsom genhusning. For langt de fleste oversvømmelser er det en rimelig antagelse, men ikke for alle. Københavns skybrudsplan markerede et paradigmeskift i kommunens tilgang til klimatilpasning, og når der opstår en stormflod som den i 1872, vil det også få større indflydelse på samfundet, som ikke kan opgøres med en traditionel opgørelse af skader omkring selve oversvømmelsen. Internationalt er der mange eksempler på, at læring efter meget store oversvømmelser ændrer samfundsudviklingen over flere årtier.

2.2 Områdemæssig afgrænsning

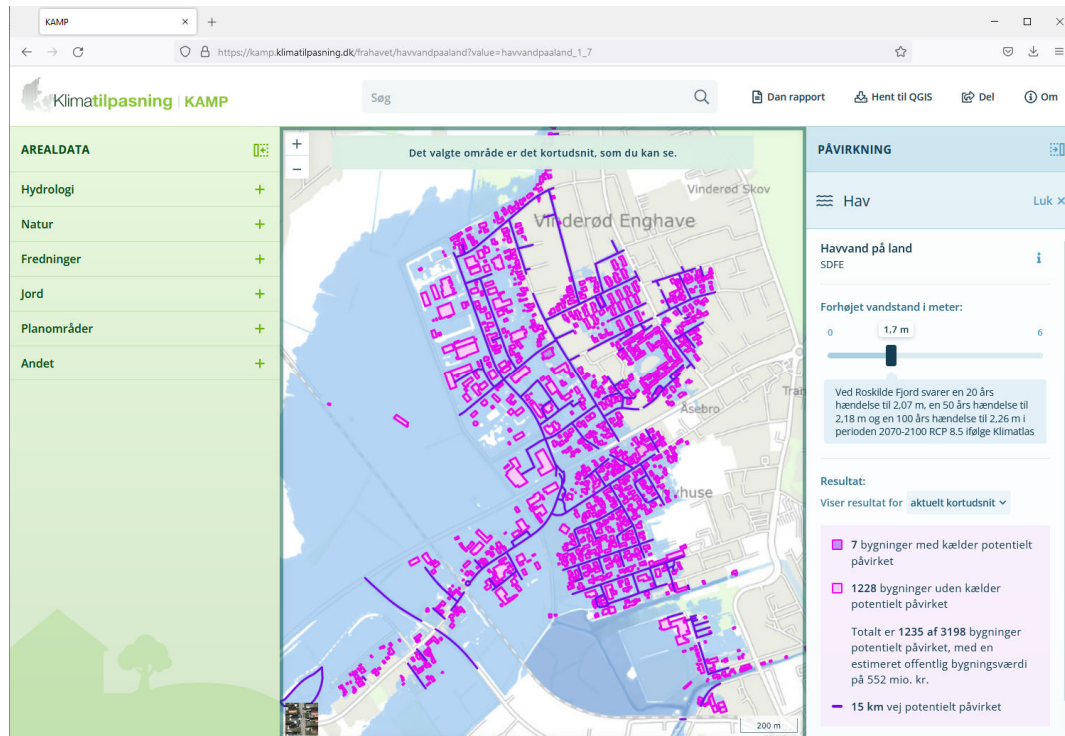
I forbindelse med vurderinger af oversvømmelser er man nødt til at lave en opdeling i områder. Denne inddeling kan gøres på baggrund af administrative grænser, f.eks. kommune- og landegrænser, hvorved det er relativt simpelt at anvise, hvilke strategier og projekter, der er gode at implementere for et konkret administrativt lag.

Oversvømmelserne vil dog også have en fysisk afgrænsning i form af, hvilken vej vandet strømmer. For indenlandske områder giver det god mening at opdele i vandskel, mens oversvømmelser i kystområder også vil være bestemt af dominerende vindområder, og hvor vandstrømningen i fjorde, bæltter og hav er begrænset, og der dermed er mulighed for særlige opstuvninger/stormfloder. Den fysiske afgrænsning vil være påvirket af menneskers aktivitet, da vandinfrastruktur kan flytte væsentlige vandmængder mellem naturlige vandskel, hvilket påvirker oversvømmelserne.

De to processer, som er beskrevet ovenfor, er velkendte, og de indtænkes ofte i, hvordan man analyserer skader i forbindelse med oversvømmelser. Der er imidlertid en tredje væsentlig proces, som opnår mindre opmærksomhed. Det er forskellen mellem de skader, der sker i et konkret område og det samfundsøkonomiske tab, det medfører.

På Figur 2-2 er angivet et eksempel på en meget simpel vurdering af et oversvømmet område, og det er angivet, hvilke bygninger og veje, der er påvirket. Brugeren risikerer implicit at antage, at den totale skade for det viste område er summen af de enkelte skader. Det kan man dog ikke nødvendigvis antage. Nogle af bygningerne anvendes af butikker og produktionsvirksomheder. For disse berørte firmaer vil der i almindelighed være et ganske væsentligt produktionstab samt potentielt også tab fra ødelagt lagerbeholdning. Dette tab er dog ikke nødvendigvis et direkte samfundsøkonomisk tab. Det enkelte firmas tab vil i nogle tilfælde give mulighed for, at andre virksomheder øger omsætningen, fordi kunderne lægger deres omsætning et andet sted.

Derudover vil det måske give besparelser at producere varerne med et formentligt forbedret produktionsudstyr, når skaderne er udbedret. I begge tilfælde vil det samfundsøkonomiske tab være mindre end det direkte tab, som den enkelte virksomhed oplever i forbindelse med oversvømmelsen.



Figur 2-2. Områder markeret med blåt er oversvømmet, såfremt vandstanden overskrider 1,7 m over daglig vandstand. Områder markeret med mørkeblåt har dybere vandstand, end områderne markeret med lyseblåt. De blå streger og lilla firkanter angiver hhv. veje og bygninger, hvor det omgivende terræn er oversvømmet. Skærmdump fra KAMP fra dele af Frederikssund.

Den fjerde type af proces omhandler følgeskader, som opstår uden for det analyserede område. Det mest kendte eksempel er oversvømmelsen i Bangkok i 2011, der medførte en global mangel på harddiske. Det medførte naturligvis et økonomisk tab for de pågældende producenter, at de ikke kunne sælge deres produkter som normalt. Men det samfundsøkonomiske tab kunne opgøres i form af manglende produktivitet over det meste af verden, fordi forøgelsen af harddiske var mindre og dyrere end forventet.

Ved en opgørelse af skader på kommuneniveau må man forvente tilsvarende effekter. Det samfundsøkonomiske tab af en meget stor oversvømmelse i f.eks. Vallensbæk Kommune vil ikke blot være relateret til tab internt i kommunen, men også af at infrastruktur som motorveje og jernbaner vil påvirkes. Dermed mindskes mobiliteten generelt i mange omkringliggende kommuner. Dette vil potentielt påvirke ikke blot opgørelser af de konkrete tab, men også retableringsomkostningerne mere generelt i form af tidsmæssige forsinkelser og mobilitetstab i samfundet.

Typisk antagelse: Der fokuseres på de direkte skader, som opleves af de aktører, der bliver oversvømmet. Generaliseringen til samfundsøkonomiske tab sker sjældent.

2.3 Beskrivelse af farer ved oversvømmelse

Størrelsen af faren fra en oversvømmelse beskrives ofte i form af en gennemsnitlig tid mellem to hændelser, der overskrider et vist niveau af fare. Den gennemsnitlige tid mellem sådanne hændelser benævnes gentagelsesperiode eller returperiode. Med denne definition følger, at jo sjældnere gentagelsesperiode desto større fare har hændelsen.

Faren ved oversvømmelser skal beskrives ved en målbar indikator for at kunne blive modelleret i form af en gentagelsesperiode. Der er to dominerende indikatorer for oversvømmelser samt en række faktorer, der kan påvirke skadernes størrelse. Dette afsnit beskriver disse indikatorer og faktorer generelt. Nogle af indikatorerne og faktorerne er vigtigere end andre afhængigt af skadestyper og typer af oversvømmelser. Dette omtales i det følgende afsnit om skadestyper.

2.3.1 Indikator: Dybde

Den dominerende indikator i forbindelse med oversvømmelser er vandets dybde, altså forskellen mellem den kote, som terrænet har, og den maksimale kote, som vandet har under oversvømmelse. Dette er f.eks. den indikator, som anvendes i KAMP, se Figur 2-2. Det er den dominerende indikator, fordi såfremt dybden er nul, vil skaden også være nul.

2.3.2 Indikator: Kinetisk energi

Den anden indikator, som ofte anvendes i forbindelse med oversvømmelser, er vandets (vandrette) kinetiske energi. Ved lave dybder og hastigheder har denne indikator ikke nogen stor betydning; der vil dybden være en bedre indikator. Men hvis vandets kinetiske energi er høj, vil skaderne alt andet lige blive større. I forbindelse med brud på diger og dæmninger og i stejle vandløb/gader vil den kinetiske energi potentielt være vigtigere end dybden, ikke mindst fordi den kinetiske energi afhænger af farten i anden potens. De store hastigheder vil dels medføre en fare for personer, der opholder sig i vandet, og dels medføre øgede skader, fordi genstande vil blive transporteret med vandet med fare for store skader, når den kinetiske energi bruges til at skubbe til nye genstande.

Dybde og kinetisk energi anvendes begge til at skabe en sammenhæng mellem gentagelsesperioden og faren. De faktorer, som beskrives nedenfor, har betydning for faren, men det er primært egenskaber ved indikatoren og dermed oversvømmelsen. Man vil derfor i den ideelle skadesopgørelse inkludere informationer om nedenstående faktorer, fordi det er med til at beskrive, hvor farlig oversvømmelsen er. De vigtige faktorer er variation og varighed af oversvømmelsen, varsling af oversvømmelsen, samt typen af vand. Hver af disse diskuteres kort nedenfor.

2.3.3 Faktor: Variation og varighed af oversvømmelsen

Oversvømmelser er stærkt dynamiske fænomener, hvor både dybde og kinetisk energi vil ændre sig i løbet af hændelsen fra nul til et maksimum og tilbage til nul. Ved længere varighed vil skaden alt andet lige blive større. Tilsvarende kan indikatoren måles over et kortere eller længere tidsrum, ligesom f.eks. bølger kan have betydning. Alt i alt vil måden som indikatoren opgøres på have stor betydning for, hvor stor skaden vil være som funktion af indikatoren.

2.3.4 Faktor: Varsling

Hvis borgerne i et område ved, at området oversvømmes inden for kort tid, vil skaden alt andet lige blive mindre. Ud fra princippet i Figur 2-1 vil man kunne mindske skaden som borger ved konkret at flytte sig selv og sårbare genstande ud af området eller som minimum løfte dem op over den forventede vanddybde. Tilsvarende vil man som samfund kunne etablere lokale og midlertidig beskyttelse ved at have et effektivt beredskab. Beredskabet vil kunne mindske skaderne ved at opstille udstyr, der mindsker skaderne. Et eksempel er vist på Figur 2-3.



Figur 2-3. Midlertidig beskyttelse af byområder i Prag opnået ved at beredskabet har opstillet en midlertidig mur, der inddæmmer floden. Der er tilsvarende eksempler på beskyttelse af f.eks. Metroen i København, ligesom der er indkøbt pumper, sandsække og watertubes til udsatte områder.

2.3.5 Faktor: Type af oversvømmelse

Forskellige kilder til oversvømmelsen vil alt andet lige også have indflydelse på skadens omfang. Man skelner som minimum mellem fire typer af oversvømmelser, afhængigt af hvorvidt den dominerende vandtype er grundvand, regnvand, vandløb eller hav. Generelt er grundvand den type oversvømmelse, der forårsager mindst skade, fordi vandet er renest og strømmer langsomst, mens de tre andre kan være svære at generalisere relativt. Generelt gælder dog, at saltvand er mere aggressivt end ferskvand, og at andelen af byspildevand i regnvand er vigtig for skadens omfang. Der kan dog også være andre væsentlige faktorer. Som eksempel kan man nævne, at man i Tyskland på baggrund af oversvømmelser i 2002 i Elben krævede konstruktive ændringer af olietankene i individuelle boliger, fordi olie fra olietanke var en markant årsag til skaderne. Da samme områder blev oversvømmet igen i 2011, var det tydeligt at se, at den ændrede konstruktion havde mindsket skaderne på oversvømmelserne.

Typisk antagelse: Der er meget forskellige antagelser i forskellige studier for så vidt angår valg af indikator samt hvilke faktorer, der indgår. Det er på tværs af forskellige bearbejdnings tydeligt, at forskelle i hvilke data, der er tilgængelige, har stor indflydelse på valg af faktorer, ligesom størrelsen og voldsomheden af historiske oversvømmelser også har betydning. Samtidigt er der i nogle bearbejdnings større tendens til at tillade forskelle som funktion af faktorer, mens der i andre er et ønske om at bevare en simpel tilgang til beregning af faren. For alle praktiske undersøgelser er det dog især tydeligt, at der med de data, der indsamles, er en endog meget stor variation mellem skader på genstande, der ud fra data burde have en sammenlignelig skade. Med andre ord er det meget usikre modeller, der opstilles og anvendes på baggrund af data. De kan med nogen robusthed anvendes på et større område, hvor mange genstande bliver berørt af oversvømmelsen, men det er særdeles vanskeligt at beregne den konkrete skade på en enkelt konkret genstand (bygning).

2.4 Beskrivelse af sårbarheder i form af skadestyper

Der findes et utal af skadestyper, og nogle af disse skadestyper kan være svære at skelne fra hinanden. Eksempler på skadestyper er angivet i Tabel 2-1. Vigtigt er det især at skelne mellem markedsomsatte og ikke-markedsomsatte omkostninger samt de direkte og indirekte omkostninger. Skellet mellem de direkte og indirekte omkostninger er til dels diskuteret i afsnit 2.1, hvor den tidsmæssige afgrænsning er diskuteret. Lige så vigtigt er det at skelne mellem de genstande, som kan prissættes på et marked (markedsomsatte goder) samt dem, som ikke kan prissættes på et marked.

I en konkret situation kan de ikke-markedsomsatte goder være meget væsentlige, men de er ekskluderet fra mange modeller, fordi de i sagens natur er svære at prissætte. Endvidere vil de ofte være udelukket fra analysen, fordi man har valgt at basere sig på data, der har et snævert fokus i tid og sted. Implikationerne af denne antagelse glemmes ofte i de efterfølgende analyser.

Der er metoder til at lave prissætning inden for alle fire typer af omkostninger. Alle væsentlige tab bør opgøres, såfremt de indgår i en cost-benefit analyse, således at analysen er retvisende. Det bemærkes, at med denne formulering vil nogle af de indirekte tab i en samfundsøkonomisk analyse blive opvejet af indirekte gevinster, f.eks. i form af bedre indtjening i nogle industrier på grund af mindre konkurrence fra oversvømmede konkurrenter. Det væsentlige er, at såvel tab som gevinster opgøres for skadestyperne. Såfremt faktorer ikke kan prissættes, bør de som minimum beskrives kvalitativt, så betydningen af faktorerne stadig indgår i beslutningsprocessen (Finansministeriet, 2017).

Tabel 2-1. Eksempler på skadestyper i forbindelse med oversvømmelser. Der er ikke tale om en udtømmende liste. Baseret på Olsen et al (2015) samt Hammond et al (2002, 2014).

	Direkte tab	Indirekte tab
Markedsomsatte	Strukturel skade Biler Infrastruktur Dyr Fødevarer Evakuering og oprydning	Forstyrrelse af trafik Genhusning Forstyrrelse af handel og produktion
Ikke-markedsomsatte	Skader på mennesker Sygdomme Tab af memorabilia Skader på økosystemer	PTSD og andre lidelser Forstyrrelser Tab af huspriser Mindre tillid til myndigheder

I denne rapport fokuseres på opgørelse af bygninger, som er en del af de direkte skader, som i Tabel 2-1 er en del af skadestypen "strukturel skade". Der er ikke nogen principiel forskel på, hvordan prissætningen foregår i denne type af genstande og andre typer af skader. Man skal dog udvise varsomhed ved brug af mange skadestyper, idet det skal sikres, at man ikke tæller samme skadestype med flere gange. Det vil i det følgende blive antaget, at man er i stand til at foretage en beskrivelse af skader, som gør, at hver skadestype kan opgøres uafhængigt af

andre skadestyper. Med udgangspunkt i Tabel 2-1 vil det f.eks. indebære, at såfremt et indirekte tab i form af en diagnose med PTSD værdisættes, så vil tabet i form af f.eks. sygefravær kun skulle opgøres enten som et direkte tab i form af en sygdom eller som en del af omkostningen ved at have PTSD. Det forventes, at sundhedsmkostninger i forbindelse med oversvømmelser i Danmark er lave. Det har f.eks. ikke været muligt at dokumentere en sammenhæng mellem ændringer i sundhed og oversvømmelse i danske sundhedsregistre (Lautrup et al., 2021).

Typisk antagelse: Den konkrete opgørelse af skader vil være begrænset af data og den tid, der er tilgængelig for at lave analysen. Derudover vil den konkrete sårbarhed også afhænge af hvilken fare, der optræder og i hvor kraftigt et omfang. Dette vil blive diskuteret yderligere i det følgende kapitel.

3. Matematisk beskrivelse af teoretisk tilgang

Skadesomkostninger i forbindelse med en specifik oversvømmelse er et resultat af såvel de fysiske egenskaber ved oversvømmelsen som de konkrete sårbarheder. Det indebærer, at ikke alle oversvømmelser giver den maksimale skade, og derfor vil den konkrete skade være en funktion af indikatoren for faren. Endvidere vil hver enkelt geografisk lokalitet inden for det påvirkede område have en sårbarhed, der måske er repræsenteret af en eller flere skadesfunktioner. Det leder til følgende matematiske udtryk for, hvordan en skade beregnes:

$$\text{Samlet Skade} = \sum^{\text{skadestyper}} \int^{\text{påvirket område}} D_{s,o}(f)$$

hvor $D_{s,o}(f)$ er den konkrete skade i en målbar, monetær enhed (f.eks. kroner) og s , o , og f repræsenterer henholdsvis geografisk lokalitet, det område, der undersøges og indikator for faren. Dermed kan man således ud fra en beregning af indikatoren over hele området finde den samlede skade ved at summere alle skadestyper over hele området. Det bemærkes, at ud fra de teoretiske overvejelser i kapitel 2 kan skadesfunktionen godt antage negative værdier.

I de følgende afsnit gennemgås først funktioner for indikatoren for faren og dernæst de vigtigste skadesfunktioner. Ved beskrivelsen af skadesfunktionerne fremgår det eksplicit, at sårbarheden vil være en funktion af beskaffenheden af det, der beskadiges. For bygninger vil f.eks. konstruktion, bygningskvalitet, vedligehold og materialeindhold have betydning for den faktiske skade. Brugere af bygningerne er også relevante at forholde sig til, herunder om bygning er anvendt som bolig eller erhverv, og hvilken type husholdning eller erhvervsaktivitet der foregår i bygningen. Tilsvarende vil man kunne opstille andre skadesfunktioner afhængigt af, hvilke sårbarheder der er til stede i det pågældende område.

I forbindelse med skadesopgørelsen vil det være relevant at forholde sig til, hvilke parametre der potentielt har betydning for størrelsesordenen af omkostningerne, samt hvilke data der kan anvendes til at skønne omkostningen. Kun de omkostninger, der har potentiale til at ændre udfaldet af cost-benefit analysen, vil være nødvendige at inddrage.

3.1 Fysiske karakteristika ved beskrivelsen af farer

Ud fra indikatorerne for oversvømmelser kan man opstille en samlet formel for de fysiske karakteristika af faren. Herunder er typen (t) af oversvømmelse afgørende. Man skelner som minimum som nævnt i afsnit 2.3.5 mellem fire typer af oversvømmelser; grundvand (g), regnvand (r), vandløb (v) eller hav (h). Ud fra diskussionen i afsnittet om indikatorer kan de øvrige væsentlige faktorer opgøres til dybden af oversvømmelsen (d), vandets (vandrette) kinetiske energi (k), varsling (v), varighed (va) samt vandets indhold af fremmedstoffer (s) såsom andelen af byspildevand eller olie eller andre kemiske stoffer. Fremmedstoffer kan lave biologisk og/eller kemisk forurening, der efterfølgende er svær at rydde op. Større drivmateriale har ligeledes potentiale til at forurette mekaniske skader på bygninger og ejendomme.

Dermed bliver den samlede teoretiske skadesfunktion f for den individuelle geografiske placering i indenfor området:

$$f_i(t_{g,r,v,h}, d_i, k_i, v_i, va_i, dm_i)$$

Af funktionen fremgår det at skadesomkostningspotentialet er en funktion af typen (t), dybden (d), vandets kinetiske energi (k), varsling (v), varigheden på oversvømmelsen (va) og koncentrationen af fremmedstoffer og drivmateriale (dm) i vandet.

Tabel 3-1. Fysiske variable relevante i forhold til farebeskrivelsen

t	Type af oversvømmelse:	Grundvand g Regnvand r Vandløb v Hav h
d	Dybde af oversvømmelse	
k	Kinetisk energi i vandet	
v	Varsling	
va	Varighed af oversvømmelse	
dm	Koncentration af fremmedstoffer mm.	

3.2 Sårbarhed af bygninger

Bygningers sårbarhed beskrives ofte i form af tre forskellige processer: Én for den fysiske bygning, én for inventaret i bygningen, og én for den subjektive påvirkning af de personer, der anvender bygningen. Hver af disse beskrives nedenfor.

3.2.1 Potentiale for bygningssskade

Bygningers egenskab til at håndtere en oversvømmelse er afhængig af oversvømmelsen karakteristika givet i f_i sammenholdt med bygningsstørrelse (bs), bygningsmateriale (bm), bygningskvalitet (bk), bygningsalder (ba), bygningsvedligehold (bv) og antal bygningsetager, herunder kælderetage (be). Disse variable beskriver til sammen en bygningens robusthed over for en oversvømmelse. Nogle materialer vil være impermeable hen over en oversvømmelses varighed. Andre materialer vil være permeable, og nogle af disse vil blive permanent beskadigede afhængigt af funktionen f_i . Revner i bygningsflader eller skrøbelige strukturer pga. materialevalg eller manglende vedligehold vil ligeledes føre til øget risiko for skader fra oversvømmelser. I forbindelse med udbedring af skader vil de samme bygningsparametre være relevante for omkostningerne i forbindelse med skadesudbedringerne.

Samlet set kan bygningssskadespotentialet for bygning j placeret på den geografisk lokalitet i beskrives ved hjælp af følgende funktion:

$$g_{j,i}(f_i, bs_j, bm_j, bk_j, ba_j, bv_j, be_j)$$

Variablene, der indgår i funktion $g_{j,i}$, vil være korrelerede, og det kan således være at det i praksis vil give mening at operere med typer af bygninger, som f.eks. lejlighedskompleks bygget i beton fra 1990'erne eller parcelhus bygget af mursten med træskelet fra 1960'erne. Tilsvarende

kan man vælge at opgøre skaderne ud fra økonomiske typetal for forskellige typer af bygninger fra tidligere oversvømmelser i stedet for at lave en bygningsteknisk analyse af, hvad der vil blive skadet ved en givet påvirkning.

Tablet 3-2. Relevante variable for bygninger

f_i	Funktion for oversvømmelsesskadespotentiale
bs	Bygningsstørrelse
bk	Bygningskvalitet
ba	Bygningsalder
bv	Bygningsvedligeholdelse
be	Bygningsetage

3.2.2 Potentiale for husholdningsskade

Husholdninger, der bor i oversvømmede boliger, oplever omkostninger i form af ødelagt inventar, hvoraf nogle af genstandene har en materiel markedsværdi (hm), mens andre genstande primært eller udelukkende har immateriel værdi (ih) i form af f.eks. familiealbummer, arvestykker, osv. I forbindelse med oversvømmelse vil husholdninger opleve at skulle bruge tid på at rydde op og udbedre skader i deres bolig, hvorved der bliver et tab, der som minimum udgør tabt arbejdstid eller mere generelt et tab ved denne aktivitet (ha).

I det omfang skaderne efter oversvømmelsen er omfangsrige kan husholdninger være nødt til at blive genhuset i en periode (hg). Genhusningen er en omkostning uafhængig af, hvem der betaler. Det kan f.eks. være både forsikringselskab og/eller husholdningen, der betaler. Derudover må genhusningen i mange tilfælde opleves negativt og mindre behageligt i forhold til baseline, hvor boligen ikke var blevet oversvømmet, og husholdningen fortsat kunne bo i boligen.

Oversvømmelse kan ligeledes udgøre både en fysisk og en psykisk sundhedsrisiko (hs). Oversvømmelse kan føre til at medlemmer af husholdningen drukner, kommer fysisk til skade eller bliver udsat for forurenede vand. Oversvømmelsesoplevelsen kan ligeledes medføre at medlemmer af husholdningen oplever stress eller stressrelaterede sygdomme. Til dato udgør sundhedsrisikoen en ganske lille risiko i Danmark.

Samlet set kan skadespotentialet for en husholdning (e) beskrives ved hjælp af følgende funktion:

$$h_{i,e}(f_i, hm_e, hi_e, ha_e, hg_e, hs_e)$$

Af funktionen fremgår det at skaden for en husholdning vil være påvirket af materielle tab, immaterielle tab, tabt arbejdstid, omkostninger i forbindelse med genhusning og mulig helbredsrisiko.

3.2.3 Risikoaversion for beboere

Risikoaversionen er en værdisætning af den subjektive oplevelse af at vide, at ens husholdning kan blive oversvømmet. Risikoaversionen er svær at prissætte, bl.a. fordi den ændrer sig væsentligt over tid og generelt er høj kort tid efter en oversvømmelse og lav lang tid efter seneste oversvømmelse. I de simpleste tilfælde udtrykkes risikoaversion som en faktor, man kan gange på omkostningen for bygning og inventar, således omkostninger forhøjes eller reduceres afhængig af den enkelte husholdnings forhold til risiko. Med denne formulering kan risikoaversionen også udtrykke en forskel mellem det økonomiske tab, som brugerne af boligen har, og det beløb, som forsikringen værdisætter skaderne til. For de fleste husholdninger må man forvente en risikoaversion $k(hr_e)$ højre end 1. Matematisk defineres risikoaversionen derfor ud fra en subjektiv prissætning af skaden, hvorefter faktoren for risikoaversion beregnes med de kendte værdier for skaderne på bygning og inventar:

$$\text{Subjektivt oplevet Samlet Skade Bygning}_{i,j,e} = h_{i,e}(\dots) * k(hr_e) + g_{i,j}(\dots) * k(hr_e)$$

Tablet 3-3. Relevante variable i forbindelse med risikoaversion

f_i	Funktion for oversvømmelsesskadespotentiale
hm	Materielle tab
Hi	Immaterielle tab
ha	Tabt arbejdstid
hg	Genhusning
hs	Sygdom
hr	Risikoaversion

3.3 Sårbarhed af virksomheder

Virksomheders sårbarhed kan opdeles i tre bidrag ligesom for beboelsesejendomme. Bygningens sårbarhed og risikoaversion kan beskrives på samme måde som for beboelser, hvorfor nedenstående vil fokusere på opgørelse af inventaret, som for virksomheder består af produktionsapparat, lager og produktionstab.

Virksomheder, der oversvømmes, vil opleve skader på deres produktionsapparat (vpa), tab af lagerbeholdning (vl) og tab af indtægt (vi) i det tidsrum, hvor virksomheden står stille. For den enkelte virksomhed kan omfanget af skaderne og tabte indtægter være så store, at virksomhederne går konkurs. For den enkelte virksomhed kan omkostningerne af en oversvømmelse være betydelige, men for den samlede værdiproduktion kan effekten være betydeligt lavere. Konkurrenter til den oversvømmede virksomhed kan øge produktionen, og kunder kan finde alternative leverandører. Dette forhold gør sig specielt gældende på markeder, hvor der er mange producenter som f.eks. fastfoodrestauranter. På markeder med få eller ingen konkurrenter, hvor en enkelt virksomhed har monopollignende forhold, vil det ikke være muligt at finde samme substitutionseffekt (vs), og her vil den fulde omkostning af en oversvømmelse skulle indregnes som en skadesomkostning. I det simpleste tilfælde vil substitutionseffekten kunne beskrives af en faktor, der ganges på oversvømmelsesomkostningerne for virksomheder gående fra 1 til 0.

Substitutionseffekten kan være unik for hver enkelt virksomhed. Eksempelvis kan kunderne til et teater finde andre teatre og andre forestillinger at overvære. I den forbindelse vil kunderne næsten ikke opleve noget tab. Men hvis det oversvømmede teater er unikt, vil det oplevede tab være betydeligt.

Typen af virksomhed vil være afgørende for de potentielle omkostninger af en oversvømmelse. Virksomheder med aktiviteter hovedsageligt inden for kontor, administration og konsulentytelser har hverken et stort og dyrt produktionsapparat eller en betydelig lagerbeholdning. Samtidig vil kontorvirksomheder have en betydeligt kortere periode med ingen eller nedsat produktionskapacitet. Det modsatte gør sig gældende for service- og turismevirksomheder, som ofte vil have lagerbeholdninger, der kan gå tabt. Samtidig vil virksomhederne være væsentlig mere afhængige af de oversvømmede bygninger. F.eks. vil en oversvømmet butik først kunne åbne, når en ny lagerbeholdning er etableret, og skaderne på bygningslokalerne er udbedret. Produktionsvirksomheder vil være den type virksomheder, der vil blive hårdest ramt. I produktionsvirksomheder er produktionsapparatet kapitalintensivt, og det kan betyde anseelig nedetid i forhold til erhvervsaktivitet og reinvesteringer ifm. udbedring af skaderne.

Samlet set kan virksomheder skadespotentialet for en given virksomhed (u) beskrives ved hjælp af skadesfunktionen l og substitutionsfunktionen:

$$\begin{aligned}
 & l_{vk,i,u}(f_i, vpa_{vk,u}, vl_{vk,u}, vl_{vk,u}) * v_{vk,u}(vs_{vk,u}) \\
 & l_{vs,i,u}(f_i, vpa_{vs,u}, vl_{vs,u}, vl_{vs,u}) * v_{vs,u}(vs_{vs,u}) \\
 & l_{vt,i,u}(f_i, vpa_{vt,u}, vl_{vt,u}, vl_{vt,u}) * v_{vt,u}(vs_{vt,u}) \\
 & l_{vp,i,u}(f_i, vpa_{vp,u}, vl_{vp,u}, vl_{vp,u}) * v_{vp,u}(vs_{vp,u})
 \end{aligned}$$

I dette tilfælde er der opstillet en funktion for hver type virksomhed i anerkendelsen af, at virksomhederne adskiller sig fra hinanden i betydeligt omfang. Det vil i praksis ikke være muligt at behandle virksomheder i samme skadesomkostningsmodel.

Tabel 3-4. Relevante variable i forbindelse med industri

vt	Type af virksomhed, f.eks. opgjort som:	Kontor (vk) Handel og service (vs) Turisme (vt) Produktion (vp)
vpa	Skade på produktionsapparat	
vl	Tab af lagerbeholdning	
vi	Tab af indtægter pga. nedetid	
vs	Virksomhedssubstitutionseffekt	

3.4 Sårbarhed af infrastruktur

I forbindelse med oversvømmelse kan infrastruktur midlertidige stoppe med at fungere og/eller få permanente skader, hvilket vil føre til et længerevarende servicestop. Servicetabet (is) og udbedringerne af skaderne (iu) udgør de samlede skadesomkostninger. Servicetab og

skadesudbedring vil være forskellig for typen af infrastruktur. Eksempler på infrastruktur, der vil have skadesomkostninger i forbindelse oversvømmelse, er angivet nedenfor.

Tabel 3-5. Relevante variable i forbindelse med infrastruktur

Energi: Gas	Jernbaner
Energi: Luftledninger, transformatorstation	Broer
Energi: Telekommunikation	Lufthavne
Vand: Kloaker, regnvandsbassiner, mm.	Havne
Vand: Diger, pumper, mm.	Naturbaserede løsninger & rekreative arealer
Veje	

En generel funktion for skadesomkostninger for en given infrastruktur (o) kan beskrives således:

$$n_{i,o}(f_i, is_o, iu_o)$$

Skadesomkostninger vil være forskellige fra typen af infrastruktur og den service infrastrukturen tilbyder, herunder hvor mange der gør brug af servicen. F.eks. vil en midlertidig oversvømmet vej forsinke brugerne af vejen, hvilket er et tab for både husholdninger og virksomheder. I de fleste tilfælde er det dog muligt at finde omveje, så turen ikke stopper, men blot forsinkes. Anderledes forholder det sig, hvis en transformatorstation oversvømmes, og strømmen afbrydes i et område. I dette tilfælde vil der ikke være nogen substitutionsmuligheder. Pointen er, at servicetab og skadesudbedringer vil være forskellige for forskellige typer af infrastruktur og vil kræve hver sin unikke modelspecifikation.

3.5 Varsling, individuel forebyggelse og beredskab

Som det fremgår af afsnit 3.1, kan varsling, forebyggelse og beredskab ændre på faren, fordi man kan forhindre sårbare genstande i at blive eksponeret. Men varsling, forebyggelse og beredskab kan også benyttes til at mindske sårbarheden. Hvis husholdninger eller virksomheder varsles om en nært forstående oversvømmelse, vil husholdningerne og virksomhederne kunne mindske skadernes omfang ved at fjerne eller beskytte genstande og sig selv fra det område, der oversvømmes. Tilsammen kan disse handlinger beskrives som nedenstående funktion, hvor omkostninger og skader reduceres pga. handlinger i forhold til varsling, forebyggelse og beredskab (vfb).

For en given husholdning vil den samlede skadesfunktion i det tilfælde være som følger:

$$h_{i,e}(\dots) + g_{i,j}(\dots) - vfb(h_{i,e}(\dots)) - vfb(g_{i,j}(\dots))$$

Tilsvarende reduktioner kan gives for andre sårbarheder, hvor der vil være en effekt af varsling og forebyggelse.

3.6 Operationelle skadesmodeller

Som det fremgår af afsnit 3.2 – 3.5 er det matematisk muligt at opstille ret komplekse modeller for skader. I praksis vil disse modeller dog være begrænsede af mangel på data til at validere modellerne. Der anvendes typisk tre typer af data til at opstille og validere modeller:

- forsikringsdata fra historiske hændelser,
- spørgeskemaundersøgelser af personer, der har været ramt af oversvømmelser, og
- teoretiske analyser af, hvordan sårbare elementer påvirkes af oversvømmelser.

Der er metodiske svagheder ved anvendelse af alle tre typer af data. De metodiske svagheder vil i nogen grad afhænge af formålet med modellen. Man kan skelne mellem følgende overordnede formål:

- Opgørelse af den konkrete skade i form af genanskaffelse af genstande, der er blevet beskadigede, herunder bygningsdele,
- opgørelse af den konkrete skade som mennesker mener at have lidt i forbindelse med at have fået beskadiget konkrete genstande,
- opgørelse af en stor oversvømmelse i et større område hvor der er en længerevarende påvirkning af området selv og eventuelt naboer, eller
- opgørelse af det samfundsøkonomiske tab som følge af at et større område bliver oversvømmet, eventuelt flere gange.

Opgørelser af skader baseret på historiske forsikringsdata kan relativt nemt benyttes til det første formål. Der vil være korrektioner i forhold til f.eks. forskelle i bygningernes tilstand og udformning, afskrivning af delvist udtjente materialer, selvrisiko og policernes dækningsområde. Hvis man i stedet ønsker at modellen skal beskrive det tab, som beboerne oplever, vil der være supplerende tab i form af memorabilia, oprydning og rengøring samt den fulde udgift til erstatning af delvist (i henhold til policen) afskrevne materialer, mv. Dermed vil en sådan model opgøre et større tab, end hvis formålet er at beskrive genanskaffelsesudgifterne.

Spørgeskemaundersøgelser vil kunne anvendes til at afdække forskellene mellem disse to formål. Spørgeskemaer er dog dels vanskelige at udforme, så respondenterne svarer på det, man spørger om, og dels vil svarene afhænge af, hvornår man spørger personerne. Hvis man spørger meget kort tid efter hændelsen, vil langtidseffekterne ikke være medtaget, og hvis man spørger efter længere tid, vil svarene potentielt have en bias og i hvert fald være usikre. Dermed kan skøn baseret på spørgeskemaer både over- og undervurdere den samlede skade.

Teoretiske analyser lider naturligt under dels et behov for at simplificere og standardisere, og dels en risiko for at antagelserne omkring f.eks. bygningers udformning er forkerte. Teoretiske analyser vil i princippet kunne give et mere retvisende billede end forsikringsdata, fordi man medtager alle fysiske tab, uanset om de er forsikrede eller ej. Til gengæld kan metoden kun anvendes til at skønne fysiske skader på fysiske anlæg.

Forskellen mellem de to første formål kan ud fra ovenstående beskrivelse synes betydelig. Den er dog relativt let at korrigere fra det ene formål til det andet, og derfor vil disse metoder i det følgende blive betragtet som samme overordnede formål, dvs. at beskrive en konkret skade på konkrete genstande med eventuelle korrektionsfaktorer.

Opgørelser af større oversvømmelser af større områder vil i langt højere grad være genstand for både indirekte og ikke-markedsomsatte tab. Her vil forskellige traditioner for opgørelse af tab have betydning, når de konkrete tab opgøres. I mange af de første projekter om klimatilpasning

fra skybrud blev tabet fra oversvømmelser af grønne områder ikke prissat, og der er stadig ikke tradition for, at borgeres tidsforbrug i forbindelse med oversvømmelser indgår i opgørelser af oversvømmelsers skade. Derimod indgår i mange opgørelser en prissætning af forsinkelser af trafikken, som dermed favoriseres i forhold til andre tab. Endelig indgår i større områder også potentielt indirekte gevinster, ligesom nogle tab på kort sigt vil blive kompenseret for på længere sigt. Der skal derfor i langt højere grad ske en konvertering og fortolkning af data for at kunne opstille en model for oversvømmelse af større områder.

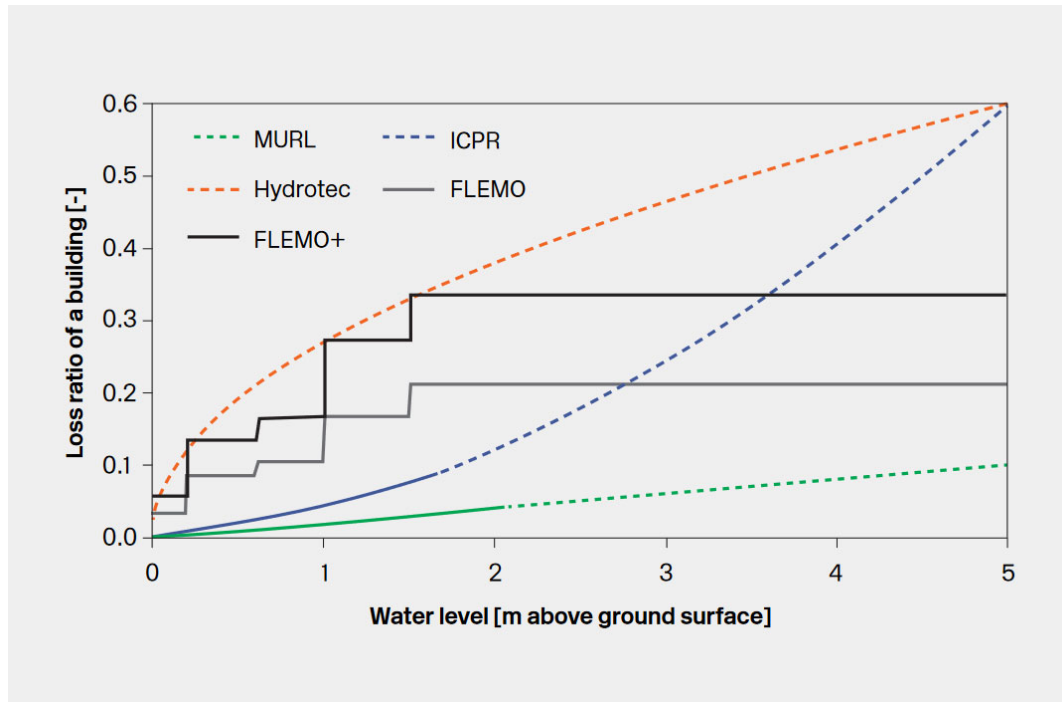
Ved opstilling af det samfundsøkonomiske tab vil udgangspunktet være overvejelserne omkring opgørelse af tab i større områder. Der vil dog komme yderligere overvejelser omkring dynamiske effekter mellem hændelser, herunder især læring hos dem, der har oplevet en oversvømmelse. Endvidere vil der være væsentlige overvejelser, om hvordan forskellige grupper og områder vil blive påvirket af oversvømmelserne, ikke mindst fordi det i høj grad er de samme områder, der rammes igen og igen. For at opfylde formålet med en sådan model vil man dermed også potentielt skulle inddrage, at skadesfunktionerne ændrer sig i visse områder afhængigt af tidligere erfaringer i form af akkumulerede effekter, såvel positive som negative.

I det følgende gives eksempler på skadesmodeller for Tyskland og Storbritannien. De to lande er valgt, fordi disse to lande har arbejdet meget med skadesmodeller, minder en del om Danmark og har anvendt to meget forskellige metoder til at opstille modeller for skadesdata.

3.6.1 Tyskland

I Tyskland har man siden oversvømmelserne i 2002 systematisk indsamlet data fra skader på indenlandske oversvømmelser, mestendels i form af spørgeskemaundersøgelser. I nogle tilfælde indeholder spørgeskemaerne også information om, hvad skaderne har været opgjort til af forsikringsselskaber.

I forhold til skader på bygninger har man fundet, at det er en god model at opgøre skaden som en andel af bygningens samlede værdi. Det antages dermed implicit, at større og dyrere bygninger også har større og dyrere skader end mindre og billigere bygninger. Endvidere er det fundet, at skader for større dybder er relativt dyrere for en-familie huse end huse med flere familier (Thieken, 2008). I Figur 3-1 er vist forskellige modeller baseret på (dele af) de indsamlede data. Som det fremgår, er der en betydelig forskel mellem modellerne. At det er muligt at konstruere så relativt forskellige modeller er et udtryk for, at det underliggende datamateriale har en meget stor variation. Det antyder også, at der i praksis er store begrænsninger i hvor store og detaljerede modeller, man kan opbygge baseret på data.



Figur 3-1. Illustration af modeller af relativ skade for bygninger i forhold til bygningens samlede værdi i udvalgte modeller baseret på tyske data. Figur fra Olsen et al (2017) baseret på Thieken et al (2008).

3.6.2 Storbritannien

I Storbritannien har man valgt en anderledes tilgang til at opgøre skader. Det er gjort i form af at beregne skadesomkostningen teoretisk ud fra en scenariebaseret tilgang. Resultatet er kendt som the Multi-Coloured Manual (Penning-Rowse et al, 2013), som giver en samlet oversigt over, hvordan man beregner skader, risiko og finder passende tiltag. Der er opstillet teoretiske analyser af skader på bygninger, ud fra hvilke der er opstillet ca. 100 skadesfunktioner, hvor den maksimale skade på en bygning afhænger af bygningens alder, type og beboerens sociale status.

3.6.3 Sammenfatning

Det fremgår implicit af skadesmodellerne for Tyskland og Storbritannien, at formålet med de rapporterede modeller har været at modellere genanskaffelsesværdierne ved at tage udgangspunkt i hhv. de oplyste og de beregnede skader og modellere dem bedst muligt.

Der er flere andre lande, man kunne have medtaget i analysen, og der findes endda globale modeller, hvor man for hvert land kan beregne omtrentlige skader ud fra simple input data. Det er dog kendetegnende for skadesdata, at en stor del af de data, der findes, ikke er tilgængelige for offentligheden. De indgår i private firmaers databaser og benyttes til at beregne præmier på oversvømmelsesforsikringer. Blandt andet derfor er de fleste tilgængelige modeller baseret på meget simple sammenhænge eller på teoretiske analyser med ret grove antagelser. Det er i den sammenhæng ikke usædvanligt, at Danmark dels har forskellige metoder for at opgøre skaderne, dels at disse metoder kan give ret forskellige skøn på skaderne.

4. Gennemgang af udvalgte metoder til opgørelser af skader

Følgende kapitel gennemgår de tre typisk anvendte metoder i Danmark til opgørelse af skader ved oversvømmelser: Serviceniveaubekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2022), Oversvømmelsesloven (Kystdirektoratet, 2020) og SkadesØkonomi (Halsnæs et al. 2022a). Metoderne er udvalgt af opdragsgiver. Afsnittet har til formål at beskrive metodernes tilgang til opgørelse af skader, således at centrale ligheder og forskelle anskueliggøres. Nogle af metoderne har indbygget en vis metodefrihed. I hvert tilfælde er der i beskrivelsen taget udgangspunkt i den mest typiske anvendelse af metoden. For hver af metoderne adresseres desuden de væsentligste usikkerheder i relation til de inkluderede skadesmodeller.

Afsnittet forholder sig udelukkende til økonomisk opgjorte skadesværdier, hvor skadesmodellen indeholder en standardværdi og/eller skadesfunktion. For nogle af skadeskategorierne i metoderne er det muligt selv at indtaste skadesværdier, hvor der ikke findes en standardværdi. Disse er ikke behandlet i det følgende. Der tages udgangspunkt i det nyligst opdaterede og offentliggjorte metodegrundlag for hver af metoderne. Indholdet i afsnittet er således afgrænset til information, der er offentligt tilgængelig.

Afsnit 4.1 indeholder en præsentation af centrale forskelle i de tre metoders skadesmodeller. I de efterfølgende afsnit 4.2 - 4.4 følger en nærmere beskrivelse af de tre metoders væsentligste karakteristika samt overordnede tilknyttede usikkerheder. Hvert underafsnit inkluderer dertil en kortfattet beskrivelse af den anvendte metode til vurdering af sårbarhed, og altså hvor udsat et givent område er i forhold til tab og skader ved oversvømmelse.

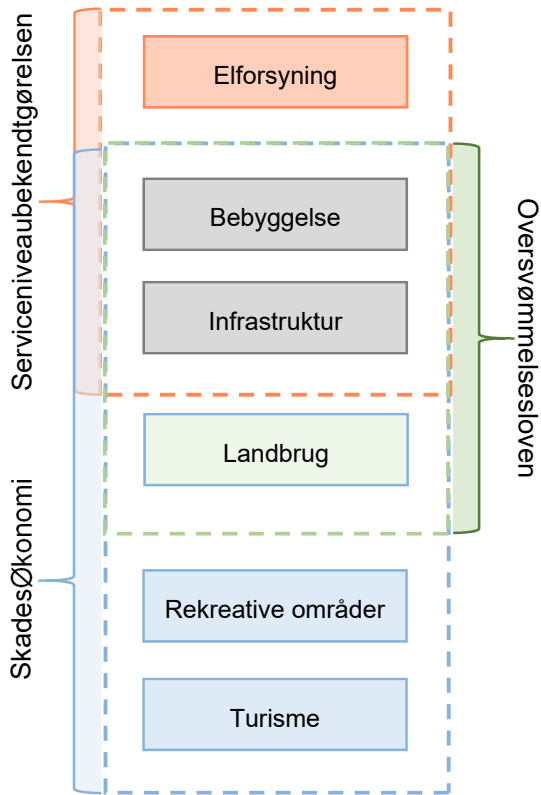
Afsnit 4.5. indeholder en sammenligning af de inkluderede skadesberegningismetoder med det teoretiske udgangspunkt opstillet i kapitel 3. Afsnittet inkluderer en opsummering på tabelform af de tre metoders inddragelse af variable sammenholdt med de teoretiske modeller i afsnit 2.

4.1 Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi

Fra statslig side anvendes der i dag forskellige metoder til risikoberegning, hvoraf de udvalgte metoder udgør tre af de primært anvendte. Eftersom der findes variation i metodegrundlaget for de tre metoder, vil dette naturligt afspejle sig i kommunernes planlægning i relation til klimatilpasning. Hertil vil variationen i det metodiske grundlag følgelig resultere i variation i de tilknyttede usikkerheder, samt hvad der vægtes i større eller mindre grad i de respektive metoder.

En central forskel mellem de tre metoder er hvilke typer af skader, de hver især inddrager i opgørelsen af den samlede, økonomiske skade ved oversvømmelse. Figur 4-1 giver et overblik over, hvilke *overordnede* økonomiske skadeskategorier metoderne hver især inkluderer. Figuren inkluderer økonomiske skadesværdier, hvortil der er knyttet en standardværdi i

metodegrundlaget. For Serviceniveaubekendtgørelsen tages udgangspunkt i de tilknyttede nationale standardskadesværdier¹.



Figur 4-1. Metoder til opgørelse af skader og tilhørende økonomiske kvantificerbare skadeskategorier.

Fælles for de tre metoder er, at de inkluderer skader på bebyggelse og infrastruktur i deres opgørelse, men de bagvedliggende forhold og beregninger varierer på tværs af metoderne. Bebyggelse omfatter i denne sammenhæng bygninger og deres inventar og tab i forbindelse med manglende anvendelse efter en oversvømmelse. Synergier kan findes ved værdisætning af infrastruktur, hvor f.eks. værdisætningen af trafikforstyrrelser ved oversvømmelse stemmer overens mellem metoderne i Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi.

Ud over bebyggelse og infrastruktur inkluderer de tre metoder forskellige skadeskategorier i deres opgørelse af den samlede skade. Serviceniveaubekendtgørelsen inkluderer elforsyning i form af værdisætning af elsvigt, mens Oversvømmelsesloven inkluderer landbrug i form af værdisætning af husdyrbesætning og afgrøder, og SkadesØkonomi inkluderer adgang til rekreative områder og turisme.

Der er altså en del variation på tværs af metoderne og et mere detaljeret overblik findes i Tabel 4-1. Tabellen indeholder for hver metode følgende:

¹ De nationale skadesværdier kan findes på www.klimatilpasning.dk/data.

- **Skadeskategorier.** Angiver den overordnede skadeskategori, f.eks. om det drejer sig om skader på bebyggelse, infrastruktur mm.
- **Subkategorier.** Angiver en subkategori under den overordnede skadeskategori. For bebyggelse er en subkategori f.eks. skader ifm. oversvømmelse af kælder.
- **Forhold.** Angiver eventuelle forhold, som hører til subkategorien, f.eks. om skaden, der er blevet påført, er på privat, erhverv eller offentlig bebyggelse.
- **Dybde.** Angiver den skadesudløsende vanddybde.
- **Dybdeafhængig.** Angiver om skaden er dybdeafhængig. Hvis skaden er dybdeafhængig, varierer skadens omfang med vanddybden, således at skadesomkostninger stiger med vanddybden.
- **Enhed.** Angiver enheden for skadesomkostningen, ofte kendetegnet ved enhedspriser som f.eks. kr./m².
- **Estimat/skadesfunktion.** Angiver enten et estimat for skadesomkostningen eller en skadesfunktion, hvorved et estimat kan beregnes.
- **Kilde.** Angiver kilde for skadeskategoriens tilknyttede skadesestimat/-funktion.

4.2 Serviceniveaubekendtgørelsen

Serviceniveaubekendtgørelsen finder anvendelse i relation til kommunalbestyrelsens fastsættelse af serviceniveau i spildevandsplanen og gælder herved kun for den håndtering af risiko for oversvømmelse ved tag- og overfladevand, som spildevandsforsyningsselskabet i den pågældende kommune har ansvaret for. Det er herved kun spildevandsforsyningsselskabernes projekter med formål om håndtering af tag- og overfladevand, der er omfattet af udarbejdelse af vurdering af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed forbundet med klimatilpasning. Metoden medtager kun direkte og indirekte skader på markedsomsatte værdier i opgørelsen af skadesomkostninger. Ikke-markedsomsatte værdier er herved ikke mulige at anvende i opgørelsen. Oversvømmelsestypen er skybrud, men påvirkning fra vandløb, hav og grundvand kan medtages som f.eks. randbetingelser, hvis det anses nødvendigt for at kunne opstille en retvisende, hydraulisk model. Nærværende oplysninger er baseret på Miljøstyrelsen (2022).

4.2.1 Beskrivelse af skadesværdier/skadesfunktioner

Datagrundlaget for skadesværdierne tager udgangspunkt i forventede skadesomkostninger, som baseres på nationale skadesværdier, såfremt kommuner og spildevandsforsyningsselskaber ikke har mere præcise tal tilgængelig. Hvis kommuner og spildevandsforsyningsselskaber har mere præcise tal tilgængelige skal disse benyttes. Metoden skal dog være konsistent på tværs af hele spildevandsområdet i kommunen.

De nationale skadesværdier for bebyggelse bygger på COWI (2014) og baseres på forsikringsbranchens erstatningsskader og tilknyttede forsikringsudbetalinger, hvor alle adresser, der har modtaget en erstatning, er tilknyttet et adressenummer, bygnings- og eventuelt kælderareal.

Tabel 4-1. Tabellen inkluderer overordnede skadeskategorier samt subkategorier. Der er angivet, om der er tale om en dybdeafhængig skade, samt hvorvidt der for skaden anvendes en skadesværdi eller skadesfunktion. Kolonnen længst til højre angiver kilde for estimat/skadesfunktion.

	Skadeskategori	Subkategori	Forhold	Dybde	Dybde-afhængig	Enhed	Skadesværdi/Skadesfunktion	Kilde
Serviceniveaubekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2022)	Bebyggelse	Oversvømmelse af kælder	Privat	*	Nej	Kr./m ² kælder	578	COWI, 2014. Forsikringsdata for 6 års udbetalte skadeserstatninger (fra 2006-2012) i København og Frederiksberg kommune**
	Bebyggelse	Oversvømmelse stueetage	Privat	*	Nej	Kr./m ² stueetage	1.257	COWI, 2014. Forsikringsdata for 6 års udbetalte skadeserstatninger (fra 2006-2012) i København og Frederiksberg kommune**
	Bebyggelse	Bygningssskade	Erhverv og offentligt	*	Nej	Kr./virksomhed	238.418	COWI, 2014. Forsikringsdata for udbetalte oversvømmelsesserstatninger til virksomheder ifm. skybrud 2. juli 2011**
	Bebyggelse	Drifts-/produktionstab	Erhverv og offentligt	*	Nej	Kr./virksomhed	181.651	COWI, 2014. Forsikringsdata for udbetalte oversvømmelsesserstatninger til virksomheder ifm. skybrud 2. juli 2011**
	Bebyggelse	Tab af løsøre	Erhverv og offentligt	*	Nej	Kr./virksomhed	153.268	COWI, 2014. Forsikringsdata for udbetalte oversvømmelsesserstatninger til virksomheder ifm. skybrud 2. juli 2011**
	Elforsyning	Elsvigt	Privat	***	Nej	Kr./husstand	2.230	Københavns Kommune, 2010**
	Elforsyning	Elsvigt	Offentlige institutioner	***	Nej	Kr./offentlig institution	6.693	Københavns Kommune, 2010**
	Elforsyning	Elsvigt	Erhverv	***	Nej	Kr./virksomhed	6.693	Københavns Kommune, 2010**
	Infrastruktur	Oprydning	Veje, jernbaner og lufthavne	10 cm	Nej	Kr./m ²	3	Kystdirektoratet, 2020**
	Infrastruktur	Trafikforstyrrelse			Nej	Kr./køretøjstime	301	Transportministeriet, 2022*
Oversvømmelsesloven (Kystdirektoratet, 2021)	Bebyggelse	Bygningssskade	Helårsbolig, erhverv, landbrug, fritidshuse og offentlige institutioner	20 cm	Ja	Kr./bygning	$Bygningsværdi * (13,3 * vanddybde + 22) / 100$	Jensen 2009. Data indsamlet ifm. oversvømmelser i Dk i 1973 og 2006 i Sønderjylland, Løgstør og Nordfyn af KDI, 2009
	Bebyggelse	Skade på indbo	Helårsbolig, erhverv, landbrug, fritidshuse og offentlige institutioner	20 cm	Ja	Kr./bygning	$\frac{(X1\% \text{ af bygningsværdien} * 4,4 + 68)****}{100 - 0,68}$	Jensen 2009. Data indsamlet ifm. oversvømmelser i Dk i 1973 og 2006 i Sønderjylland, Løgstør og Nordfyn af KDI, 2009,
	Bebyggelse	Virksomhedstab	Erhverv (industri, butikker og kontorer)			Ja	-	Burzel et al. 2018. Baseret på data fra Danmarks Statistik vedr. erhvervssektorer, aktiver, aktivbeholdninger og værditilførsel pr. medarbejder.
	Infrastruktur	Oprydning	Veje, jernbaner og lufthavne	10 cm	Nej	Kr./m ²	3	Kystdirektoratet 2020. Kvadratmeterpris fastsat efter Aalborg Kommunes oprydning efter det årlige karneval.

	Landbrug	Husdyrbesætning	Kvæg eller svin	80 cm (kvæg) og 10 cm (svin)	Nej	Kr./dyr	5.663 (kvæg) og 1.703 (svin)	Kystdirektoratet 2004. Skadesmodel udviklet af landbrugsrådgivning Syd.
	Landbrug	Afgrøder	Vinter-kornafgrøder, vår-kornafgrøder og græs	10 cm	Nej	Kr./m ²	-	Kystdirektoratet 2004. Skadesmodel udviklet af landbrugsrådgivning Syd
Skadesøkonomi (Halsnæs et al. 2022)	Bebyggelse - stormflod	Helårsbeboelse	Privat	-	Ja	Kr./m ²	$m^2(1167,86 * \log(\text{vanddybde}) - 571,21)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Erhverv	Erhverv	-	Ja	Kr./m ²	$m^2(1387,94 * \log(\text{vanddybde}) - 881,8)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Forsyning	Erhverv og offentligt	-	Ja	Kr./m ²	$m^2(1387,94 * \log(\text{vanddybde}) - 881,8)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Offentlig	Offentlig	-	Ja	Kr./m ²	$m^2(1387,94 * \log(\text{vanddybde}) - 881,8)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Kultur	Erhverv og offentligt	-	Ja	Kr./m ²	$m^2(1387,94 * \log(\text{vanddybde}) - 881,8)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Sommerhus	Privat	-	ja	Kr./m ²	$m^2(1681,71 * \log(\text{vanddybde}) - 2128,87)$	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Garage	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	30.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Anneks	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	30.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Andet	-	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	2.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Ingen data	-	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	2.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - stormflod	Kælder	Privat	20 cm	Nej	Kr./m ² kælder	578	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Helårsbeboelse	Privat	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.257	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Erhverv	Erhverv	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.407	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Forsyning	Erhverv og offentligt	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.407	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Offentlig	Offentlig	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.407	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Kultur	Erhverv og offentligt	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.407	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Sommerhus	Privat	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.249	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Garage	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	3.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Anneks	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	3.000	Kaspersen et al. 2022
	Bebyggelse - Skybrud	Andet	-		Nej	Kr./m ² stueetage	1.000	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - Skybrud	Ingen data	-		Nej	Kr./m ² stueetage	1.000	Kaspersen et al. 2022	
Bebyggelse - Skybrud	Kælder	Privat		Nej	Kr./m ² kælder	578	Kaspersen et al. 2022	

Bebyggelse - vandløb	Helårsbeboelse	Privat		Ja	Kr./m ²	$m^2(389,29 * \log(\text{vanddybde}) - 190,40)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Erhverv	Erhverv		Ja	Kr./m ²	$m^2(462,65 * \log(\text{vanddybde}) - 293,93)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Forsyning	Erhverv og offentligt		Ja	Kr./m ²	$m^2(462,65 * \log(\text{vanddybde}) - 293,93)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Offentlig	Offentlig		Ja	Kr./m ²	$m^2(462,65 * \log(\text{vanddybde}) - 293,93)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Kultur	Erhverv og offentligt		Ja	Kr./m ²	$m^2(462,65 * \log(\text{vanddybde}) - 293,93)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Sommerhus	Privat		Ja	Kr./m ²	$m^2(560,57 * \log(\text{vanddybde}) - 709,62)$	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Garage	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	3.000	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Anneks	Privat	20 cm	Nej	Kr./bygning	3.000	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Andet	-	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.000	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Ingen data	-	20 cm	Nej	Kr./m ² stueetage	1.000	Kaspersen et al. 2022
Bebyggelse - vandløb	Kælder	Privat	20 cm	Nej	Kr./m ² kælder	578	Kaspersen et al. 2022
Værditab	Reduceret salgspris	Privat		Nej	Kr.	4 pct. af salgspris	Nationalbanken 2021
Landbrug	Skader på afgrøder	Erhverv		Nej	Salgspris for afgrøde/ha	-	Kaspersen et al. 2022
Landbrug	Varigt jordtab	Erhverv		Nej	Kr./ha	140.000	Kaspersen et al. 2022
Infrastruktur	Trafikforstyrrelse	Kørsel med forlænget rejsetid	-	Nej	Kr./køretøjstime	301	Transportministeriet, 2021
Infrastruktur	Oversvømmelse af vej	Oprydning pr. meter vej	-	Nej	Kr./m	20	Kaspersen et al. 2022
Rekreative områder	Oversvømmelse af rekreativt område	Adgang til rekreativt område	-	Nej	Kr.	$\text{Omkost.} = \frac{\text{Værdi (kr.)}}{\text{areal (m}^2\text{)}} \cdot \text{oversvøm. areal (m}^2\text{)} * \text{varighed (dage)}$	Zandersen et al. 2020 og Levin et al. 2017
Turisme	Skader på sommerhuse, hoteller, museer, mv.	Tab af indtægter	-	Nej	Kr. /overnatning	$\text{Omkost.} = \text{kapacitet} * \text{antal mistede overnat.} * \text{indtægt pr. overnatning}$	Kaspersen et al. 2022

* Der angives ingen specifik skadesudløsende vanddybde i Serviceniveaubekendtgørelsen. I COWI (2014) benyttes en skadesudløsende vanddybde på 10 cm for bebyggelse.

** Skadesværdierne er opgivet i 2021-værdier (DKK).

*** Elsvigt er baseret på omkostninger ved elforsyningssvigt i fem døgn, og der er herved ikke angivet en udløsende vanddybde for denne skadeskategori.

**** For Oversvømmelsesloven er skaden på indbo beregnet som en lineær funktion, hvor en procentdel af bygningsværdien benyttes ved indborskade på helårsbolig (50%), erhverv (50%), landbrug (15%), fritidshuse (20%) og offentlige institutioner (30%). Værdien i parentes indsættes i ligningen ved "X1".

Enhedsomkostningerne ved oversvømmelse af privat bebyggelse baseres på seks års udbetalte skadeserstatninger (fra 2006-2012) i Københavns og Frederiksberg kommuner. Hvis data benyttes i relation til andre kommuner end København og Frederiksberg, er der tilknyttet visse usikkerheder, som relaterer sig til, hvorvidt opgørelser for København og Frederiksberg er repræsentative for andre kommuner.

Enhedsomkostningerne ved oversvømmelse af erhverv og offentlig bebyggelse baseres på Forsikring & Pensions totalopgørelse for udbetalte oversvømmelseserstatninger i forbindelse med skybruddet den 2. juli 2011. I rapporten gøres der opmærksom på, at der for erhvervsejendomme findes et begrænset datagrundlag, hvorfor der anvendes en simpel tilgang, hvor den gennemsnitlige skadesværdi baseres på det samlede antal virksomheder, der har haft oversvømmelser og tilknyttede forsikringsudbetalinger. Afsnit 3.3. fremhæver, at typen af virksomhed er afgørende for de potentielle omkostninger af en oversvømmelse, hvor virksomheder med et stort og dyrt produktionsapparat og/eller betydelig lagerbeholdning vil have en større skadesværdi ved oversvømmelse. Der kan derfor være visse usikkerheder forbundet med skadesopgørelsen ved at benytte den simple tilgang, da der ikke tages højde for differentierede omkostninger for forskellige virksomhedstyper.

Elsvigt er beskrevet i en rapport udarbejdet for Københavns Kommune i 2010² og er baseret på omkostninger ved elforsyningssvigt i op til fem døgn, hvor skaderne er prissat med et afsæt i samfundsøkonomiske enhedspriser. Kildereferencen fører i flere led tilbage til rapporten Omkostninger ved elforsyningssvigt udarbejdet af Energistyrelsen (2004)³. På nuværende tidspunkt benyttes kun én skadesværdi for hhv. privat husstande, offentlige institutioner og virksomheder, men det må antages, at skadesomkostninger varierer med længden af elsvigt, og hvilken virksomhedstype der udsættes for elsvigtet. Det kræver dog, at data er tilgængelige, før det er muligt at inkludere denne differentiering i sin skadesopgørelse.

Den anvendte oprydningsskvadratemeterpris er baseret på metoden anvendt i forbindelse med Oversvømmelsesloven (afsnit 4.3), som benytter tal for oprydning i forbindelse med Aalborg Karneval. Skadesværdien inkluderer ikke skader forbundet med kraftig beskadigelse eller nyetablering. Det er generelt udfordrende at prissætte oprydning af infrastruktur, hvorfor denne skadesværdi er benyttet. Visse usikkerheder kan dog være forbundet med brugen af denne skadesværdi i relation til generel oprydning af infrastruktur efter oversvømmelse, da det kan overvejes, hvorvidt oprydningsskvadratemeterprisen i forbindelse med Aalborg Karneval er repræsentativ for generel oprydning af infrastruktur.

Beregning af den økonomiske skadesværdi forbundet med trafikale forstyrrelser er baseret på DTU Transports Landstrafikmodel, TERESA, som stilles til rådighed af Transportministeriet. Ud fra den nationale opgørelse er der angivet én skadesværdi for trafikale forstyrrelser, og der tages derfor ikke højde for differentierede omkostninger ved forsinkelse for personer i private og erhvervsmæssige sammenhænge, som må antages at have en betydning for enhedsomkostningen. TERESA har denne differentiering til rådighed, hvor enhedsprisen (kr./time) er væsentlig større ved forsinkelse i erhvervsmæssige sammenhænge sammenlignet

² Muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser (Københavns Kommune, 2010)

³ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/contents/material/file/omkostninger_elsvigt.pdf

med private sammenhæng. De differentierede enhedspriser, angivet i TERESA, kan derfor med fordel benyttes i forbindelse med beregningen af skadesomkostningen ved trafikale forsinkelser. Det bemærkes, at den tid, som borgerne bruger på oprydning mv. efter oversvømmelser, ikke indgår i vurderingerne, da dette tidsforbrug ikke værdisættes under bebyggelser.

4.2.2 Anvendt metode til vurdering af sårbarhed

Den totale økonomiske skade er opgjort pba. skadesværdier for håndgribelige, markedsomsatte skader. Skadesværdierne tager udgangspunkt i forventede skadeomkostninger, og i pkt. 6.3 i bilag 1 til bekendtgørelsen er det specifikt anført, at der ikke er fastlagt niveauer af sårbarhed, for hvornår en skadesværdi, f.eks. et almindeligt parcelhus, regnes med i risikokortlægningen som skadet. Det er ikke fastlagt i bekendtgørelsen, da det kræver et stort lokalkendskab at kunne fastlægge sårbarheden, idet det varierer meget fra område til område. For at metodikken ikke skævvrides for sammenlignelige arealanvendelser, anbefaler Miljøstyrelsen, at der som udgangspunkt anvendes samme niveau for sårbarhed for samme skadesværdityper på tværs af en kommune.

4.3 Oversvømmelsesloven

Indholdet i Oversvømmelsesloven er udarbejdet iht. EU's oversvømmelsesdirektiv og har til formål at vurdere og styre risikoen for oversvømmelser fra hav og vandløb. Kystdirektoratet (KDI) udarbejdede i 2018 en national risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb. Som det opfølgende led i arbejdet med EU's oversvømmelsesdirektiv blev der foretaget en nærmere kortlægning af faren, skaden og risikoen for oversvømmelse i de udpegede risikoområder. Metodegrundlaget skitseret i det følgende bygger på den opdatering af metoderapporten, som blev udgivet i 2020 (Kystdirektoratet 2020) for planperiode 2, som en revision af metoderapporten fra 2013.

Datagrundlaget for identificering af inkluderede skadestyper er for bygningskader og skader på indbo samt virksomhedstab baseret på BBR-udtræk fra 2019. Inkluderede kategorier for infrastruktur er trukket fra Kortforsyningen. Tal for husdyrbesætning og skader på afgrøder er trukket fra Erhvervs- og Landbrugsstyrelsen, hvor der differentieres mellem svin og kvæg ud fra en gennemsnitsbetragtning på tværs af eksisterende undergrupper. Markblokinformationer er differentieret på tværs af tre typer afgrøder.

4.3.1 Beskrivelse af skadesværdier/skadesfunktioner

Skadesmodellen for bygningskade i Oversvømmelsesloven baserer sig på bygningens nedskrevne værdi og beregnes på baggrund heraf som en lineær funktion af bygningsværdien (ejendomsvurdering fratrukket grundværdien) og vanddybden. Skade på indbo er desuden inkluderet for bygningstyperne helårsbolig, erhverv, landbrug, fritidshuse og offentlige institutioner. Anvendelse af dette vurderingskoncept er ensbetydende med geografisk variation, idet to ens bygninger placeret i hhv. by- og landområder vil blive værdisat forskelligt. Dette forhold er gældende for både bygningskade og skade på indbo.

Skadesmodellen for skader på virksomheder beregner den direkte skade på den påvirkede virksomhed som funktion af vanddybden. Modellen omfatter af tab på bygninger, inventar og lagerbeholdninger og differentierer mellem industri, butikker og kontorer i den private sektor.

Selve skadesfunktionen og skadesudløsende vanddybde er beskrevet i metoderapporten af Burzel et al. (2018).

Ved vurderingen af skader på virksomheder er det anvendte inputdata for værdiansættelse af virksomheder koblet op på hovedkontorer for de enkelte virksomheder samt antallet af ansatte tilknyttet det pågældende kontor. Den estimerede skadesværdi er med andre ord koblet op på, hvor mange ansatte der i inputdata er angivet tilknyttet til bygningen. Herved er der altså en central usikkerhed knyttet til differencen mellem det antagne antal medarbejdere i datagrundlaget og det faktiske antal medarbejdere.

Desuden indgår erhverv ligeledes i skadesmodellen for bygninger og indbo, hvorfor der i modellen beregnes skade for berørte erhverv to gange. Den fremkomne skadesværdi vil derfor være et overestimat.

Oprydning af infrastruktur findes ikke pristal for oprydning af infrastruktur, hvorfor den anvendte oprydningskvadratmeterpris er baseret på tal for oprydning ifm. Aalborg Karneval i lighed med Serviceniveaubekendtgørelsen.

Skade pr. husdyr for svin og kvæg er ikke differentieret på undergrupper, men tager udgangspunkt i en gennemsnitsbetragtning på tværs af forskellige undergrupper for hhv. svin og kvæg. Tabet er sammensat af den forventede værdi af dyret ved slagtning samt det produktionstab, der vil følge. Dette sker under antagelse af, at dyrene ikke vil kunne slagtes, hvis de er udsat for oversvømmelse. Inputdata er knyttet til matriklen, men det er ikke muligt at identificere om dyrene befinder sig på oversvømmede arealer eller ej. Hertil er data vedr. antal husdyr og typeangivelse knyttet til matriklerne fra 2015 og må derfor antages at være forældede for nogle områder.

Slutteligt er skader på afgrøder omfattet af to antagelser. Først antages det, at vandet bliver i området i mere end én måned, og dernæst antages det, at oversvømmelsen finder sted i perioden mellem marts og oktober og at området er oversvømmet i minimum én måned. Det fremgår af Kystdirektoratet 2004, at der er betydelig forskel på betydningen af oversvømmelse i hhv. oktober og marts, idet omkostningerne stiger mellem oktober og marts. I rapporten af Kystdirektoratet (2004) dokumenteres ligeledes skader forbundet med oversvømmelse af afgrøder for både 5, 14 og 28 dage. Vanddybde er beskrevet som værende af mindre betydning, idet skaderne i høj grad vil stamme fra øget saltindhold i jorden, men skadesfunktionen antager dog en minimumsvanddybde på 10 cm.

4.3.2 Anvendt metode til vurdering af sårbarhed

Den totale økonomiske skade beregnes ved at summere det totale tab for hver af de inkluderede markedsomsatte skadestyper. Metodegrundlaget for Oversvømmelsesloven inkluderer ligeledes en række u håndgribelige (ikke-markedsomsatte) skadeskategorier, som kan kobles til den estimerede totaløkonomiske værdi estimeret på baggrund af de inkluderede markedsomsatte skadeskategorier.

4.4 SkadesØkonomi

SkadesØkonomi er et open source-værktøj udviklet af DTU gennem COHERENT-projektet og finansieret af Innovationsfonden. Metoden anvendes i dag af omkring 30 kommuner. De anvendte modeller i SkadesØkonomi er GIS-baserede og kan anvendes til beregninger af skader på detaljeret, geografisk niveau. Skadesmodellerne indeholdt i SkadesØkonomi har oprindeligt været udviklet i et innovationsfondsprojekt, særligt mhp. at assistere kommunerne med beregninger af skader ved oversvømmelser ved kysterne. SkadesØkonomi er senere blevet overtaget af GeoData Fyn og en række kommuner, som har videreudviklet modellen i forhold til de inkluderede sektormoduler samt inklusion af data for oversvømmelser fra skybrud.

Skadesmodellerne anvendt i SkadesØkonomi indeholder standarddata, som kan anvendes for de inkluderede skadestyper. Der er dog også mulighed for, at brugeren selv kan indtaste data. Datagrundlaget er udformet som shapefiler.

For bygninger hentes data fra Dataforsyningen (Styrelse for Dataforsyning og Infrastruktur), som angiver lokalitet, omrids og anvendelse. Bygnings-ID fra Dataforsyningen kobles med information om bygningsanvendelse fra BBR. Der findes i alt 120 forskellige bygningsanvendelser, fordelt i to anvendelseskategorier. Samtlige bygningsanvendelser fordelt på anvendelseskategorier fremgår af appendix A i Halsnæs et al. 2021.

Data for vejnet indeholder data for hovedveje og baseres på et nationalt datasæt fra Dataforsyningen. Rekreative arealer er baseret på datasæt, som indeholder lokalitet, størrelse samt økonomisk vurdering af adgangen til en stor andel af større, rekreative områder i Danmark estimeret som en årlig monetær værdi af adgangen hertil for den danske befolkning af Zandersen et al. (2020). Datasættet er udvidet med indhold fra mindre, rekreative arealer fra Basemap02, hvor den monetære værdi er estimeret som produktet af den kommunalt gennemsnitlige værdi estimeret af Zandersen et al. (2020) og det rekreative areals størrelse.

El- og fjernvarmeværker, risikovirkomheder, undervisningsinstitutioner er opgjort baseret på nationale datasæt, som angiver lokalitet og beskrivelse.

4.4.1 Beskrivelse af skadesværdier/skadesfunktioner

SkadesØkonomi er et nyt værktøj, hvor både metodebeskrivelse og vejledning er under et år gamle (Halsnæs et al, 2022a, Kaspersen et al 2022). Der er væsentlige forskelle imellem skadesfunktionerne i de to dokumenter; ikke mindst er skadesfunktionen for bygningskader forskellige i de to dokumenter. Der er derfor rettet henvendelse til udviklerne for at sikre, at nedenstående er en korrekt beskrivelse af skadesfunktionerne. Det er vejledningen, der er mest opdateret, hvorfor det i nogle tilfælde er vanskeligt at rapportere baggrunden for de opstillede skadesfunktioner. En revideret og uddybet metoderapport med mere udførlig dokumentation af data og påpejning af mulighederne for et forbedret datagrundlag er under udarbejdelse.

SkadesØkonomi differentierer mellem skader udløst af stormflod, skybrud og oversvømmelser fra vandløb. Det vil sige, at på tværs af disse tre typer anvendes forskellige skadesværdier eller -funktioner. Nærværende beskrivelse fokuserer på skadesværdier for stormflod.

Der er estimeret skadesfunktioner for helårsboliger, fritidshuse, erhverv, forsyning, offentlig, kultur, sommerhuse, garager, annek, andet og tilfælde, hvor der ingen data findes. For stormflod og oversvømmelser fra vandløb er der estimeret skadesfunktioner (kr. for helårsbeboelse, erhverv, forsyning, offentlig, kultur og sommerhus). For de resterende kategorier er der estimeret en skadesværdi, som udløses ved (standardværdi) 20 cm vand.

Skadesfunktionerne er udarbejdet baseret på, at der for hver bygningskategori findes en gennemsnitlig omkostning for hver 10 cm vanddybde, hvorefter datapunkterne er fittet til en logaritmisk funktion. Funktionerne findes for hver kvadratmeter ved at dividere med det gennemsnitlige antal kvadratmeter for hver kategori. Data anvendt til at estimere skadesfunktionerne for bygninger stammer fra

- Skadesdata fra Stormrådet
- Danmarks Adressers Web API (DAWA)
- Kysdirektoratets højvandsstatistik
- Havvand på Land data (SDFE)

Skadesdata fra stormrådet er anvendt til at estimere skader for bygningskategorierne helårsbolig, fritids- og sommerhus samt erhverv. Der er tale om data for udbetalte forsikringer ved storme fra 2013-2017 på adresseniveau, for bygningsomkostninger og løsøre. Der er udelukkende anvendt data på sager, som ikke er afvist, og hvor adresserne har kunnet findes i enten DAWA eller på Google. I alt er der tale om 2.553 datapunkter.

For erhvervsbygninger har der kun været 206 datapunkter tilgængelige, hvorfor der i stedet er anvendt data om forsikringsudbetalinger for skybrud fra Forsikring og Pensions statistik. Ud af statistikken er størrelsesforholdet mellem skaderne på erhvervsbygninger og helårsboliger fundet til en faktor 3,5. Denne faktor er anvendt til at skalere skadesfunktionen for helårsbolig, under antagelse af, at samme forhold vil være gældende under stormflod (Kaspersen, 2022).

Skadesberegninger for kælder inkluderes, hvis bygningsdatasættet indeholder en kolonne med et kælderareal. I brugervejledningen (Kaspersen et al. 2022) er der ikke knyttet yderligere kommentarer til det metodiske grundlag herfor.

Der er i metoden mulighed for at inkludere ikke-erstattede ekstraomkostninger til udbedring af skader og bygninger på indbo. Denne mulighed er inkluderet med udgangspunkt i en undersøgelse af beboere, som var berørte af stormen Bodil i 2013. Resultater herfra indikerer, at forsikringsudbetalingerne ikke dækkede de fulde omkostninger forbundet med oversvømmelsen, og at de berørte beboere i gennemsnit skulle dække ekstraomkostninger på næsten 35 % af det forsikrede beløb. Det bemærkes i relation hertil, at brugeren har mulighed for selv at indberette en procentsats her som alternativ til de 35 % af det forsikrede beløb. Der vil dog antageligt relatere sig usikkerheder til repræsentativitet i undersøgelsen af beboere berørt af stormen Bodil i 2013.

Værditab for boliger ved salg i en størrelsesorden på 4 % af salgsværdien af huse er baseret på en analyse af Nationalbanken 2021. Der er forholdsvis stor usikkerhed forbundet med vurdering af ejendomsprisernes påvirkning af oversvømmelsesrisici. Usikkerheder knytter sig dels til et

forholdsvis spinkelt datagrundlag for vurdering, og dels det faktum, at fremtidige ejendomspriser må formodes at være påvirket af yderligere en række faktorer. Herunder f.eks. tilgængeligheden af transparent information omkring risikoen for oversvømmelse og bestemte hændelser, samt hvorvidt den finansielle sektor inkorporerer dette i deres risikobetragtning. Det er valgfrit, om brugere af SkadesØkonomi vil anvende modellen for værditab for boliger ved salg, og herunder under hvilke forudsætninger dette gøres.

For garager er der fastsat en fast værdi for skader på 30.000 kr. Tallet er ikke verificeret, og brugere opfordres til at bruge egne data, hvis dette er muligt.

Ekstra rejsetid er estimeret pba. trafikdata på vejstrækningsniveau og en enhedsomkostning på 301 kr./køretøjstime. Beregningen af længere rejsetid er baseret på modelkørsler foretaget af DTU ved at benytte Landstrafikmodellen. Landstrafikmodellen er anvendt til at estimere, hvordan rejsetiden ændres i tilfælde af oversvømmelse af vejnettet, og trafikken bliver langsommere samt alternative rutevalg. Estimererne beror således på en række analyser ved benyttelse af modellen for forskellige stormflodshændelser. Idet at Landstrafikmodellen alene indeholder oplysninger om hovedfærdselsårer, vil der være en sandsynlighed for, at de estimerede skadesværdier for trafikale forsinkelser vil udgøre et underestimat.

Økonomisk tab forbundet med afgrødetab estimeres med udgangspunkt i salgsværdien for den pågældende afgrøde og arealet, som oversvømmes, på de pågældende marker. Der er ligeledes estimeret en værdi for varigt jordtab på 140.000 kr./ha. For både stormflod, nedbør og oversvømmelse fra vandløb tages der udgangspunkt i, at skaderne forbundet hermed kan medvirke til at et område undergår et varigt jordtab ved oversvømmelse svarende til en 5-års hændelse eller mere (med udgangspunkt i det nuværende klima).

De økonomiske konsekvenser forbundet med oversvømmelse af rekreative værdier er baseret på en sammenkobling af data og økonomiske estimater fra Zandersen et al. (2020) og en udvidelse af dette med rekreative arealer fra Basemap02 (Levin et al., 2017). Der er taget udgangspunkt i den gennemsnitlige kommunale værdi pr. m², som kobles med det rekreative areals størrelse. Brugeren skal selv indtaste værdier for varigheden af oversvømmelsen. Omkostningerne forbundet med oversvømmelse regnes således som en funktion af produktet af den estimerede værdi i kr./m², arealets størrelse og varighed af oversvømmelsen. Skadesmodellen er således baseret på nogle forholdsvis simple antagelser. F.eks. i forhold til præferencer for rekreative muligheder (samt heterogenitet i præferencerne), men ligeledes antagelser vedrørende udløsning af skade. Desuden bemærkes det, at de anvendte værdiestimater er baseret på såkaldt rejseomkostningsmetode, som anvendes til udelukkende at estimere brugsværdier af rekreative områder. Værdier, som måtte ligge herudover, er derfor ikke inkluderet med udgangspunkt i den anvendte metode.

Omkostningerne forbundet med mistet turisme ved oversvømmelse er baseret på en simpel funktion, hvor antallet af oversvømmede overnatningsmuligheder ganges med antallet af mistede overnatninger de pågældende steder samt den gennemsnitlige indtægt pr. overnatning i Danmark. Beregningsforudsætningerne anvendt baserer sig på tal fra VisitDenmark (VisitDenmark 2022). Skadesfunktionen udregner omkostningerne som produktet af de tre variable i kroner.

4.4.2 Anvendt metode til vurdering af sårbarhed

Skadesmodellerne i SkadesØkonomi er GIS-baserede og kombinerer herved konsekvenser med tilknyttet økonomisk værdi med en række fysiske indikatorer for konsekvenser, som ikke har tilknyttet en økonomisk værdi. SkadesØkonomi beror således for de økonomisk opgjorte skader på en almindelig CBA-opgørelse, hvor skadesværdierne på tværs af sektorer aggregeres. Både beregningsforudsætninger og datagrundlag varierer betragtelig mellem de enkelte skadesmodeller. Desuden indeholder SkadesØkonomi ud over foreslåede standardværdier mulighed for brugerdefinerede indtastninger.

Som det også påpeget i metodegrundlaget (Halsnæs et al. 2022), er der ligeledes forholdsvis stor variation i, hvor godt de inkluderede skadeskategorier kan repræsenteres på baggrund af tilgængelig viden og data. F.eks. foreligger der for forskellige bygningstyper data fra tidligere stormflodshændelser til repræsentation af bygningserstatninger. Dette er dog ikke tilfældet for samtlige inkluderede sektorer, hvormed estimering af skadesværdier vanskeliggøres.

4.5 Evaluering af skadesberegningerne i forhold til teoretisk model

I det følgende afsnit sammenlignes skadesberegningemetoderne med det teoretiske udgangspunkt med fokus på modellerne opstillet i kapitel 3. Sammenligningen forholder sig til, om beregningemetoderne inddrager variablene skitseret i den teoretiske model, og hvordan disse variable er anvendes. Grundantagelsen er, at de matematiske modeller opstillet i kapitel 3 udgør den mest korrekte ramme for at beregne skaderne af oversvømmelse.

I tabel 4-2 opsummeres, hvordan de tre beregningsmetoder forholder sig til den teoretiske model. Ingen af modellerne er i modstrid med den teoretiske ramme, men der er stadig store metodiske forskelle. Hvis beregningsmetoden indeholder en variabel eller en proxy-variabel beskrevet i den teoretiske ramme, markeres dette med et kryds. Krydset kan være henholdsvis grønt, blått eller rødt, afhængigt af hvorvidt variabelen, der indgår i skadesberegningerne, anvendes på en henholdsvis udmærket måde, en ikke-tilstrækkeligt dokumenteret måde eller en problematisk måde. En "udmærket" anvendelse af variabelen kræver, at data og modelstruktur er dokumenteret på en reproducerbar måde, og at alternative modelformuleringer er undersøgt i forhold til den faktisk anvendte.

4.5.1 Serviceniveaubekendtgørelsen

Skadesomkostningerne i Serviceniveaubekendtgørelsen inddrager ikke elementer af farefunktionen i skadesberegningerne, bortset fra at bekendtgørelsen dækker regnvandsforårsagede oversvømmelser. Der bliver ikke gjort forskel på dybden af oversvømmelsen, strømningsforhold og kinetisk energi, varighed af oversvømmelsen eller mængden af drivmateriale og forurenende fremmedstoffer. Skadesfunktionerne bygger på forsikringsdata indsamlet i forbindelse med skybrudoversvømmelser. Det indebærer bl.a., at der primært er tale om data, hvor vanddybden er lav eller ikke er dokumenteret. Det gør, at denne skadesfunktion formentlig kun bør anvendes til at beregne skader for oversvømmelser med lav vanddybde og forårsaget af skybrud.

Serviceniveaubekendtgørelsen opgør bygningsskaderne i forhold til bygningens størrelse og opdeler kvadratmeterne i forhold til kælder og stueetage. Serviceniveaubekendtgørelsen

inddrager således ikke bygningskvalitet, bygningsalder eller bygningsvedligeholdelse. Derudover er beregningerne ikke dokumenteret på et niveau, hvor det er muligt fagligt at vurdere kvaliteten af enhedstallene. I 2022 forsøgte tre specialestuderende uden held at reproducere enhedsomkostningerne for boliger i COWI (2014), som ligger til grund for Serviceniveaubekendtgørelsen (Brøndum et al., 2022).

Serviceniveaubekendtgørelsen behandler alle virksomheder ens og inddrager bygningskader, driftstab og løsøre. Skaderne opgøres per virksomhed i enhedstal. For den enkelte virksomhed vil et sådant estimat give forkerte beregninger, men hvis en større gruppe af virksomheder eksponeres, vil variationerne udligne hinanden. Det kræver dog, at der ikke er systematiske fejl i enhedstallene. Det er ikke muligt at vurdere, hvorvidt der er systematiske fejl, eller om enhedstallene vil misrepræsentere potentielle skader i konkrete cases pga. mangelfuld dokumentation. Igen vil anvendelsen af enhedstallene skulle begrænses til oversvømmelser med lav vanddybde forårsaget af skybrud.

Metoden i Serviceniveaubekendtgørelsen med udgangspunkt i den nationale skadesværdier muliggør inkludering af elsvigt og transport. Værdien af elsvigt kunne være undersøgt bedre. Det skyldes sandsynligvis, at elsvigt ikke sker særlig ofte i Danmark. Derimod er tab ved transporttid velunderbygget på baggrund af TERESA modellen. Det vurderes derfor, at transporttid behandles udmærket i Serviceniveaubekendtgørelsen. Til gengæld behandles borgernes tid på oprydning og udbedring af skader ikke på samme måde, hvilket giver en metodemæssig skævhed.

4.5.2 Oversvømmelsesloven

Oversvømmelsesloven anvender vanddybde som farevariabel, men inddrager ikke de andre variable beskrevet i den teoretiske model. Det skal i den forbindelse gentages, at vanddybde vil være den dominerende variabel (se afsnit 2.3.1), der beskriver den største variation i forhold til farens omfang for danske forhold.

Bygnings- og indboscader bliver behandlet som en funktion af bygningsværdi (forskellen mellem ejdomsværdi og grundværdi) og vanddybde. Værdien fungerer som proxy for bygningskadeskarakteristika såsom bygningsstørrelse, bygningskvalitet, bygningsvedligehold og bygningsalder. Denne proxy er dog problematisk. Såvel den omfattende videnskabelige litteratur om hedonisk prissætning som Skats betydelige investering i ejendomsværdimodellering viser, at andre variable er dominerende i forhold til ejendommens værdisætning, også selvom Skat indtil videre ikke har ønsket at dokumentere deres ejendomsværdimodeller. Metodisk er det derfor en svaghed, at der vil være regionale forskelle på skadesfunktionerne, som er urealistiske. Endvidere er modellen svær at vedligeholde, fordi den vil være baseret på en sammenhæng, der ændrer sig over tid. Selve skadesfunktionen på såvel bygningskader som løsøre er ikke dokumenteret tilstrækkeligt til, at det er muligt at vurdere troværdighederne af beregningerne.

Virksomheders tab i forbindelse med oversvømmelse bliver modelleret, i forhold til hvor værdiskabende en ansat er for en specifik branche, og hvor mange ansatte der vil være i et givent oversvømmet område. Igen må denne tilgang fortolkes som en proxy-variabel for skader af produktionsapparat, tab af lagerbeholdning og tabt indtjening pga. nedetid. Tilgangen er ikke

dokumenteret i tilstrækkelig grad til, at det er muligt at vurdere troværdigheden af den valgte proxy-variabel-tilgang. Lagerbeholdning i form af afgrøder og husdyr bliver behandlet separat i Oversvømmelsesloven. De særskilte tab for landbruget er ikke dokumenteret tilstrækkeligt til, at de kan valideres.

I Oversvømmelsesloven indregnes oprydningsomkostningerne i forhold til transportinfrastruktur, mens tabet af brugen ikke medregnes som et tab. Ingen andre infrastrukturomkostninger medregnes.

4.5.3 SkadesØkonomi

SkadesØkonomi opdeler oversvømmelseskader i forhold til stormflod fra havet, oversvømmelser fra vandløb og skybrud. Skadesværdier for skybrud er i overensstemmelse med Serviceniveaubekendtgørelsen, hvorfor den ikke diskuteres yderligere. Skadesberegningerne for de øvrige skader inddrager ligeledes størrelse på bygninger og bygningens funktion, f.eks. bolig, erhverv, sommerhus, garage, osv. Skadesberegningerne er ikke tilstrækkeligt dokumenteret til, at det er muligt at vurdere skadesberegningernes troværdighed.

Reduceret salgspris indgår som et særskilt tab, men det er svært at vurdere, hvad tabet i salgsprisen er et udtryk for i forbindelse med oversvømmelse. Der mangler en fyldestgørende diskussion af, hvad salgspriserne repræsenterer for at undgå eventuel "double counting" i skadesberegningerne. Huspristabet kunne eksempelvis repræsentere forventningen til tab i forhold til selvrisiko, eller risikoaversion, manglende forsikringsdækning, osv.

Landbruget behandles eksplicit som i Oversvømmelsesloven. Ydermere behandler SkadesØkonomi også turisme i forhold til tabt indtjening relateret til overnatninger, der ikke kan finde sted på lokaliteter, der er oversvømmede. På den måde antager man dels, at turister tager hjem eller bliver hjemme uden mulighed for at finde alternative muligheder for overnatning, og dels at reparation af de påvirkede hoteller mv. sker øjeblikkeligt. Begge antagelser anses for at være urealistiske, og der vil formentlig kræve en væsentlig indsats at opstille rimelige skadesfunktioner i forbindelse med påvirkning af turisme, der forholder sig til de teoretiske overvejelser i kapitel 2.

Infrastruktur bliver behandlet i forhold til transporttidstab og oprydning og dækker på den måde de skadesberegninger, der hver for sig indgår i Serviceniveaubekendtgørelsen og Oversvømmelsesloven. Rekreative arealer indgår ligeledes i SkadesØkonomi og baseres udelukkende på et enkelt rejseomkostningsstudie og nogle antagelser, som er svære at retfærdiggøre teoretisk. Konsekvensen er at tab af rekreation undervurderes derved formentlig i betydeligt omfang.

Table 4-2. Overblik over hvilke variable Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi inddrager i forhold til de teoretiske modeller i kapitel 2. Farven på markeringen angiver hhv. *udmærket anvendelse af variabel, ikke tilstrækkeligt dokumenteret variabel, problematisk anvendelse af variabel*. En udmærket anvendelse af variablen kræver, at data og modelstruktur er dokumenteret på en reproducerbar måde. Parenteser anvendes, når der tale om proxy-variable.

	Serviceniveau- bekendtgørelsen	Oversvømmel- sesloven	Skades- Økonomi
Fare	Oversvømmelse: Grundvand		
	Oversvømmelse: Regnvand	x	x
	Oversvømmelse: Vandløb		x
	Oversvømmelse: Hav		x
	Dybde af oversvømmelse		x
	Kinetisk energi i vandet		
	Varsling		
	Varighed af oversvømmelse		
	Koncentration af fremmedstoffer mm.		
Bygning	Bygningsstørrelse	x	(x)
	Bygningskvalitet		(x)
	Bygningsalder		(x)
	Bygningsvedligeholdelse		(x)
	Bygningsetage		x
Husholdninger	Materielle tab	x	x
	Immaterielle tab		
	Tabt arbejdstid		
	Genhusning		
	Sygdom		
	Risikoaversion		
Virksomhed	Kontor (vk)	x	x
	Service & handel (vs)	x	x
	Turisme (vt)	x	
	Produktion (vp)	x	x
	Skade på produktionsapparat		x
	Tab af lagerbeholdning	x	x
	Tab af indtægter pga. nedetid	x	
	Virksomhedssubstitutionseffekt		
Infrastruktur	Energi	x	
	Vand		
	Transport	x	x
	Natur & rekreation		
Bered- skab			x
Varsling og beredskab			

4.5.4 Opsamling af evaluering af metoder

Den væsentligste anke imod de eksisterende metoder er, at der mangler dokumentation i forhold til såvel data, som den måde data anvendes på. Derudover er Oversvømmelsesloven

den eneste metode, der forsøger at forholde sig til bygningens tilstand ud over størrelsen. Den proxy, der anvendes, er dog problematisk. Samlet set er det vanskeligt at vurdere skadesfunktionernes troværdighed. Den manglende dokumentation giver sig ydermere udslag i usikkerhed omkring, hvor og i hvilken kontekst de opstillede skadesfunktioner har gyldighed.

Alle beregningerne er afgrænset til genanskaffelsesomkostninger og baseret på forsikringsdata. Den eneste danske undersøgelse af denne afgrænsning påpeger, at denne metode underestimerer de reelle omkostninger for boligområder, hvilket understøttes af internationale undersøgelser.

Alle beregningerne har et bud på udvalgte skadesfunktioner, men beskriver ikke alle sammenhænge opstillet i den teoretiske model. Det kan ikke undgås at give en skæv repræsentation af skader og et fejlestimat af de faktiske skadesomkostninger. Samlet set er det vanskeligt at benytte de undersøgte metoder til vurdering af samfundsøkonomiske analyser.

5. Anvendelse af udvalgte danske skadesmodeller på bygninger

Dette kapitel gennemgår regneeksempler af de tre metoder beskrevet i tidligere afsnit. Eksemplerne opstilles med henblik på at illustrere forskelle og uligheder, der kan opstå ved brug af værktøjerne på tværs af Danmark.

Regneeksemplerne er bygget op om "arketyper" af boliger. Det vil sige, at beregninger foretages for gennemsnitlige boliger i Danmark jf. Danmarks Statistik. Denne tilgang omkring arketyper gør

- at fokus specificeres omkring metoderne for beregning af økonomisk skade, og
- at resultater er uafhængige af de variable, metoderne indeholder, men ikke specificerer, som sårbarhed og modelopbygning, og
- at resultater er uafhængige af de mange kommunekonstellationer, der findes i Danmark.

5.1 Data og antagelser

Der tages udgangspunkt i data fordelt på kommunalplan i Danmark jf. Danmarks Statistik. Fra Danmarks Statistik hentes data om antal boliger (Danmarks Statistik, BOL104), om gennemsnitlige boligstørrelser (Danmarks Statistik, BOL106) og om beskatningsværdier (Danmarks Statistik, ESKAT).

Angivne arealer i Danmarks Statistik er samlede boligarealer, og det vides ikke om, arealerne er fordelt over én, to eller flere etager. Det må derfor antages i de følgende afsnit, at arealerne repræsenterer bygningsaftryk, og alle bygninger dermed er i et plan. Det antages desuden, at kælderarealer er en fjerdedel af boligarealerne. Antagelserne omkring arealer har betydning i anvendelsen af Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi, idet bolig- og kælderareal indgår i skadesberegningerne ved disse metoder. Usikkerhederne ved disse antagelser kommenteres ved resultaterne.

Statistik for bygningsværdier udregnes fra statistik om beskatning. Bygningsværdier (også kaldet forskelsværdi) kan dog kun udtrækkes som totalsum på kommunalplan, og den gennemsnitlige bygningsværdi per bolig findes derfor ved at dividere den totale bygningsværdi for kommunen med antal boliger.

Baseret på den gennemsnitlige bygningsværdi i en kommune udvælges til regneeksemplerne kommunerne med den laveste bygningsværdi, den højeste, samt 25 %- , 50 %- og 75 %- percentilerne (dvs. de bygningsværdier, der gør sig gældende i hhv. mindst 25 % af kommunerne, 50 % og 75 %). De fem kommuner, der svarer til de udvalgte percentiler (inkl. laveste og højeste percentil), er Ærø, Frederikssund, Syddjurs, Sorø og Gentofte, se Tabel 5-1. Data for disse kommuner inkluderes i de efterfølgende afsnit.

Tabel 5-1. Den gennemsnitlige bygningsværdi for landets kommuner er udregnet som basis for disse regneeksempler, og tabellen viser fem kommuner udvalgt på baggrund af percentiler for gennemsnitlige bygningsværdier (ESKAT og BOL104, Danmarks Statistik).

Percentil [%]	Gennemsnitlig bygningsværdi [DKK]	Kommune
1	689.405	Ærø
25	1.072.916	Frederikssund
50	1.184.831	Syddjurs
75	1.317.008	Sorø
100	1.846.832	Gentofte

5.2 Skadesomkostninger for et gennemsnitligt parcelhus med kælder

Den mest almindelige boligform i Danmark er parcelhuse, og det er derfor højst sandsynligt at skader på parcelhuse, vil udgøre den største omkostning i langt de fleste kommunale skadesanalyser for oversvømmelser. Kun i kommuner med større byer med mange etagebyggerier vil parcelhuse ikke være den mest almindelige boligform. Tabel 5-2 viser procentandelen af parcelhuse af det totale antal boliger i de udvalgte kommuner samt gennemsnitlige arealer for parcelhuse.

Tabel 5-2. Gennemsnitligt areal for parcelhuse i de fem udvalgte kommuner og procentandelen af parcelhuse i kommunerne (BOL104 og BOL106, Danmarks Statistik).

Kommune	Areal pr. parcelhus [m ²]	Parcelhuse af boliger totalt [%]
Ærø	149,3	69
Frederikssund	147,9	41
Syddjurs	155,9	46
Sorø	150,7	61
Gentofte	177,1	30

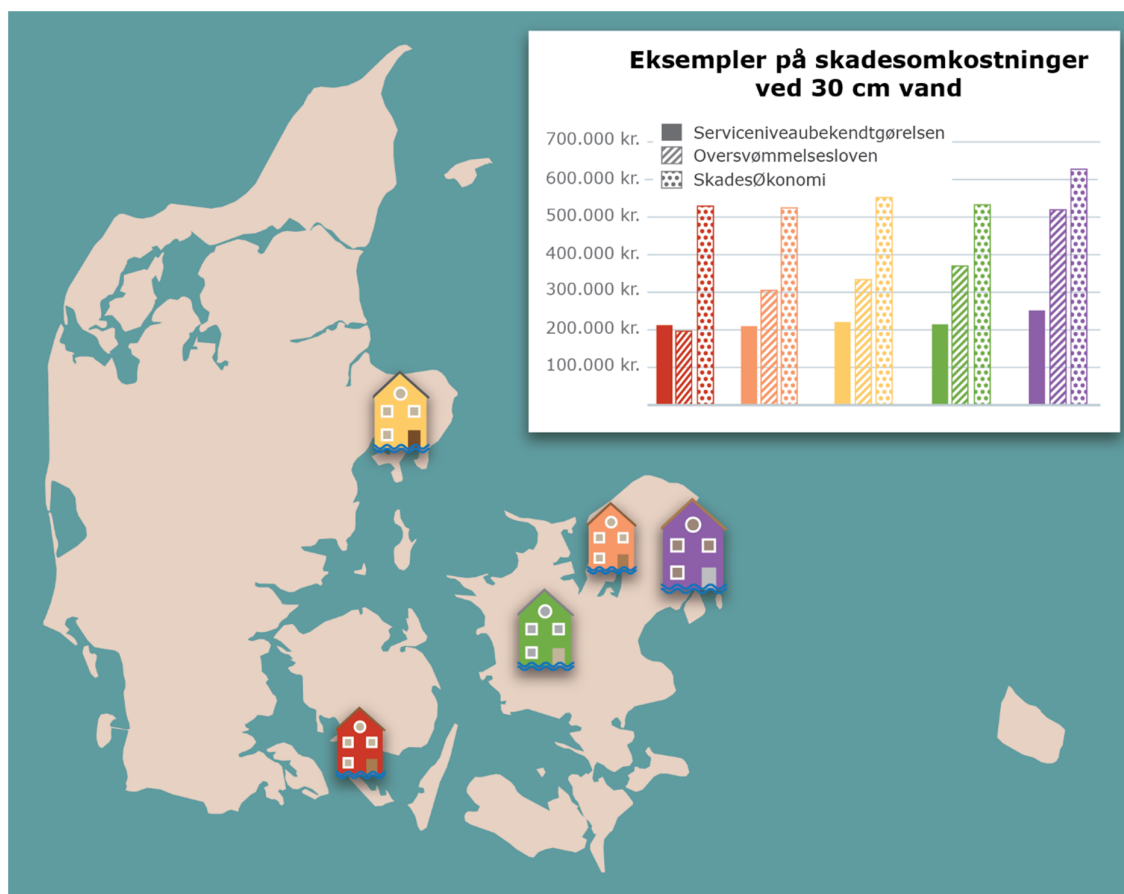
Baseret på ovenstående data anvendes de tre beregningsmetoder for et gennemsnitligt parcelhus med kælder i de udvalgte kommuner. For SkadesØkonomi anvendes kun skadesfunktioner for stormflod. Skadesfunktionerne for skybrud i SkadesØkonomi stammer fra samme metodegrundlag som Serviceniveaubekendtgørelsen og vil i dette regneeksempel for en typisk bolig derfor give samme resultater som Serviceniveaubekendtgørelsen. Alle potentielle skadesomkostninger for en bolig inkluderes. Dvs. regneeksemplet udregnes for bolig inkl. formlen for kælderskade i Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi og inkl. indborskade ved Oversvømmelsesloven. Som nævnt tidligere inkluderer skadesfunktionen for SkadesØkonomi også skader på løsøre/indbo, og formlen for bygningssskade i Serviceniveaubekendtgørelsen inkluderer "inventar" (COWI, 2014). Værditab fra SkadesØkonomi inkluderes ikke.

Figur 5-1 viser et simpelt eksempel på skadesomkostninger ved 30 cm vand for et typisk parcelhus udvalgte steder i Danmark. Variationer i resultater afhænger af bygningsværdier og

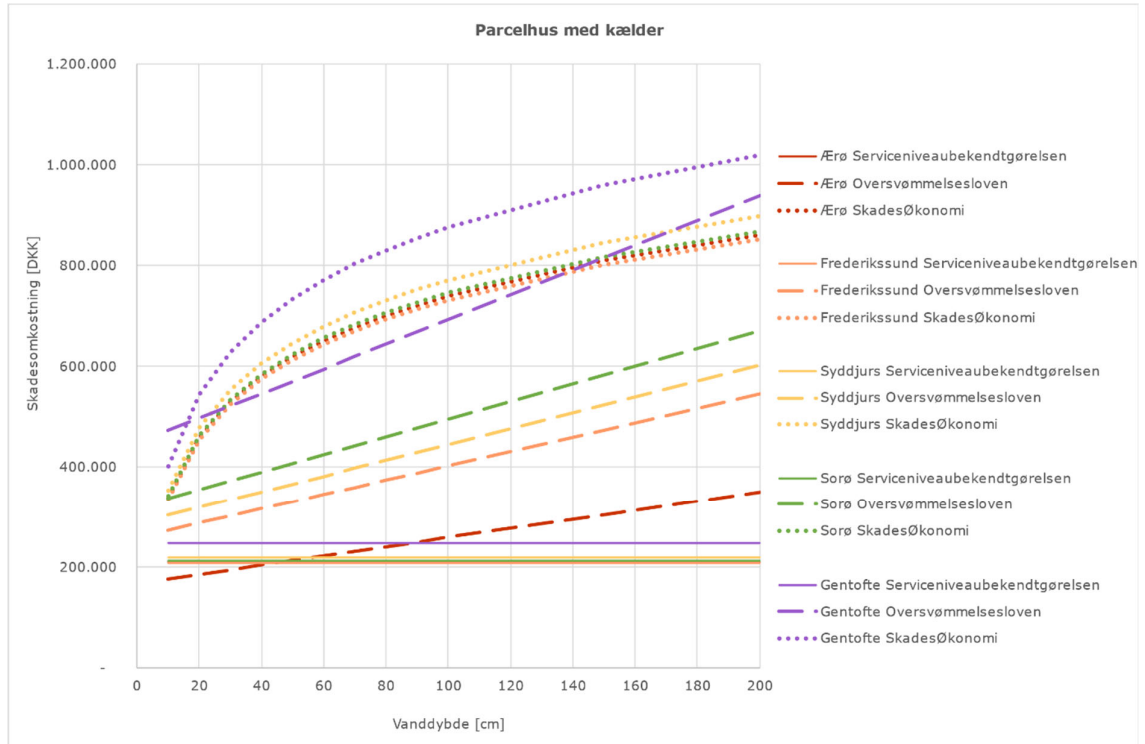
boligstørrelser. Resultater afhængige af alle parametre, inkl. vanddybder præsenteres i Figur 5-2.

Standardværdier for, hvornår bygningskader udløses i Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi er 20 cm, men for at vise udviklingen ved mindre vandstande, såfremt brugeren skulle vælge lavere værdier, vises grafernes udvikling fra 10 cm.

I Figur 5-2 ses, at skadesomkostninger for oversvømmelser typisk ligger i spændet fra 200.000 kr. op til 800.000 kr. (vanddybder op til 1 m) for typiske parcelhuse i Danmark.



Figur 5-1. Danmarks kort med eksempler på skadesomkostninger ved 30 cm vanddybde. Lokationer er udvalgt på baggrund af de gennemsnitlige bygningsværdier i landets kommuner. Ærø Kommune har de gennemsnitligt laveste bygningsværdier, mens Gentofte Kommune har de højeste, og Frederikssund, Syddjurs og Sorø Kommuner markerer hhv. 25 %, 50 %- og 75 %-percentilerne i datasættet. Resultater fra metoden i Service-niveaubekendtgørelsen afhænger af bygningsarealer (se gennemsnitlige værdier i Tabel 5-2), mens resultater fra metoden i Oversvømmelsesloven afhænger af bygningsværdier, og resultater fra SkadesØkonomi afhænger af vanddybder og bygningsarealer.



Figur 5-2. Skadesomkostninger for et typisk parcelhus i kommuner ved anvendelse af de tre beregningsmetoder fra Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi. Udover vanddybder afhænger variationer også af størrelse og bygningsværdier. Bemærk at vanddybden for, hvornår skader typisk udløses er 20 cm i Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi, men der er mulighed for at brugere kan indtaste andre værdier, og derfor vises grafernes udvikling fra 10 cm.

Såfremt man først anskuer skader ved 20 cm og over, viser Figur 5-2 at SkadesØkonomi (prikkede kurver) generelt er den metode, der viser de højeste skadesomkostninger for en enkelt bolig. Resultaterne for SkadesØkonomi flader ud ved større vanddybder og vil på et tidspunkt blive lavere end for Oversvømmelsesloven. Variationen i SkadesØkonomi skyldes hovedsageligt bygningsstørrelsen, og det ses, at det gennemsnitligt større hus (prikkede, lilla kurve) oplever større skadesomkostninger end de andre, mindre huse. Det er vigtigt at bemærke, at antagelserne gjort om boligstørrelser i afsnit 5.1 sandsynligvis fører til en overvurdering i skadesomkostningerne, idet det blev antaget, at alle boliger kun forekommer i ét plan. Det er sandsynligt, at mere retvisende data for bebyggede arealer vil vise mindre arealer og dermed lidt færre skadesomkostninger ved anvendelse af metoden i SkadesØkonomi.

Ydermere bemærkes, at SkadesØkonomi indeholder en "vådperimeterfunktion" (Kaspersen, 2022), som betyder, at minimum 5 % af en bygnings perimenter skal oversvømmes, før en skade udløses. Uden "vådperimeterfunktionen" vil samlede skadesbeløb for et område overestimeres. Dette eksempel tager dog kun udgangspunkt i en enkelt bygning, og det antages, at hvis der ligger minimum 20 cm vand om en bolig, vil vådperimeterfunktionen nås.

Efter SkadesØkonomi er metoden for Oversvømmelsesloven den, der giver de største skader generelt. Større skader ved brug af Oversvømmelsesloven (og stormflodsmoduliet i

SkadesØkonomi) er forventet ud fra en praktisk baggrund om, at både saltvand samt oversvømmelser ved stormflod giver flere skader, idet saltvand i forhold til ferskvand samt den længere varighed af stormfloder giver flere skader i praksis. Kun ved lave bygningsværdier og vanddybder (her rød, stiplede kurve) falder resultater fra Oversvømmelsesloven under resultater fra Serviceniveaubekendtgørelsen. Generelt ses det, at såfremt Oversvømmelsesloven anvendes på tværs af landets kommuner, vil resultaterne i 75 % af kommunerne (stiplede kurver i orange, gul, grøn og lilla) blive større end ved brug af metoden i Serviceniveaubekendtgørelsen.

Metoden i Oversvømmelsesloven er desuden den model, der skaber de største uligheder kommunerne i mellem. Parcelhuse i kommuner med de laveste bygningsværdier oplever en forskel til kommuner med de højeste bygningsværdier på gennemsnitligt 300.000 kr. per bygning allerede ved en vandstand på 20 cm vandstand, og forskellen er stigende med vanddybderne. Kapitel 6 diskuterer ulighederne ved de forskellige metoder yderligere.

Metoden beskrevet i Serviceniveaubekendtgørelsen giver generelt de laveste skadesomkostninger. Med udgangspunkt i de nationale skadesværdier afhænger metoden kun af størrelsen på skaderamte boliger, og skadesomkostninger er derfor konstante uanset vanddybde. Forskelle opstår i de varierende boligstørrelser, der opleves på tværs af landet, og det ses, at de gennemsnitligt større boliger i Gentofte (lilla graf) oplever skadesomkostninger for 45.000 kr. mere end de gennemsnitligt mindre boliger i Frederikssund (orange graf).

Skaderne beregnet ved anvendelse af Serviceniveaubekendtgørelsen er lavere end de to andre metoder, til trods for antagelsen om, at boligarealerne anvendt i beregningerne sandsynligvis er overvurderede. En væsentlig årsag hertil er formentlig, at skadesfunktionen ikke afhænger af dybden, og at det formentlig skyldes, at de data, der er benyttet til at opstille skadesfunktionen, primært er baseret på lave vanddybder. Det bør dog også gentages, at skader fra regnvand vil forventeligt være mindre end skader fra havvand grundet lavere saltindhold og kortere varigheder af oversvømmelser, så nogen forskel i resultater må være at forvente alene på baggrund af farekilden.

5.3 Skadesomkostninger for andre boligtyper

For rækkehuse i de respektive kommuner vil anvendelse af SkadesØkonomi, Oversvømmelsesloven og Serviceniveaubekendtgørelsen typisk give mindre skadesomkostninger end eksemplet for parcelhuse, idet både bygningsværdier og størrelser er mindre end for parcelhuse.

For etageboliger vil resultater variere afhængig af, hvordan forudsætninger for beregningerne defineres. Oversvømmelsesloven kan give forskellige resultater, idet bygningsværdi opgives på bygningsniveau, men da det oftest kun er lejligheder i stueplan, der er udsatte ved en oversvømmelse, bør det overvejes, hvordan man udregner/fordeler bygningsværdier for etageboliger. Ved anvendelse af Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi kan det findes nødvendigt at opdele større sammenhængende etagebyggerier, idet oversvømmelser i én ende af en stor bygning ikke nødvendigvis giver oversvømmelser i den anden ende af bygningen. Derfor kan forudsætninger for beregning af skader på etageboliger og herunder

definitioner af både stue- og kælderarealer give meget varierende resultater. Det er derfor særligt vigtigt at dokumentere alle forudsætninger, når metoderne anvendes på etageboliger.

5.4 Potentielle kontraster inden for samme kommuner

I alle kommuner findes selvsagt små og store boliger med mindre og større bygningsværdier. Udover gennemsnitlige skadesomkostninger for kommunerne på tværs af landet, kan anvendelse af metoderne derfor også give variationer inden for samme kommunegrænse. Nedslag på en lille bolig uden for et byområde i Ærø Kommune i forhold til en stor bolig i et byområde i Ærø Kommune giver en forskel i skadesomkostninger på ca. 270.000 kr. ved brug af SkadesØkonomi ved en vanddybde på 30 cm (se skadesomkostningerne i Tabel 5-3). Ved brug af hhv. Serviceniveaubekendtgørelsen og Oversvømmelsesloven er forskellen ca. 115.000 kr. og 100.000 kr.

Samme øvelse i Gentofte Kommuner, der har særligt store spænd i bygningsværdier, viser, at forskelle i skadesomkostninger mellem små og store boliger ved brug af Oversvømmelsesloven kan være så store som 1.370.000 kr. Ved hhv. Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi er forskellen ca. 190.000 kr. og 520.000 kr., se Tabel 5-3.

Tabel 5-3. Eksempel på forskelle i skadesomkostninger inden for en kommunegrænse ved brug af de forskellige metoder. Ved anvendelse af alle metoderne kan der i kommuner med store spænd i størrelser og især bygningsværdier skabes store uligheder borgerne i mellem.

Kommune	Serviceniveau-bekendtgørelsen		Oversvømmelsesloven		SkadesØkonomi	
	Lille bolig	Stor bolig	Lav værdi	Stor værdi	Lille bolig	Stor bolig
Ærø*	91.000	190.000	94.000	210.000	245.000	514.000
Gentofte**	91.000	284.000	136.000	1.509.000	245.000	769.000

* Et tilfældigt nedslag på en lille bygning uden kælder på Ærø viste en bygning på 72 m² med en bygningsværdi på 334.000 kr. (Skat, 2022), mens et nedslag på en stor bygning viste 151 m² med 745.000 kr. i bygningsværdi (Skat, 2022).

** Et tilfældigt nedslag på en lille bygning uden kælder i Gentofte viste en bygning på 72 m² med en bygningsværdi på 483.000 kr. (Skat, 2022), mens et nedslag på en stor bygning viste 226 m² med 5.350.000 kr. i bygningsværdi (Skat, 2022).

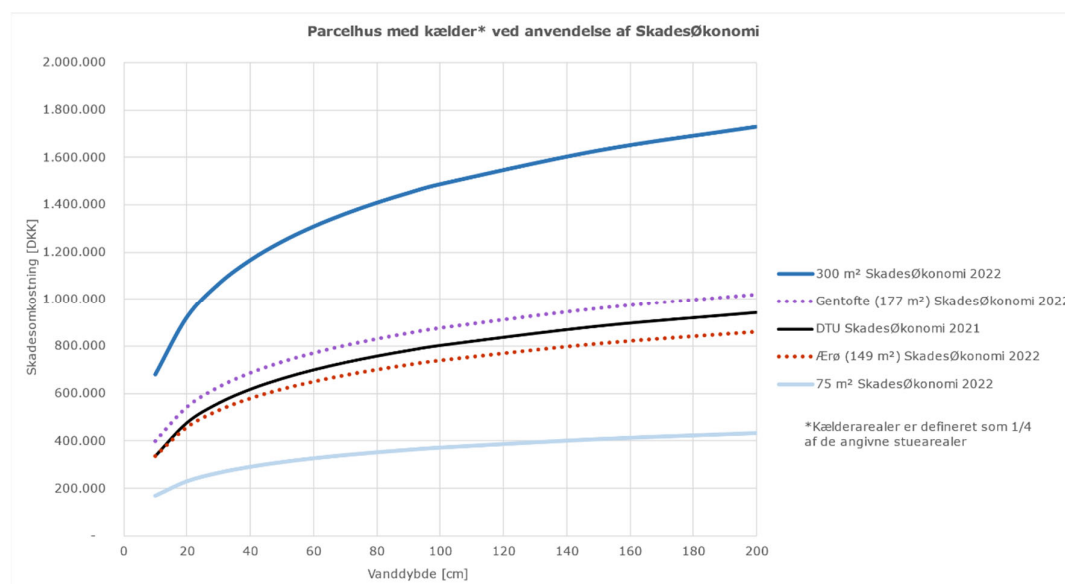
Disse kontraster inden for kommunegrænser medfører, at borgere i samme kommune behandles ulige i planlægningen af klimatilpasningsprojekter. Uligheder diskuteres i Kapitel 6.

5.5 Fordele og ulemper ved at anvende metoderne til at beregne bygnings-skader

Alle tre metoder er baseret på ret simple sammenhænge, hvor faren beskrives ved maksimalt én variabel, og hvor sårbarheden beskrives ved hjælp af bygningens størrelse og/eller bygningsværdi. Alligevel er der ret store forskelle på de angivne resultater. De konkrete

forskelle i beregningerne er diskuteret i de foregående afsnit, mens dette afsnit vil forsøge at perspektivere disse forskelle.

Diskussionen af metoderne tager i nogen grad udgangspunkt i antagelser om det data, der ligger bag metoderne. Bagvedliggende data har ikke været tilgængelige i forbindelse med nærværende analyse, og derved skal sammenligningen tages med et vist forbehold. Dette kan anskueliggøres ved at sammenligne SkadesØkonomi med en tidligere model udarbejdet af samme gruppe på samme data, se Figur 5-3. I den tidligere model antages det, at skadesfunktionen kun afhænger af vanddybden, mens den senere model også afhænger af størrelsen af huset. Den ene model antager altså, at skaden på et hus for en given vanddybde er konstant, mens den anden model accepterer forskelle på op til en faktor 4 mellem meget små og meget store huse (75 m² versus 300 m², se Figur 5-3).



Figur 5-3. Model for DTU SkadesØkonomi (skaden afhænger kun af vanddybden) sammenlignet med skadesfunktionen for SkadesØkonomi, der varierer, som funktion af bygningsstørrelsen.

Metoden i Serviceniveaubekendtgørelsen med udgangspunkt i de nationale skadesværdier er den metode, der giver de laveste skadesomkostninger ved oversvømmelser ved vanddybder over 20 – 50 cm. Det skyldes, at skadesfunktionen ikke inkluderer vanddybden, hvilket formentlig skyldes, at vanddybden generelt er lav, fordi der er tale om oversvømmelser i byområder, hvor der er et afløbssystem til at afbøde vandmængderne. De fleste internationale erfaringer og de to øvrige metoder har en væsentlig afhængighed af vanddybden ved opstillingen af en skadesfunktion. Det skønnes derfor, at metoden i Serviceniveaubekendtgørelsen generelt vil undervurdere skaderne i forbindelse med store vanddybder.

Oversvømmelsesloven modellerer skaden lineært som funktion af vanddybden mens SkadesØkonomi er en logaritmisk funktion, hvilket giver en relativt større skade for dybder mellem 30 og 100 cm. Endvidere ligger SkadesØkonomi generelt højere end Oversvømmelsesloven. Begge disse forskelle afspejler formentlig primært forskelle i

bagvedliggende data og er næppe udtryk for en forskel, der kan bruges til at argumentere for den ene eller anden metode.

Der er en meget stor forskel i den geografiske lokalitet på Oversvømmelsesloven, som ikke i samme grad afspejles i SkadesØkonomi. Det udtrykker en forskel i bygningsværdierne mellem de geografiske områder. Det er velkendt, at huse, der har en høj bygningsværdi generelt, også vil indeholde dyrere materialer og dyrere indbo. De to udenlandske metoder antager også, at der er en sammenhæng mellem bygningsværdi og den økonomiske skade. Det virker dog intuitivt voldsomt, at skaden udelukkende afhænger af bygningsværdien, hvilket medfører meget større regionale forskelle på skadesfunktionen end ved anvendelse af bygningens størrelse. Bygningsværdien på boliger i Danmark varierer meget, og variationerne er ikke primært baseret på oversvømmelsesrisiko. Metoden baseret på Oversvømmelsesloven vil derfor metodisk føre til større forskelle i hvilke klimatilpasningstiltag, der er mulige, fordi områder med lave huspriser generelt vil have vanskeligt ved at retfærdiggøre omkostninger til reduktion af skaderne, mens områder med høje huspriser kan finansiere endog meget dyre klimatilpasningstiltag. Dette emne behandles mere indgående i næste kapitel.

Metoderne har forskellige grader af frihed i forhold til at ændre på konkrete parameterværdier og tilføje eller slette konkrete skadesfunktioner. Oversvømmelsesloven har ingen muligheder for lokal tilpasning, Serviceniveaubekendtgørelsen giver muligheder for justeringer skadesværdier/-funktioner, mens SkadesØkonomi er et helt åbent værktøj. Frihedsgrader i forbindelse med anvendelsen kan ses som en fordel, der kan give mere præcise analyser lokalt. Det kan dog også ses som en ulempe i forbindelse med regionale eller nationale analyser, fordi det kan gøre det sværere at sammenligne mellem forskellige områder. Bygningsværdierne på boliger er et eksempel på en sådan lokal justering, der utilsigtet kan medføre forskelle på regionalt plan.

5.6 Perspektivering til større områder

Regneeksemplerne er som beskrevet opstillet således, at resultater kan vurderes uafhængig af områdekonstellationer. Idet parcelhuse typisk er den mest almindelige boligform i Danmark (se afsnit 5.2), er det dog stadig rimeligt at antage, at anvendelsen af Oversvømmelsesloven på et større område vil give større skadesomkostninger end såvel Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi.

Som beskrevet i afsnit 5.3 kan definitionen af arealer og bygningsværdier i særligt etageboliger være meget vanskelig, og det er muligt, at forsimplinger og overestimeringer af disse kan ændre på "rangeringen" af metoderne i byområder med en høj procentsats af etageboliger. Idet både definitionen af arealer og bygningsværdier kan variere, kan det ud fra dette eksempel ikke siges, om forskellene mellem metoderne vil blive mindre eller større.

Det bemærkes igen, at SkadesØkonomi inkluderer en "vådperimeterfunktion". Det er muligt, at der ved små regnhændelser (lave gentagelsesperioder) med mindre vanddybder og udbredelser ikke beregnes så mange skader som ved de andre to metoder. Ud fra dette eksempel, kan der dog ikke siges noget med sikkerhed om dette.

I forhold til det planlægningsmæssige perspektiv vil det være interessant at undersøge om skadesomkostninger fra oversvømmede, fattigere områder, der typisk har en lav bygningsværdi,

men en høj bebyggelsesprocent, totalt set er sammenlignelige med skadesomkostninger i områder, der har høje bygningsværdier, men lavere bebyggelsesprocenter. Idet antallet af skader i områder med høje bebyggelsesprocenter selvsagt er højere totalt set end for områder med lave bebyggelsesprocenter, kan forskellen i skadesomkostningerne muligvis helt eller delvis udjævnes mellem disse områder. Dette muliggør, at forskellige kommuner i sidste ende afsætter sammenlignelige pengesummer til klimatilpasning, og ulighederne udjævnes en smule (i hvert fald i planlægningsøkonomien).

6. Metodevalg i forhold til ulighedsskabende mekanismer

Klimatilpasning bliver i dag vurderet med udgangspunkt i neoklassisk, velfærdsøkonomisk teori, hvor omkostninger og gevinster holdes op mod hinanden. Ideen er, at konkurrerende klimatilpasningsscenarier kan vurderes i forhold til hinanden. På den baggrund kan den optimale løsning vælges. I den forbindelse indgår undgåede skadesomkostninger som en gevinst, der skal opveje omkostningerne ved forskellige klimatilpasningstiltag. Denne tilgang har sine begrænsninger, blandt andet fordi man ikke analyserer, hvem der får gavn og ulemper af et tiltag. Metoden kan dermed føre til øget økonomisk ulighed fordi fordelingsmæssige aspekter ikke indgår. Det anses for at være et politisk spørgsmål. Resultatet er, at en analyse baseret på velfærdsøkonomisk teori er strengt fokuseret på at optimere velfærd, og samtidig helt ufokuseret når det kommer til ulighed. Her skal velfærd forstås som den samlet nytte/tilfredshed, man opnår ved forskellige tiltag. I den forbindelse kan det foretrukne scenarie sagtens fordele nytten uligt men samtidig give mest muligt nytte, når den samlede nytte summeres.

Inden for visse rammer vil velfærdsøkonomisk analyse ikke resultere i øget ulighed. Her er minimumsrammerne for lighedsfastholdelse i velfærdsøkonomisk analyse:

- Ændringerne eller tiltagene, der analyseres, bør ikke påvirke den fundamentale økonomiske situation eller relationerne mellem nøglevariable, såsom udbud og efterspørgsel på produkter, services og forbrugsgoder.
- Ændringerne eller tiltagene, der analyseres, bør påvirke borgere og virksomheder homogent, således at der ikke er parter, der stilles væsentlig bedre eller dårligere af de tiltag, der anbefales i analyserne.
- Alle parametre og variable, der indgår i analysen, bør være kendt med tilstrækkelig tillid, at forventede modelestimer kan anses som robuste.

I mange økonomiske analyser overholdes disse rammer for lighed, og på den måde afføder beslutninger truffet på et velfærdøkonomisk grundlag ikke økonomisk ulighed. I nogen tilfælde overholdes kriterierne dog ikke. I det følgende tekst diskuteres, i hvilke situationer rammerne overskrides i forhold til klimatilpasning, og dermed kan give udslag i velfærdsøkonomiske anbefalinger, der øger uligheden.

6.1 Ulighed: Fundamental usikkerhed og systemisk risiko skaber ulighed

I det omfang klimatilpasningsprojekter adresserer områder, hvor fundamental usikkerhed og systemisk risiko er til stede, vil beslutninger baseret på cost-benefit analyser føre til ulighed. Det grundlæggende problem vil være at skadesomkostningerne og sandsynlighedsfordelingerne for oversvømmelseshændelser undervurderes (Merz et al, 2015). Når skadesomkostningerne undervurderes, vil cost-benefit analyser pege på løsninger, der reelt fører til underinvesteringer i klimatilpasning. I disse tilfælde er omfanget af risikoen ikke erkendt, og det vil stille risikoudsatte borgere ringere end borgere, der ikke er udsat for risiko. Det vil med andre ord skabe ulighed.

I forbindelse med meget ekstreme klimahændelse, der forekommer yderst sjældent, er det ikke muligt at beregne en sandsynlighedsfordeling for hændelsen. I det omfang man alligevel forsøger at beskrive en sandsynlighedsfordeling for ekstreme sjældent hændelser, vil man (næsten) sikkert gætte forkert.

Systemisk risiko er forbundet med komplekse, indbyrdes afhængigheder mellem forskellige aktører inden for et system. Disse interaktioner kan fremkalde ikke-lineære reaktioner, såkaldte samfundsmæssige "tipping points", hvor der er et før og et efter i systemet. Systemisk risiko handler således om interaktionerne mellem borgere og virksomheder, der til sammen kan ændre systemet fundamentalt. Omkostningerne forbundet med systemisk risiko er således mere end de individuelle skadesomkostninger for borgere og virksomheder, som normalt opgøres i cost-benefit analyser. Velfærdsøkonomiske analyser fungerer inden for en økonomisk ligevægt, og der findes i dag ingen velfærdsøkonomiske redskaber, der kan beskrive udviklinger hvor *status quo* forskydes radikalt som f.eks. i forbindelse med oversvømmelse i Holland i 1953, i New Orleans i 2006 og i Fukushima i 2011.

Pointen er, at ekstremt sjældne hændelser forekommer, og de kan have et omfang, som ændrer samfundet på måder, som neoklassisk velfærdsøkonomi har problemer med at beskrive. Blot fordi man ikke har en robust metode til at beskrive denne typer hændelser, så vil det være en fejltagelse at lade som om, de ikke eksisterer, og det kan potentielt føre til ulighed i risikoeksponering. Ingen af de evaluerede beregningsmetoder (Serviceniveaubekendtgørelsen, Oversvømmelsesloven eller SkadesØkonomi) håndterer systemisk risiko i skadesberegningerne. Det betyder, at alle tre skadesberegninger vil tegne et underestimat af de reelle omkostninger, og i sidste ende kan de føre til en underinvestering i klimatilpasning og derigennem ulighed i forhold til sårbarhed.

6.2 Ulighed: Ulighed skaber mere ulighed

De husholdninger og virksomheder, der er i risiko for at blive oversvømmet, er ikke en homogen størrelse. I en velfærdsøkonomisk cost-benefit analyse vil individuelle, undgåede skadesomkostninger bliver aggregeret med det formål at få et overblik over den samlede gevinst af forskellige klimatilpasningstiltag. I risikoudsatte områder med en beboersammensætning bestående af relativt velstillede husholdninger, der ejer store huse med dyrt inventar og høje lønninger, vil man se en højere gevinst af klimatilpasningstiltag end for risikoudsatte områder, hvor beboersammensætningen består af relativt fattige mennesker, der ejer små huse med billigt inventar og lave lønninger, jf. eksemplerne i det foregående kapitel. Konsekvensen er, at det bedre kan betale sig at beskytte velstillede områder end fattige områder. I det omfang man ikke forholder sig til det faktum, kan det konkret betyde, at velstillede områder sikres bedre end fattige områder.

I det omfang at beboerne i de fattige boligområder bliver opmærksom på den mindre gode beskyttelse, vil det give ressourcestærke beboere en ekstra grund til at fraflytte området. Resultatet kan blive yderligere og/eller hurtigere affolkning af allerede pressede udkantsområder. Det kan også betyde, at beboersammensætningen ændrer sig ved at en mere risikovillig del af befolkningen flytter til udsatte områder, f.eks. ressourcetsvage husholdninger, der ikke har meget at tabe. På den måde kan manglende eller mindre klimatilpasning skubbe på

eksisterende samfundsdynamikker som affolkning og/eller større tab af ressourcestærke husholdninger i sårbare lokalsamfund.

Pointen er, at når husholdninger som udgangspunkt er økonomisk ulige, så vil velfærdsøkonomiske analyser pege på løsninger, der giver yderligere ulighed mellem velstillede og fattige områder. Skadesberegningerne fra Oversvømmelsesloven tager udgangspunkt i bygningsværdier. Det betyder, at dyre boliger vil tælle mere end relativt billige boliger i en velfærdsøkonomisk cost-benefit analyse. Det betyder, at det vil bedre kunne betale sig at klimatilpasse og mindske sårbarheden i regioner eller kommuner med dyre boliger.

Serviceniveaubekendtgørelsen og SkadesØkonomi tager udgangspunkt i enhedstal per kvadratmeter. På den måde tillægges større boliger mere værdi. Det er i sig selv ulighedsskabende, da relativt velstillede borgere ofte bor i større boliger end mindre velstillede borgere. I det oprindelige værktøj, som blev udviklet som led i projektet COHERENT, blev skadesfunktionen sat til at være en skade pr. bolig, hvilket derfor som udgangspunkt vil være mere lighedsskabende end de to analyserede modeller. Man kan dog argumentere for, at denne metode vil diskriminere borgere, der har valgt at sætte en større andel af deres formue i deres bolig end andre borgere.

Oversvømmelsesloven baserer skaderne på bygningsværdierne. Som det fremgår af eksemplerne i det foregående kapitel, giver det en større ulighed end de to øvrige modeller.

6.3 Ulighed: Manglende målbarhed skaber ulighed

Det er relativt nemt at opstille teoretiske modeller, der beskriver omkostninger og gevinster i en cost-benefit analyse. Det kan være langt svære at udfylde sådanne teoretiske modeller med troværdige variable. I det omfang det ikke er muligt at udfylde modellerne med troværdige variable, kan der sås tvivl om cost-benefit analysens anbefalinger. I det omfang data ikke er tilgængelig, eller på anden måde ikke troværdig, bør ambitionsniveauet tilpasses kvaliteten af tilgængelig information. Hvis data er usikker (som det bl.a. fremgår i denne rapport), bør man fravælge at søge at finde et optimum for cost-benefit analysen. I stedet kan resultaterne fortolkes på en måde, at de giver retning til en beslutning - og altså ikke en udpegning af den velfærdøkonomisk optimale løsning. Denne forståelse er til dels reflekteret i Serviceniveaubekendtgørelsen, hvor kravet ikke et optimum, men blot et positiv cost-benefit resultat for valg af serviceniveau.

I omfang man fastholder et højt teoretisk ambitionsniveau i forhold til modelopsætning, kan en af de negative afledte effekter at modellen være ulighed. På grund af datatilgængelighed vil nogle befolkningsgrupper eller aktiviteter optræde i cost-benefit analysen, mens andre befolkningsgrupper og aktiviteter ikke medregnes pga. manglende data. F.eks. er der data på, hvad en times forsinkelse koster i trafikken i forbindelse med oversvømmelse af vejnettet. Den samme time er ikke opgjort for oprydning i egen bolig efter oversvømmelse. Hvis man medtager den ene time, men undlader den anden, tilskrives bilejeres tid mere værdi, end husholdninger, der oversvømmes. På den måde øges uligheden, og nogle menneskers behov for klimatilpasning undervurderes.

Pointen er, at manglende eller mindre troværdig information kan pege på ulighedsskabende løsninger, fordi nogle omkostninger medregnes, mens andre ikke gør. Samtidig kan nogen informationer være så ringe observeret og dårligt dokumenteret, at skadesberegningerne utilsigtet skaber ulighed. Det fremgår tydeligt af figur 4-1 og Tabel 4-1, at ingen af metoderne indeholder en dækkende beskrivelse af den samlede skadesfunktion beskrevet i kapitel 3.

Samtidig er det ikke muligt at vurdere usikkerhederne ved skadesberegningerne, fordi ingen af metoderne er tilstrækkeligt dokumenteret. Nogle af de variable, der indgår i skadesberegningerne, er i sig selv usikre. Bygningsværdien, som indgår i Oversvømmelseslovens metode, lider af betydelig usikkerhed. Denne usikkerhed vil sandsynligvis blive mindsket inden for de kommende år, når Skat får opdateret ejendomsvurderingerne i Danmark. På samme måde har andre variable i alle tre metoder potentiale til at blive opdateret, tilstrækkeligt dokumenteret og gjort mere præcise. Konsekvensen af en sådan øvelse ville være, at utilsigtede målefejl og manglende variable ikke udgør en risiko for fejlvurderinger og ulighedsskabende klimatilpasningsløsninger.

6.4 Opsummering

Det bør anerkendes, at klimatilpasning berører systemisk risiko og fundamental usikkerhed med ekstremt højreskæve fordelinger. De undgåede samlede omkostninger for individuelle borger og virksomheder udgør allerhøjest en nedre grænse for de reelle gevinster af klimatilpasning i mange tilfælde. Systemisk risiko og fundamental usikkerhed bør inddrages i beslutningsprocessen, så der ikke underinvesteres i klimatilpasning.

Eksisterende ulighed giver som udgangspunkt udslag i yderligere ulighed, fordi det bedre kan betale sig at beskytte områder med mange velstillede husholdninger, der har relativt mere værdi at tabe i forbindelse med en oversvømmelse. Løsningen kunne evt. være at udarbejde skadesfunktioner, der sikrer at tab fra velstillede og fattige husholdninger vurderes på samme niveau, eventuelt ved at anvende medianen af fordelingen i forhold til forskellige variable. Dette ville være relevant for de beregningsmetoder der tager udgangspunkt i værdien af oversvømmede bygninger.

Der mangler generelt information i forhold til at opbygge robuste modelestimater, der kan indgå i cost-benefit analyser. De tre modeller, der er diskuteret i rapporten, er udarbejdet på baggrund af forskellige data og med forskellige antagelser. Som minimum bør man foretage en samlet bearbejdning af de data, der indgår i disse modeller og hvor forskellige modelantagelser analyseres, herunder deres påvirkning af ulighed. Alternativt kan man forlade det velfærdsøkonomiske aksiom om velfærdsoptimering, og i stedet fortolke dokumenterede og udokumenterede omkostninger som retningsbestemmende, beslutningsstøttende information.

Spørgsmålet kan således gå fra at finde den optimale højde på et dige, til hvorvidt det giver det mening at lave et dige. Hvis man vælger at gå med en retningsbestemt, beslutningsstøttende tilgang, vil beslutningen i højere grad blive politisk end en velfærdsøkonomisk optimeringstilgang, der har en tendens til at føre til teknokratiske beslutninger med politisk godkendelse.

7. Fremadrettede anbefalinger

Som det fremgår af de tidligere kapitler, er der forskelle i såvel metode som bud på konkrete skadesomkostninger på både bygninger og andre skadestyper. Det er et resultat af såvel manglende data som forskelle i metodisk tilgang. Nedenstående anbefalinger er især rettet mod at styrke vidensgrundlaget for skadesomkostninger i forbindelse med vurdering af klimatilpasningsprojekter.

Om indsamling af data

Vi anbefaler, at skadesdata indsamles struktureret i forbindelse med ekstremvejr - oversvømmelser, og at denne indsamling af data lever op til FAIR principperne.

Der har det sidste årti været ganske mange oversvømmelser i Danmark, og der er gode eksempler på såvel forsikringsdata som spørgeskemaundersøgelser. Problemet er, at data ikke bliver indsamlet og opbevaret på en struktureret og dokumenteret måde. Det ville være af stor værdi at stille krav til en sådan dataindsamling, og at disse data stilles til rådighed for en enhed, der kan varetage opbygningen af skadesfunktioner ud fra de ønskede principper på nationalt plan. Det skal endvidere sikres, at andre enheder kan få adgang til rådata inklusiv metadata, der muliggør opstillingen af alternative hypoteser og videre anvendelse af data.

Indsamlingen af skadesdata og opgørelse af skadesmodeller burde i den forbindelse foregå med udgangspunkt i FAIR principperne (Wilkinson et al. 2016):

- Findable: Data skal være nem at finde og være velbeskrevet i meta-datarapporter.
- Accessible: Data skal være tilgængelige og kunne downloades nemt.
- Interoperable: Data skal kunne kobles med andre typer data som f.eks. BBR-data.
- Reusable: Data skal kunne genbruges og dermed bl.a. anvende åbne datastandarder.

I forbindelse med dataindsamlingen og den videre formidling af data er der nogle sikkerheds- og rettighedsproblematikker, herunder individuel databeskyttelse, der naturligvis bør overvejes. Dette kan løses, men det bemærkes samtidig, at oversvømmelser er tilknyttet ejendomme - ikke personer, og at tilbageholdelse af data ikke er til gavn for en transparent beslutningsproces i forbindelse med klimatilpasning.

Om udvikling af metode til opstilling af skadesfunktioner

Vi anbefaler, at der udvikles en skadesmetode, der tager udgangspunkt i principperne beskrevet i kapitel 2 og 3 og med inddragelse af overvejelser omkring ulighedsskabende elementer, som metoden implicit eller eksplicit indebærer. Analyserne skal sammenlignes med og bidrage til den internationale erfaring på området.

Det anbefales, at der udarbejdes nye skadesomkostningsberegninger, der tager udgangspunkt i den teoretiske gennemgang og med en anvendelse af alle tilgængelige data. På nuværende tidspunkt er forskellen på de eksisterende skadesberegninger og den teoretisk ramme betydelig. De internationale erfaringer tyder på, at skadesfunktioner ofte er ret simple, fordi en væsentlig del af variationen i skader ikke kan beskrives ud fra de målbare indikatorer. Alene det

at lave en samlet analyse af alle data vil dog give en væsentligt bedre model, og sammen med FAIR principperne for opbevaring af data vil det også være muligt at afprøve forskellige teorier for, hvordan modellen kunne se ud.

De udviklede metoder og modeller bør sammenlignes med eksisterende international litteratur og publiceres i ansete, internationale, videnskabelige tidsskrifter. Ud over at opnå en validering ved fagfællebedømmelse vil de danske erfaringer kunne indgå i den videnskabelige diskussion.

Det er væsentligt, at de ulighedsskabende elementer indgår eksplicit i opstilling og diskussion af modellerne. Den bedste model til at beskrive en konkret skade på en givet bygning givet en bestemt fare er ikke nødvendigvis den bedste model til at identificere, hvor og hvordan klimatilpasning i Danmark skal prioriteres.

Om systemisk risiko og ulighed

Vi anbefaler, at der udvikles et beslutningsstøtteredskab, der kan inddrage systemisk risiko og synliggøre og imødegå ulighed i beslutningsprocesser.

På nuværende tidspunkt eksisterer der ikke en metode, der tydeliggør systemisk risiko i forbindelse med ekstreme oversvømmelser. Konsekvensen er, at systemisk risiko ikke inddrages i beslutningsprocessen og på den måde antages ikke at eksistere. Vi anbefaler derfor, at der iværksættes et projekt til udvikling af en metode, der kan supplere eksisterende, etablerede beslutningsstøtteredskaber som f.eks. cost-benefit analyse.

Samtidigt vil det være oplagt at udvikle en metode, der synliggør, hvorledes antagelser og input påvirker ulighed som led i cost-benefit analyser af klimatilpasningsprojekter. På den måde vil beslutningstagere eksplicit få information om, hvordan beslutninger omkring klimatilpasning kan føre til ulighed. I den sammenhæng er det også væsentligt at sætte klare rammer for, hvor og hvordan man kan afvige fra de generelt anerkendte skadesfunktioner til fordel for egne modeller, der potentielt medfører nye ulighedsskabende elementer.

8. Konklusion

Der er ikke lavet et samlet overslag over de økonomiske konsekvenser af klimaændringer i Danmark det seneste årti. Ud fra ældre overslag samt internationale studier er det dog klart, at oversvømmelser vil udgøre den største økonomiske omkostning i forbindelse med klimaændringer. Udenlandske grove skøn tyder på, at omkostningerne i løbet af indeværende århundrede vil løbe op i minimum et tocifret milliardbeløb årligt til skader fra oversvømmelser samt klimatilpasningstiltag. Udgiften er beregnet baseret på, at tiltagene vurderes og iværksættes udelukkende ud fra økonomiske kriterier med henblik på at mindske de samlede udgifter. Det er derfor afgørende at få forbedret grundlaget for analyser af mulige tiltag til at tilpasse sig klimaforandringerne, herunder at vurdere hvad der er et acceptabelt niveau for skader, og om den størst mulige skade kan vurderes med almindelige økonomiske analyser. Der er eksempler på oversvømmelser, der har et så omfattende omfang, at økonomiske analyser ikke alene udgør et tilstrækkeligt grundlag til beslutningsstøtte. Rapporten har ikke som formål at belyse, hvornår oversvømmelser har et sådant omfang, og om de i givet fald kan optræde i Danmark.

Et afgørende element i de økonomiske analyser er at opstille skadesfunktioner, der beskriver den økonomiske skade som følger af oversvømmelser. Nedenfor er kort angivet de væsentligste erfaringer på baggrund af den udførte analyse af det eksisterende grundlag i tre anvendte, danske metoder:

- Skader på bygninger udgør hovedparten af de økonomiske skader fra oversvømmelser i de fleste analyser af oversvømmelsesskader. Derfor er det vigtigt at have gode data og modeller for, hvordan disse skader opstår, opgøres og kan mindskes. Kun derved kan der etableres et godt grundlag for at vælge klimatilpasningstiltag.
- Der er i Danmark flere metoder, der beregner skader på bygninger i forskellige sammenhænge. De tre metoder, der er gennemgået i denne rapport, er alle i overensstemmelse med de internationalt anerkendte principper for opstilling af skadesfunktioner. I forhold til den komplekse problemstilling er de dels ret simple og dels meget ens i deres antagelser. De fokuserer på genanskaffelsesomkostninger, hvilket giver en god beskrivelse af de data, man nemmest kan indsamle og modellere. Disse data er dog kendt for at undervurdere de faktiske skadesomkostninger.
- Omregningen fra genanskaffelsesomkostninger til samfundsøkonomisk skade er ikke trivielt, og der er ikke nogen af metoderne, der overvejer denne omregning. Forskellen kan meget groft beskrives som omkostninger, der hhv. principielt kan forsikres, og den samlede omkostning ved opgørelse af alle fordele og ulemper. Endelig er der ikke rapporteret skøn over usikkerhederne, endsige hvordan modelstrukturen påvirker den efterfølgende samfundsøkonomiske analyse. Endelig undervurderer metoderne formentlig systematisk den samlede skade, fordi den i høj grad er baseret på forsikringsdata. Skadesøkonomi har som den eneste undersøgt denne tendens og skønner, at de faktisk oplevede skader er 35% højere end metoden umiddelbart beregner.

- Metoderne har forskellige grader af frihed i forhold til at ændre på konkrete parameterverdier, herunder at tilføje, ændre eller slette konkrete skadesfunktioner. Frihedsgrader i forbindelse med anvendelsen kan ses som en fordel, der kan give mere præcise analyser lokalt. Det kan dog også ses som en ulempe i forbindelse med regionale eller nationale analyser, fordi det vanskeliggør sammenligning af forskellige områder. Brugen af standardiserede metoder medfører et gennemsigtigt beslutningsgrundlag.
- De undersøgte metoder til beregning af bygnings-skade er alle baseret på at udregne skaden som funktion af en kombination af følgende variable: Oversvømmelsens dybde, bygningens værdi og/eller bygningens størrelse (evt. opgjort på etager). Alligevel er der store forskelle på de beregnede skader; i nogle tilfælde op til fem gange højere skade på samme bygning alene baseret på valg af metode. Forskellene fremkommer både på grund af, at der er anvendt forskellige data, og fordi antagelserne om bygningens værdi og størrelse er forskellige. I forhold til en samlet skadesfunktion for bygninger synes Serviceniveaubekendtgørelsen at mangle en afhængighed af vanddybden. Oversvømmelsesloven og SkadesØkonomi beskriver skadesfunktioner for bygninger ved hhv. bygningens værdi og bygningens størrelse. SkadesØkonomi er den af de to metoder, der mindst øger den regionale ulighed i forbindelse med evaluering af klimatilpasningstiltag, mens Oversvømmelsesloven i højere grad end SkadesØkonomi forsøger at tage hensyn til bygningens egenskaber.
- Det vurderes, at der ikke er nogle af modellerne, der er direkte egnede til anvendelse til nationale skøn for skader for alle typer af oversvømmelser. Som minimum bør der udarbejdes en model baseret på det samlede datasæt, hvor oversvømmelsens dybde indgår i modellen, og hvor modelstrukturen for bygningers skade diskuteres. Endvidere bør modelstrukturen overvejes; især i forhold til fordelingsmæssige aspekter, idet det er påvist, at metoderne har meget forskellige fordelingsmæssige konsekvenser og dermed indirekte vil have stor betydning for, hvor og hvor meget det kan betale sig at lave klimatilpasningstiltag i forskellige dele af Danmark.
- Fremadrettet bør det undersøges, hvilke data, der er tilgængelige og hvilke metoder, der bedst kan anvendes til at analysere data. For at sikre åbenhed omkring beslutningerne bør såvel data som modeller stilles til rådighed for offentligheden.

Referencer

Andersen KJ, Piontkowitz T og Henriksen LS. 2020. Undersøgelse af metoden "Dynamisk planlægning til risikostyring og klimatilpasning" i en dansk kommunal kontekst. Kystdirektoratet, Lemvig. Hentet oktober 2022 fra https://kyst.dk/media/84876/metoderapport-dynamisk-planlaegning_april_2020.pdf

Arnbjerg-Nielsen, K. 2020. Notat udarbejdet på baggrund af samtaler med Københavns og Hvidovre Kommuner i forbindelse med deres pilotprojekt om modning af en digeløsning mod oversvømmelser fra syd. Realdania: Byerne og det stigende havvand. DTU Miljø, Lyngby.

Burzel, A., de Bel, M., Wagenaar, D. & Bachmann, D. 2018. Development of a Model for the Assessment of Costs of Business Interruption. Deltares, Delft. Hentet november 2022 from https://oversvømmelse.kyst.dk/media/284775/deltares-2018_development-of-a-model-for-the-assessment-of-costs-of-business-interruption.pdf

Brøndum C. Jørgensen, M. S., Ladefoged C. (2022): Climate adaptation in the Danish municipalities: Is the current order adequate? Master Thesis. Institute for food and resource economics. Copenhagen University. Supervisors: Mette Asmild and Carl-Emil Pless

COWI. 2014. Enhedsomkostninger ved oversvømmelseskader fra skybrud. Rapport udarbejdet for Forsikring og Pension. Hentet fra <https://docplayer.dk/30598649-Enhedsomkostninger-ved-oversvoemmelseskader-fra-skybrud.html>

Danmarks Statistik. 2022. ADAM – en model af dansk økonomi. Hentet november 2022 fra <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/Publikationer/VisPub?cid=17987>

Danmarks Statistik, BOL104. Boliger efter beboertype, område, tid og anvendelse. Hentet november 2022 fra <https://www.statistikbanken.dk/bol104>

Danmarks Statistik, BOL106. Boliger med CPR-tilmeldte personer (gennemsnit) efter område, enhed og anvendelse. Hentet november 2022 fra <https://www.statistikbanken.dk/bol106>

Danmarks Statistik, ESKAT. Beskatningsværdier og ejendomsskatter efter område og beskatningsgrundlag. Hentet november 2022 fra <https://www.statistikbanken.dk/eskat>

Finansministeriet. 2017. Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. Hentet november 2022 fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/vejledning_i_samfundsøkonomiske_konsekvensvurderinger_2017.pdf

Hallegatte, S., Ranger, N., & Mestre, O. (2011). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. Climatic Change. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-010-9978-3>

Halsnæs, K., Larsen, M.A.D., Dømggaard, M.L., og Kaspersen, P.S. 2022a. Gennemgang af metoder og forudsætninger i modellerne til beregning af skadesomkostningerne ved

oversvømmelser - DTU SkadesØkonomi ArcGIS version og SkadesØkonomi QGIS version. Hentet fra Github 2022.10.02.

Halsnæs, K., Larsen, M.A.D., og Drenck, K.L. 2022b. Samfundsøkonomiske konsekvenser af oversvømmelser og investeringer i klimatilpasning. DTU Management, Lyngby. Hentet november 2022 fra <https://www.klimatilpasning.dk/media/1887277/samfundsøkonomiske-konsekvenser-af-oversvømmelser-og-investeringer-i-klimatilpasning.pdf>

IPPC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. IPCC Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report. Hentet november 2022 fra <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

Kaspersen PS. 2022. Personlig Kommunikation, november 2022.

Kaspersen PS, Halsnæs K, Thomsen BV og Jensen JG. 2022. Brugervejledning til SkadesØkonomi. Version 4, 01.11.2022. Hentet november 2022 fra <https://github.com/Skadesøkonomi/Dokumentation/blob/main/Skades%C3%98konomi%20-%20brugervejledning%20version%204%20-%20november%202022.docx>

KL. 2022. Sammenligning af to programmer til skadesberegninger for oversvømmelser.

Kystdirektoratet. 2020. Metode til kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse. Oversvømmelsesdirektivet, anden planperiode. Kystdirektoratet, Lemvig.

Kystdirektoratet. 2021. Metoderapport for Kystplanlægger. Kystdirektoratet, Lemvig. ISBN nr.: 978-87-7120-078-2

Lautrup, M., Matthiesen, L. L., Jacobsen, J. B., & Panduro, T. E. (2021). Tættere på klimatilpasningens samlede effekter. Forskningsrapport IFRO, KU.

Mercure, J. F., Sharpe, S., Vinuales, J. E., Ives, M., Grubb, M., Lam, A., ... & Nijse, F. J. (2021). Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal. *Global Environmental Change*, 70, 102359.

Merz B, Vorogushyn S, Lall U, Viglione A, Blöschl G. 2015. Charting unknown waters—On the role of surprise in flood risk assessment and management. *Water Resources Research*, 51, 6399–6416, doi:10.1002/2015WR017464.

Olesen, L., Löwe, R and Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). Flood Damage Assessment: Literature review and recommended procedure. Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. Hentet november 2022 fra <https://watersensitivecities.org.au/content/flood-damage-assessment-literature-review-recommended-procedure/>

Penning-Rowsell, E. C., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., Chatterton, J. and Owen, D. (2013). Flood and Coastal Erosion Risk Management, a Manual for Economic Appraisal. Department for Environment, Food and Rural affairs.

Projektet Dataunderstøttet Klimatilpasning, Tema: Hjælpeværktøjer til klimatilpasning. Kommunernes Landsforening, København.

Skat.dk. 2022. Ejendomsvurderinger. Hentet november 2022.
<https://www.vurdering.skat.dk/Ejendomsvurdering>

Thieken, A. H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S. and Merz, B. (2008) 'Development and evaluation of FLEMOps – A new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector', WIT Transactions on Ecology and the Environment, 118, pp. 315–324. doi: 10.2495/FRIAR080301.

Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Hinkel, J., Ward, P. J., Mongelli, I., Ciscar, J., & Feyen, L. (2020). Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe. *Nature Communications*, 11(2119), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15665-3>

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... & Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), 1-9.

