Oversvømmelser i Danmark

Årsager, koblinger og strategier for klimatilpasning

Danmarks Meteorologiske Institut

DMI Rapport 25-04

Kolofon

Serietitel	DMI-rapport 25-04
Titel	Oversvømmelser i Danmark
Undertitel	Årsager, koblinger og strategier for klimatilpasning
Forfatter(e)	Jonas Wied Pedersen Kristine Skovgaard Madsen Hjalte Jomo Danielsen Sørup Cecilie Thrysøe Jian Su Knud-Jacob Simonsen Ole Bøssing Christensen Michael Butts Karsten Arnbjerg-Nielsen
Andre bidragsydere	Grafik: Jagoba Malumbres-Olarte, Luna Zacho, Kristine Skovgaard Madsen
Ansvarlig institution	Danmarks Meteorologiske Institut
Sprog	Dansk
Emneord	Oversvømmelser, koblede hændelser, klimatilpasning
URL	https://www.dmi.dk/publikationer/
ISSN	2445-9127 (Online)
Versionsdato	April 2025
Link til hjemmeside	www.dmi.dk
Copyright	Danmarks Meteorologiske Institut

Indhold

Kolofon **2**

Forord **5**

Opsummering **7**

1. Indledning **9**

2. Hvorfor og hvor forekommer oversvømmelser? **10**
2.1. Vandets kredsløb nu og i fremtiden 10
2.2. Topografiske forhold, der giver mulighed for oversvømmelser 16

3. En oversvømmelsestypologi for Danmark **17**
3.1. Havoversvømmelse 20
3.2. Vandløbsoversvømmelse 21
3.3. Nedbørsoversvømmelser 21
3.4. Grundvand 23
3.5. Teknisk 24

4. Koblede hændelser **25**
4.1. Hvad er "koblede hændelser"? 25
4.2. Forskellige former for kobling 25
4.3. Når oversvømmelser kobler med andre faretyper 29
4.4. Klimaændringers påvirkning på koblede hændelser 29

5. Eksempler på konkrete oversvømmelseshændelser **31**
5.1. Skybruddet i København, 2. juli 2011 32
5.2. Tvillingestormene Dagmar og Egon, 9.-11. januar, 2015 33
5.3. Sekventielle lavtryk over flere uger, 9.-26. februar 2020 35
5.4. Brud på jernbanedæmning ved Kibæk, 26. august, 2022 37
5.5. Største arealmæssige skybrud nogensinde målt, 3. oktober, 2023 38
5.6. Stormflod ved den danske Østersøkyst, 19.-22. oktober 2023 39
5.7. Ekstrem nedbør og flersidige oversvømmelser i Syddanmark, 2.-7. januar 2024 40
5.8. Grundvandsoversvømmelser, vinteren 2023/2024 42
5.9. Esbjerg og Vejle, 27. september 2024 43

6. Løsninger til håndtering af oversvømmelser **44**
6.1. Valg af tilgange til håndtering af oversvømmelse 44
6.2. Strategier med hovedvægt på fysiske tiltag: 46
6.3. Betydningen af koblede hændelser i forhold til valg af strategi 48

7. Konklusion **51**

Referencer **53**

Tidligere rapporter **55**

Bilag 1: Proces for opsætning af oversvømmelsestypologi **57**

1.1. Kortlægning af faretyper i FN-regi 57

1.2. Oversvømmelsestypologi for Danmark 58

Forord

Oversvømmelser forekommer naturligt, og der er flere årsager til, at de opstår. De seneste årtier er der sket en kraftig stigning i såvel antallet af oversvømmelser, som de skader de forvolder både i Danmark og i udlandet. Det udfordrer mange samfund at skulle håndtere denne stigning i risikoen for oversvømmelse, som med sikkerhed vil stige yderligere i de kommende årtier. Såvel nationale som internationale undersøgelser peger på, at stigningen i risiko både skyldes, at klimaet ændrer sig, og at der fortsat sker en udbygning af aktiviteter i områder, der udsættes for oversvømmelser.

Målet for denne rapport er at skabe en bedre forståelse af, hvorfor der opstår oversvømmelser, og hvordan de forskellige dele af vandets kredsløb kan påvirke hinanden i forbindelse med oversvømmelser. En forståelse af det samspil vil styrke erkendelsen af og behovet for helhedsløsninger for klimatilpasning. En særlig problemstilling er, at man allerede nu, men især i fremtiden, vil se, at flere typer af oversvømmelser kan optræde samtidigt og dermed forstærke hinanden. De såkaldte "koblede hændelser".

Med udgangspunkt i en beskrivelse af de fysiske processer sigter vi efter at skabe en bedre forståelse af vandets kredsløb og de mulige sammenhæng, som kan påvirke, hvilke slags oversvømmelser vi kan forvente fremover, og hvad konsekvenserne kan være. Beskrivelserne formuleres ved at brug en klar og overskuelig terminologi, som kan benyttes på tværs af alle aktører i det danske samfund, der arbejder med oversvømmelser.

For at nå ud til en bred kreds af aktører er der valgt at benytte en kvalitativ beskrivelse af oversvømmelsers udbredelse og hyppighed. Kvantificering af både udbredelse og hyppighed af oversvømmelser er et omfattende forskningsfelt, som er under kraftig udvikling.

Terminologien suppleres af en række eksempler på relativt nylige hændelser, der har medført oversvømmelser i Danmark, og det skitseres, hvordan forventede fremtidige klimaændringer forventes at påvirke antallet af oversvømmelser, samt måden de opstår på.

Rapporten er et forskningsprodukt, der er blevet til med økonomisk støtte fra CIP Fonden som led i projektet "Klimatilpasning til oversvømmelser – hvordan organiseres og finansieres det?" Rapporten præsenterer den tilgængelige viden på området. Det er dog erkendt, at der er væsentlige usikkerheder i forhold til de fremskrivninger af klimaeffekter, der beskrives. Det skyldes både manglende viden om, hvor store udledninger, der vil forekomme i fremtiden og også sammenhængen mellem udledningerne og de effekter, de medfører i samfundet, herunder oversvømmelser.

Vi håber, at rapporten vil bidrage til en øget forståelse af de udfordringer, Danmark står overfor, og inspirere til fortsat samarbejde om at udvikle løsninger, der kan gøre vores samfund mere robust og resilient overfor oversvømmelser i en tid med klimaforandringer.

God læselyst
Forfatterne

Opsummering

Oversvømmelser udgør en voksende trussel både i Danmark og i resten af verden. Klimaændringer og byudvikling medfører ikke kun en stigning i hyppigheden og størrelsen af oversvømmelser, men også større kompleksitet i de hændelser, der fører til oversvømmelser. En særlig udfordring opstår ved koblede hændelser, hvor flere faktorer som kraftig regn, forhøjet grundvandsniveau og stormfloder kan optræde samtidigt og forstærke hinanden. Dette kan føre til alvorlige oversvømmelser, der er vanskelige at forudsige og håndtere.

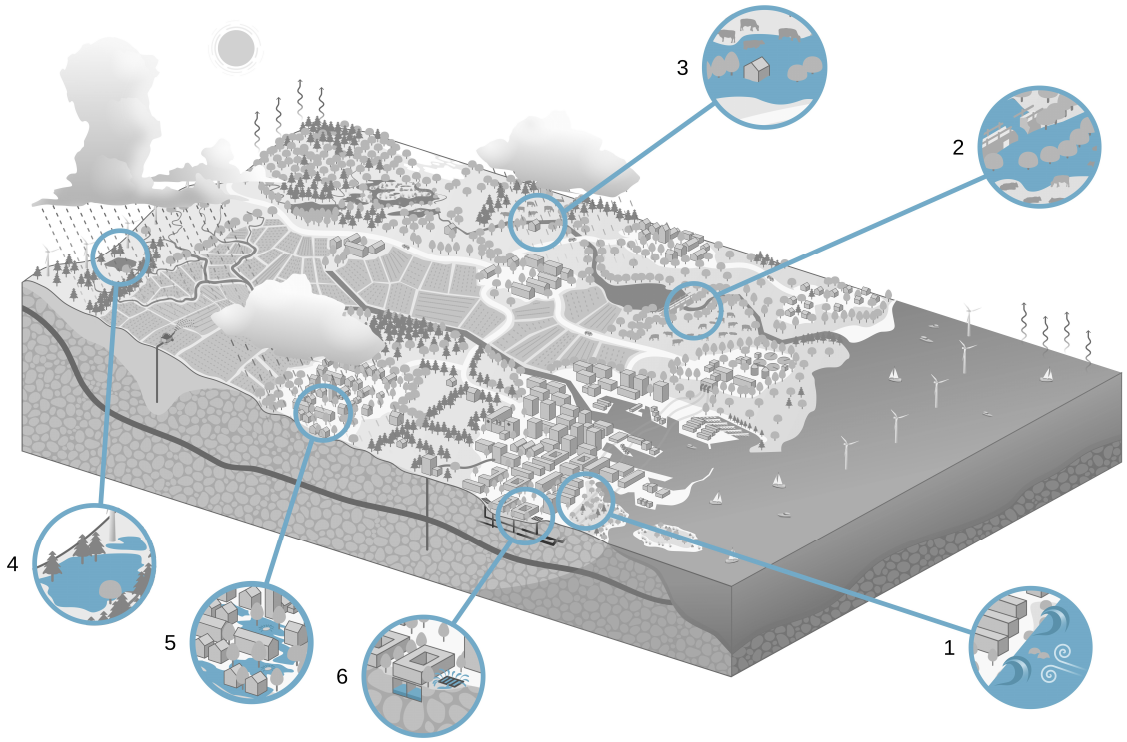
En beskrivelse af oversvømmelser kræver en grundlæggende indsigt i vandets kredsløb, som beskriver, hvordan vand opholder og bevæger sig mellem atmosfæren, jordens overflade, vandløb, søer, i jordlag og havet. Desuden er det vigtigt at forstå, hvordan menneskelige aktiviteter som urbanisering og landbrug kan ændre disse naturlige processer, hvilket kan øge risikoen for oversvømmelser, især i forbindelse med koblede hændelser. På den baggrund beskrives hvilke topografiske, meteorologiske, oceanografiske og hydrologiske forhold, der har særlig betydning for forekomster af oversvømmelser.

For danske forhold anbefales det fremadrettet at anvende følgende betegnelser for forskellige typer af oversvømmelser ud fra årsagen til, at oversvømmelsen forekommer:

1. Havoversvømmelser, hvor årsagen primært er forhøjet vandstand langs kyster.
2. Vandløbsoversvømmelser, hvor årsagen primært er overbelastning af vandløb og søer.
3. Nedbørsoversvømmelser, hvor nedbørshændelser medfører strømning på overflader eller i rør, og som samles i lavninger.
4. Grundvandsoversvømmelser, hvor terrænnært grundvand stiger til et niveau, hvor der er skader enten tæt på eller over overfladen af terrænet.
5. Tekniske oversvømmelser, hvor infrastruktur fejler, fordi det belastes på måder, som ikke er taget i regning under dimensionering og konstruktion af det pågældende element.

Typerne af oversvømmelser er angivet på Figur 1. Kobling mellem betegnelse og årsag indebærer, at koblede hændelser beskrives ved at nævne hver af årsagerne som type. Et eksempel herpå er, at det i vintermånederne er muligt at have en kombineret Hav- og Vandløbsoversvømmelse.

Indenfor blot de seneste 15 år har Danmark oplevet en række store oversvømmelser, som omfatter alle ovennævnte typer af oversvømmelser. Hændelserne viser også, at koblinger mellem forskellige typer af oversvømmelser ikke blot er teoretisk mulige, men også forekommer i virkeligheden. Koblede hændelse er kendetegnet ved, at den samlede skade er blevet større, fordi flere årsager bidrager til den samlede effekt. I fremtidens klima vil der være væsentligt flere og større koblinger mellem de forskellige typer af oversvømmelser. Hver type af oversvømmelser vil forekomme over større dele af året, og det giver en mulighed for, at flere typer af hændelser optræder samtidigt. I nogle tilfælde vil det endog være de samme meteorologiske forhold, der medfører en samlet større oversvømmelse, fordi flere årsager spiller sammen. Det vil derfor for mange konkrete oversvømmelser være vanskeligt at udpege en enkelt årsag til hændelsen, idet flere årsager bidrager til den samlede effekt.



Figur 1. Illustration af de forskellige typer af oversvømmelser. 1: Havoversvømmelse, 2: Teknisk Oversvømmelse, 3: Vandløbsoversvømmelse, 4: Nedbørsoversvømmelse fra dagsregn, 5: Nedbørsoversvømmelse fra skybrud, og 6: Grundvandsoversvømmelse. Som skitsen er udformet kan 4, 5 og 6 både være Nedbørsoversvømmelser og Grundvandsoversvømmelser.

En gennemgang af udvalgte historiske hændelser viser, at der kan være tale om ganske voldsomme effekter, herunder nogen man ikke har været forberedt på kunne ske i forbindelse med oversvømmelser. For at skabe overblik af disse koblede hændelser kan man ud fra fysiske overvejelser skelne mellem forskellige typer af koblinger: Multivariate, Forudbetingede, Sekventielle og Geografisk spredte hændelser. Der er behov for øget viden om effekter af hver type af oversvømmelser som følge af klimaændringer og især hvilke koblinger, der vil dominere i fremtiden. Den manglende viden omkring koblingernes betydning er dog ikke et argument for at forsinke eller mindske indsatsen for klimatilpasning. Der er robust evidens for, at effekten af hver type af oversvømmelser vil stige, og at flere koblinger medfører et behov for en helhedstænkning i den kommende klimatilpasning. I nogle tilfælde vil den mest oplagte strategi for at håndtere en type af oversvømmelse gøre håndtering af en anden type oversvømmelse mere vanskelig.

Havoversvømmelser er med stor sikkerhed den største udfordring i fremtiden. Tilpasning til denne udfordring vanskeliggøres af, at flere typer af koblinger til flere andre typer af oversvømmelser forventes at optræde samtidigt med Havoversvømmelser i fremtiden. Klimatilpasning består netop i at balancere forskellige muligheder, udfordringer og risici på forskellige tidsmæssige og geografiske skalaer. Vi håber, at nærværende rapport kan bidrage til, at der i Danmark er etableret et sprog og en større fælles forståelse for udfordringerne, der gør det lidt nemmere for relevante aktører sammen at have de dialoger, der er nødvendige for at beslutninger kan træffes på et oplyst grundlag.

1. Indledning

Oversvømmelser udgør en voksende trussel både i Danmark og i hele verden. Klimaændringer og byudvikling medfører ikke kun en stigning i hyppigheden og intensiteten af oversvømmelser, men også et større kompleksitet i de begivenheder, der fører til oversvømmelser. En særlig udfordring opstår i form af koblede hændelser, hvor flere faktorer som kraftig regn, forhøjet grundvandsniveau og stormfloder kan optræde samtidigt og forstærke hinanden. Dette kan føre til alvorlige oversvømmelser, der er vanskelige at forudsige og håndtere.

En væsentlig forudsætning for at kunne håndtere oversvømmelserne er en effektiv planlægning og respons før, under og efter en oversvømmelse. Forebyggelse og genopretning kræver klare beskrivelser af oversvømmelsens indvirkning på f.eks. infrastruktur, boliger og landbrug.

En god beskrivelse af oversvømmelser danner således grundlaget for en effektiv og sammenhængende håndtering af denne store udfordring, som samlet set vil kunne øge samfundets modstandsdygtighed over for fremtidige oversvømmelser. En beskrivelse af oversvømmelser kræver en grundlæggende indsigt i vandets kredsløb, som beskriver, hvordan vand bevæger sig mellem atmosfæren, jordens overflade, vandløb, søer, i jordlag og havet. Desuden er det vigtigt at undersøge, hvordan menneskelige aktiviteter som urbanisering og landbrug kan forstyrre disse naturlige processer, hvilket kan øge risikoen for oversvømmelser, især i forbindelse med koblede hændelser. På den baggrund beskrives hvilke topografiske, meteorologiske, oceanografiske og hydrologiske forhold, der har særlig betydning for forekomster af oversvømmelser.

FNs kontor for katastrofehåndtering har udarbejdet en global liste over hvilke farer, et samfund bør overveje at håndtere i form af at mindske risici. Ved at sammenligne den med danske forhold, opstilles en samlet typologi for oversvømmelser, som giver en enkelt og forståelig beskrivelse af hvilke hovedårsager, der er til den pågældende oversvømmelse, samt hvilke koblinger til andre årsager, der har potentiale til at forøge den samlede oversvømmelse.

Typologien for oversvømmelser giver mulighed for også at beskrive, hvordan enkelte klimatilpasningstiltag bør forholde sig til potentielle tilsigtede og utilsigtede konsekvenser for lokale oversvømmelser på tværs af oversvømmelseskilder. Denne viden er afgørende for at udvikle effektive tilpasningsstrategier og beskyttelsestiltag, der kan mindske de alvorlige konsekvenser for både samfund og miljø. Opgaven er især kompleks i forbindelse med såkaldte koblede hændelser, hvor flere faktorer bidrager til den samlede oversvømmelser, og hvor det dermed kan være vanskeligt at håndtere oversvømmelserne både organisatorisk og praktisk.

2. Hvorfor og hvor forekommer oversvømmelser?

EU's direktiv om oversvømmelser angiver følgende definition:

”En oversvømmelse er en midlertidig vanddækning af arealer, der normalt ikke er dækket af vand.” (EU, 2007).

Andre definitioner knytter oversvømmelser tættere sammen med en skadevoldende effekt (f.eks. Miljø og Ligestillingsministeriet, 2020). Det indebærer, at man for nogle arealanvendelser kan have oversvømmelser under terræn (f.eks. i kældre i bygninger), og ved andre arealanvendelser vil en oversvømmelse først optræde ved et bestemt niveau af vand over terræn (f.eks. ved sokkelkoten på en bygning i et lavtliggende område).

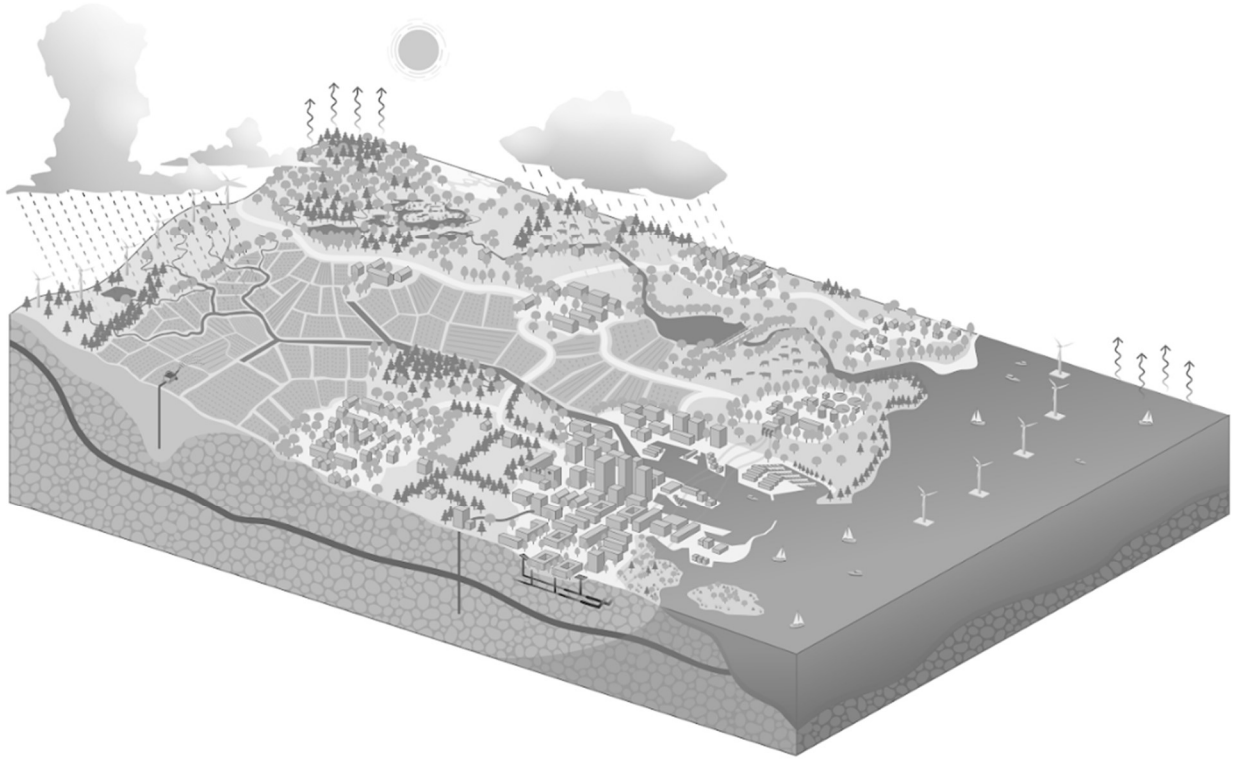
EU-direktivet og de fleste andre definitioner konstaterer samtidigt, at oversvømmelser er et naturfænomen, som ikke fuldstændigt kan forhindres, men at risikoen kan reduceres. Nogle menneskelige aktiviteter bidrager til, at oversvømmelsesrisikoen øges. F.eks. i form af menneskeskabte klimaændringer, et stigende antal bebyggelser og økonomiske aktiviteter i oversvømmelsestruede områder og ændrede dræningsforhold.

Dette kapitel beskriver forudsætningerne for, at oversvømmelser kan forekomme. Udgangspunktet er, at alt vand på Jorden bevæger sig i et kredsløb, og at det er nødvendigt at forstå de primære mekanismer, der påvirker bevægelserne. Det giver mulighed for at forstå hvor og hvornår, der er mulighed for ekstreme, men stadigt naturlige forekomster af vand nogle steder. Ved samtidigt at beskrive jordens topografi og geologi giver det mulighed for at beskrive hvilke arealer, der fysisk kan blive påvirket af oversvømmelser i kortere eller længere tid. Beskrivelsen er kortfattet og tager udgangspunkt i de forhold, som gælder for Danmark.

Det bemærkes, at mennesker både direkte (f.eks. via vandinfrastruktur) og indirekte (f.eks. via klimaændringer) påvirker hvilke områder, der står permanent dækket af vand. Dermed kan definitionen medføre, at de arealer, der kan blive oversvømmet, vil ændre sig, efterhånden som områder enten bliver dækket af vand permanent, eller at oversvømmelser af et område ikke længere er mulige. Det indebærer, at den præcise placering af en kystzone, en vandløbsbrink og udbredelsen af et vådområde kan variere over tid. Sådanne ændringer er ikke diskuteret i nærværende rapport.

2.1. Vandets kredsløb nu og i fremtiden

Vandets kredsløb er en naturlig proces, der påvirkes af menneskelig aktivitet. Kredsløbet er fundamentalt for Jordens klima, og dermed hvor mennesker og andet liv kan udfolde sig. Beskrivelsen nedenfor fokuserer først på hvilke naturlige processer, der forekommer, dernæst på hvordan mennesker direkte påvirker kredsløbet via indgreb, og endeligt hvordan mennesker indirekte påvirker kredsløbet via udledning af drivhusgasser og deraf følgende klimaændringer. Kredsløbet er skitseret i Figur 2, hvor både processer og reservoirer er angivet.



Figur 2: Illustration af vandets kredsløb, de reservoirer der holder vandet, samt de processer der flytter vand rundt internt og på tværs af reservoirerne. Skitsen indeholder bl.a. havvand, grundvand (herunder indtrængende saltvand fra havet), sne, søer og vandløb, samt vand i atmosfæren. Endvidere vises menneskelige aktiviteter i form af f.eks. vandindvinding til byer og landbrug, dæmninger og regulering af kyster, vandløb og dræning. Figuren anvendes som basis for den efterfølgende opstilling af klimaændringer, typologi for oversvømmelser, og eksempler på klimatilpasningstiltag.

Vandets naturlige kredsløb

Man kan opdele kredsløbet på flere måder, men beskrivelsen nedenfor følger traditionen indenfor hydrologi. Vi beskriver vandets kredsløb ved at opdele det i reservoirer og processer. Et reservoir er et sted, hvor store vandmængder i gennemsnit opholder sig i længere tid, fra dage til mange år. En proces flytter vandet fra et reservoir til et andet.

De vigtigste reservoirer er havet, sne, gletchere og iskapper, grundvand, vandløb, søer og atmosfæren. Langt det meste vand er i havet, mens kun en lille del er i atmosfæren. Nogle opdeler grundvand i terrænnært og dybereliggende grundvand og ligeledes opdeles søer også i naturlige og kunstige reservoirer. Nedenfor beskrives kort hvilke processer, der flytter vandet rundt mellem disse reservoirer med fokus på forhold, der er vigtige for Danmark.

Transport mellem reservoirer

Fordampning og transpiration / evapotranspiration

Alle overflader med kontakt til atmosfæren bidrager via fordampning til atmosfærens vandindhold i form af vanddamp. Den største fordampning sker fra havene. Transpiration er

en relateret proces, hvor vandet bliver trukket gennem planterødder og derefter frigøres fra planter via porer (stomata). Denne proces er vigtig i landbaserede økosystemer og bidrager i høj grad til vandets kredsløb på land. Sammen kaldes fordampning og transpiration for evapotranspiration, da de begge involverer vand, der overgår fra flydende eller fast form til gasform og føres op i atmosfæren.

Nedbør
Atmosfæren indeholder vand både i form af vanddamp, vanddråber og iskrystaller. En varm atmosfære kan indeholde mere vanddamp end en kold atmosfære. Hvis atmosfæren bliver afkølet, og derfor kan indeholde mindre vanddamp, dannes vanddråber eller snekrystaller. Vanddråberne og snekrystaller i atmosfæren, vil enten fordampe eller vokse og efterfølgende falde som nedbør. Nedbørens mængde og intensitet varierer afhængigt af faktorer som geografisk beliggenhed, årstider og de specifikke forhold i et område. I Danmark vil kraftig nedbør enten falde i form af kraftige regnbyger eller i forbindelse med kraftige frontsystemer. Nedbørsprocessen flytter vand fra atmosfæren til jordens overflade.

Overfladeafstrømning og infiltration
Når vandet falder på jordens overflade som nedbør, kan det blive liggende, fordampe igen, løbe på overfladen eller sive ned i jorden. Nedsivningen vil umiddelbart erstatte jordens indhold af luft med vand. Mens vandet er på eller lige under jordens overflade, vil det kunne fordampe under de rigtige forhold. Såfremt nedsivningen fortsætter, vil vandet nå ned til grundvandsreservoiret. Vand, der løber på overfladen, benævnes overfladeafstrømning. I naturen er denne proces sjælden, men kan forekomme, når jorden er mættet med vand. I byer sker det hyppigt, når vandet falder på impermeable overflader som asfalt eller beton. Afstrømning på og nær overfladen fører vandet mod vandløb, søer og havet. Nedsivet grundvand kan også komme op nær overfladen igen og medføre øget tilstrømning til vandløb og overfladeafstrømning. Alle midlertidige overfladeafstrømninger er principielt oversvømmelser, men i praksis vil man skelne mellem strømmende vand, der giver skader og det, der ikke medfører skader.

Interne processer i reservoirer
Der er en væsentlig intern dynamik i alle reservoirer. Samlet set indebærer det, at reservoirer både påvirker og påvirkes af lokale forhold. Vind og opvarmning er særligt væsentlige for de reservoirer med kontakt til atmosfæren, mens grundvandets dynamik mere er præget af den lokale geologi og interaktioner med de øvrige vandreservoirer. Nedenfor er en meget kort beskrivelse af nogle af de afgørende interne processer, men en fyldestgørende beskrivelse ligger uden for rammerne af denne rapport.

Atmosfæren
Solindstrålingen og jordens rotation er vigtige årsager til, at vandindholdet i atmosfæren flytter sig og dermed varierer meget både geografisk samt på sæsonbasis, månedsbasis og døgnbasis. Nogle af atmosfærens strømningsmønstre er relativt konstante, og det medfører f.eks. at Danmark, der ligger i vestenvindsbæltet, generelt har større årsnedbør i sydlige og vestlige dele af Jylland end resten af Danmark.

Jordens overflade
Tyngdekraften får vand på overfladen, samt i vandløb og søer til at søge nedad i terrænet og ned i jorden. Topografi, biologisk liv og de øverste jordlags egenskaber medfører dog i

praksis en meget stor dynamik, hvor vandets strømning er påvirket af både vertikale og horisontale kræfter. Danmarks relativt lille størrelse og begrænsede højdeforskelle i landskabet er den primære årsag til, at vores vandløb, vådområder og søer ikke er store i international sammenhæng.

Grundvandet
Grundvand er betegnelsen for vandet i den del af undergrunden, som er mættet med vand, modsat den umættede zone, som ikke er fyldt med vand i porerne mellem jordpartiklerne. Tyngdekraften får vandet under jordoverfladen til umiddelbart at infiltrere nedad i den umættede zone, indtil det når den mættede zone (grundvandet). Herfra vil det, forårsaget af landskabets topografi, undergrundens geologi og tilførslen af vand fra oven, bevæge sig mod vandløb og endeligt mod havet. Undergrundens geologiske heterogenitet gør, at de præcise strømningsveje er komplekse at beskrive. Generelt står grundvandet meget tæt på terræn i Danmark, ofte 1-2 meter, pga. den lave topografiske gradient, stort nedbørsoverskud og lerede jorde i store dele af landet.

Havet
Langt det største reservoir for vand er havet. Tilførsel af varme (og kulde) fra atmosfæren og tilstrømmende ferskvand føder ind i globale havvandstrømme, hvoraf Golfstrømmen udgør en lille del, men har stor betydning for Danmark. I forhold til oversvømmelser har kysternes udformning stor indflydelse på havets strømninger i Danmark. De snævre strømningsveje (bælterne, sundet, fjordene, etc.) og mange små øer giver en meget væsentlig dynamik f.eks. i form af midlertidige opstuvninger af vandmasser, ligesom månens tyngdepåvirkning giver tidevandseffekter, som specielt i Vadehavet er meget væsentlige.

Menneskers direkte påvirkning af vandets kredsløb
Tilstrækkelig adgang til vand er essentiel for menneskers overlevelse, sundhed og velfærd. Derfor modificeres det naturlige kredsløb i høj grad for at sikre, at mennesker har en stabil adgang til vand af en tilstrækkelig kvalitet.

I Danmark er den største påvirkning fra menneskelige aktiviteter på vandets kredsløb relateret til 1) et stort forbrug af grundvand, hvorved grundvandsressourcen alt andet lige mindskes, og grundvandsspejlet dels sænkes og dels fastholdes lokalt pga. dræn og utætte afløbssystemer, 2) en væsentlig dræning fra såvel byer som landbrug til vandløb og søer, især i vinterhalvåret, samt 3) en større variation i afstrømningsforhold om sommeren, hvor dræn og afløbssystemer har tømt de øvre vandmagasiner, hvilket giver en lav minimumsvandføring og samtidigt giver en meget høj maksimal afstrømning i mindre vandløb. De tre nedenstående sektorer er særligt vigtige i en dansk kontekst.

Byer/Industri
Mennesker i byer bruger store mængder drikkevand, ligesom mange industrier benytter vand under produktionen. Vandet tages fra grundvandsmagasinerne og efter anvendelsen transporteres det via afløbssystemer til rensning og udledning til vandløb, søer og havet. Samlet set indebærer det, at store mængder vand bringes fra grundvandsmagasinet op til overfladen. Dette påvirker afstrømningen i vandløb, i nogle områder i betydeligt omfang.

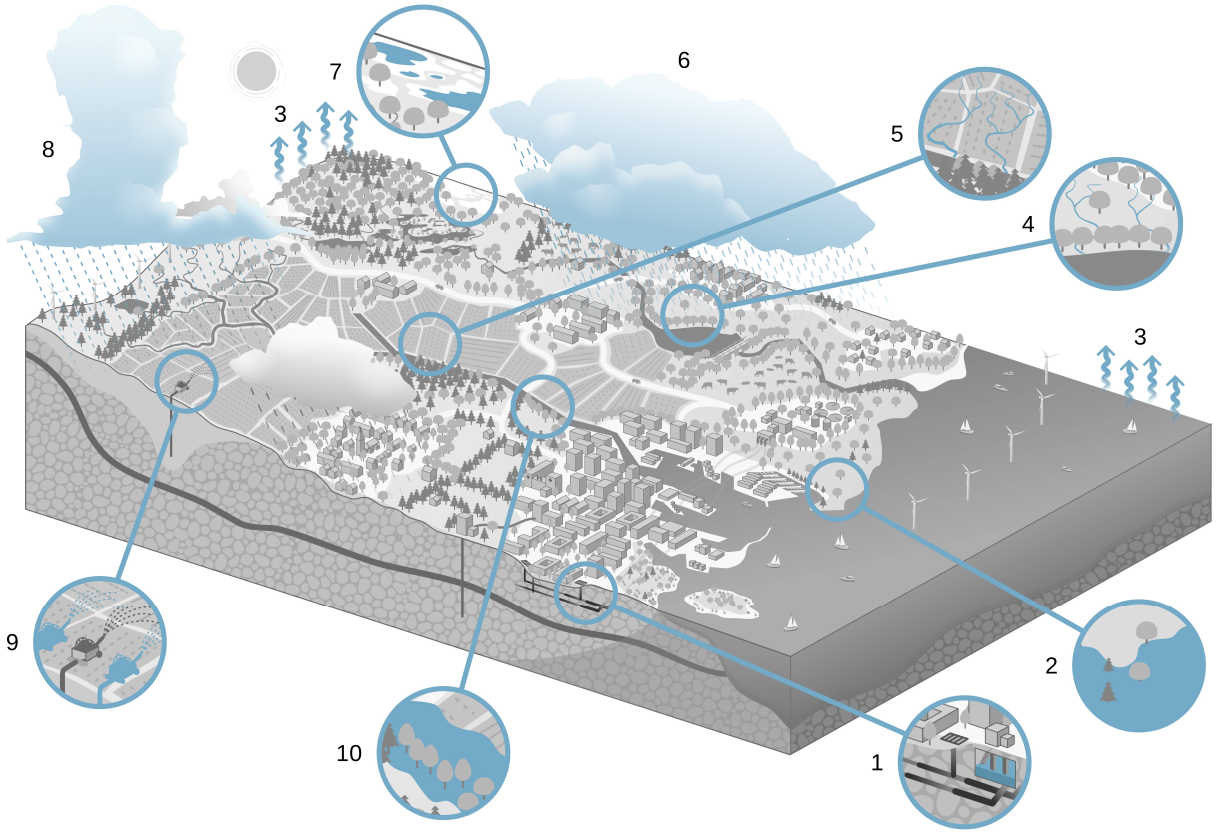
Byer er karakteriseret ved at have langt tættere og glattere overflader end naturlige landskaber. Nedbøren over byer har derfor begrænsede muligheder for at nedsive gennem jorden til grundvandet, og en meget stor del af nedbøren afstrømmer derfor som hurtig overfladeafstrømning på overflader eller via afløbssystemer. Dette bevirker, at den maksimale vandføring i mindre vandløb kan være markant højere end under naturlige forhold, og især, at variabiliteten over tid vil være langt mere følsom over for den nedbør, der umiddelbart falder, og der dermed er en øget forekomst af oversvømmelser.

Landbrug
Fødevareproduktion er meget sårbar over for tilgængeligheden af vand. For at opnå ideelle betingelser for afgrøderne, drænes markarealer for at undgå for våde forhold, hvilket dermed bidrager til en øget hurtig overfladeafstrømning til vandløb m.v. på bekostning af naturlig infiltration. Samtidigt oppumpes vand fra grundvandsreservoirer i nogle områder til kunstvanding, med øget fordampning til følge og yderligere forstærkning af effekterne af dræn, der dermed fastholder vandspejlet på et mere konstant niveau, end det vil være naturligt. Historisk set har man også reguleret (f.eks. gennem udretning) en lang række vandløb for at optimere vandføringskapaciteten og dræne nærliggende områder, som derved kunne dyrkes eller bebygges. I de senere år er en række vandløb blevet genslynget som led i naturgenopretningsprojekter.

Vand til energiproduktion
Vandkraft beror på, at man kan høste den energi, der er i, at vand bevæger sig nedad. Som regel etableres en dæmning, hvorved der skabes et stort reservoir, så der både skabes større forsyningssikkerhed og mere energi. Internationalt er vandkraft vigtigt, men i Danmark er det i dag en ret ubetydelig del af energiproduktionen. Vand bruges også som køling i mere traditionel energiproduktion, hvilket også påvirker vandføringer, og ofte er vandløbet også ændret i den forbindelse. I Danmark er der i dag stadigt mange mindre kunstige søer, som oprindeligt blev opdæmmet til industriel produktion i form af vandmøller og turbiner.

Klimaændringers påvirkning af vandets kredsløb
Udledningen af drivhusgasser til atmosfæren medfører en global opvarmning, som påvirker klimaet og derigennem har indflydelse på alle reservoirer og transporten mellem dem. De klimatiske ændringerne for Danmark er opsummeret i Klimaatlas (DMI, 2025), hvor det er angivet, at der blandt andet må forventes højere havvandstand, mere vinternedbør og flere skybrud. Tilsvarende er de hydrologiske konsekvenser af klimaændringer opsummeret i Hydrologisk Informations- og Prognosesystem (HIP), hvor der blandt andet er angivet, at der må forventes højere grundvandstand og langt højere vandføring i vandløb.

Nedenfor er meget kort angivet de fysiske mekanismer på samme niveau som i de andre afsnit i dette kapitel. Beskrivelsen tager udgangspunkt i, hvordan reservoirer påvirkes af menneskeskabte klimaændringer og dermed på transporten mellem reservoirerne. Nettoændringerne af betydning for oversvømmelser er endvidere skitseret i Figur 3.



Figur 3. Illustration af hvor klimaændringerne vil påvirke vandets kredsløb i Danmark og give flere og kraftigere oversvømmelser.1: Infrastruktur i form af f.eks. afløbssystemer vil blive overbelastet hyppigere, 2: Havvandstanden vil stige, 3: Fordampning fra hav og land vil øges, 4: Øget afstrømning på og nær overflader, 5: Øget afstrømning i lavtliggende områder og vandløb, 6: Øget forekomst af skybrud, 7: Øget våde arealer (i vinterhalvåret), 8: Øget dagsregn, 9: Øget behov for vanding, og 10: Øget maksimal vandføring i vandløb.

Atmosfæren

Klimaændringer med temperaturstigninger betyder, at vanddamp i atmosfæren øges kraftigt. Det medfører flere vigtige ændringer i vandets kredsløb. Fordampningen vil generelt øges, så der er mere vanddamp i atmosfæren. Det vil indebære, at det i nogle regioner regner mindre, fordi overmætningen i atmosfæren med vand bliver mindre, mens det andre steder vil regne mere, fordi der generelt er mere vand i atmosfæren. I Danmark vil det generelt regne mere. For alle regioner gælder, at de ekstreme nedbørsmængder vil stige, fordi mere vand giver større muligheder for store ubalancer i atmosfæren. For Danmark medfører det, at vi vil få mere vinternedbør. Der forventes kun små ændringer i den totale sommernedbør, men den vil blive koncentreret på færre dage. Der vil være en øget forekomst af ekstreme regnhændelser både for kortvarige, intense skybrud og længerevarende frontnedbør.

Jordens overflade samt grundvand

I international sammenhæng er dette reservoir meget udfordret, idet mindre mængder vand vil blive tilført og forbruget til menneskelige aktiviteter øges væsentligt til byer, industriproduktion og landbruget. I en dansk sammenhæng vil man de fleste steder se en stigning i de terrænnære grundvandsstande, fordi vinternedbøren vokser og fordampningen i

vinterhalvåret stadigt er lav. Samtidigt forventes de maksimale vandføringer i vandløbene også at stige markant. Fra et vandressource-perspektiv kan klimaændringerne delvist ses som positive, da Danmark kan forvente øget grundvandsdannelse.

Havet
Vandstanden i havet vil generelt stige i flere århundreder fremover. En væsentlig årsag er, at havet opsuger en stor del af den globale opvarmning, hvilket i sig selv medfører, at havet fylder mere. Endvidere vil den øgede afsmeltning af is fra landområder føre til, at havet indeholder mere vand. Samlet set indebærer det, at lavtliggende områder, som i dag er truet af oversvømmelse fra havet, kan risikere at blive permanent dækkede af vand i fremtiden. Tilsvarende vil der være nye områder længere inde i landet, der i fremtiden kan blive ramt af oversvømmelser. Danmarks lange kyststrækning med store lavtliggende områder og store samfundsværdier indebærer, at havstigninger vil blive den væsentligste effekt af klimaændringer, når det kommer til ændringer i oversvømmelsesforekomster.

2.2. Topografiske forhold, der giver mulighed for oversvømmelser

Definitionen af oversvømmelser indebærer, at terræn, der normalt ikke er dækket, bliver dækket af vand. Det kræver at vandet kommer et sted fra. Ved at betragte Tabel 1 kan det ses, at der kun er tre muligheder som beskrevet nedenfor:

1. *Kystnære områder.* Dynamikken i havet medfører variationer i havvandstanden ved kysterne. Kystzonen betegner det område, hvor det er vanskeligt at sige, om der er tale om områder, der er oversvømmede eller vanddækkede. Lavtliggende områder nær kysten kan opleve oversvømmelser ved, at havet kan strømme ind til steder, der normalt ikke er dækket af vand.
2. *Områder nær vandløb og søer.* Langs vandløb og søer findes der naturlige engområder. De vil med jævne mellemrum blive oversvømmet, som oftest i forbindelse med store nedbørhændelser, der får vandstanden i vandløb og søer til at gå over deres bredder.
3. *Lokale områder.* Når nedbørsintensiteten i et område i en periode overstiger nedsivningskapaciteten af jordens overflade, vil vandet samle sig i lavninger eller løbe på jordens overflade, til det enten rammer en lokal lavning eller et større reservoir i form af et vandløb, en sø eller havet. På samme måde kan grundvandsudstrømning og grundvand på terræn også få vand til at samle sig i lokale lavninger. Når menneskeskabte dræn- og afløbssystemers kapacitet overstiges, opstår oversvømmelserne også her.

Opdelingen ovenfor er nyttig, fordi den gør det tydeligt, at der er områder, der kan blive oversvømmet og områder, hvor oversvømmelser er meget usandsynlige. Den er dog utilstrækkelig til at kunne lave en opdeling i hvilke områder, der har høj forekomst af oversvømmelser. For at kunne lave en egentlig typologi for oversvømmelser kræver det, at man kombinerer beskrivelsen af vandets kredsløb med de topografiske forhold som beskrevet ovenfor. Derved opnår man en samlet beskrivelse af, hvilke dynamikker i vandets kredsløb, der kan medføre, at ovennævnte områder faktisk oversvømmes. Det er formålet med det efterfølgende kapitel.

3. En oversvømmelsestypologi for Danmark

I en nyligt publiceret videnskabelig artikel har forskere på DMI gennemgået en systematisk proces for at definere en oversvømmelsestypologi for Danmark (Su et al., 2025). Udgangspunktet for artiklen er en stor kortlægning af menneskeskabte og naturlige faretyper, som er lavet i FN-regi under Sendai-rammen for katastrofe- og risikoforebyggelse. Den følgende beskrivelse er baseret på denne artikel, men er yderligere bearbejdet her.

Ud fra Sendai-rammen er der 12 typer af oversvømmelser, hvoraf ikke alle er relevante for Danmarks klima og topografi. DMI har derfor bearbejdet disse 12 typer i en dansk kontekst, hvilket er beskrevet i Bilag 1. Resultatet er angivet i Tabel 1 i form af en oversvømmelsestypologi for Danmark med fem overordnede typer, baseret på årsagen til oversvømmelsen, samt hvor i landskabet denne type af oversvømmelse generelt forekommer:

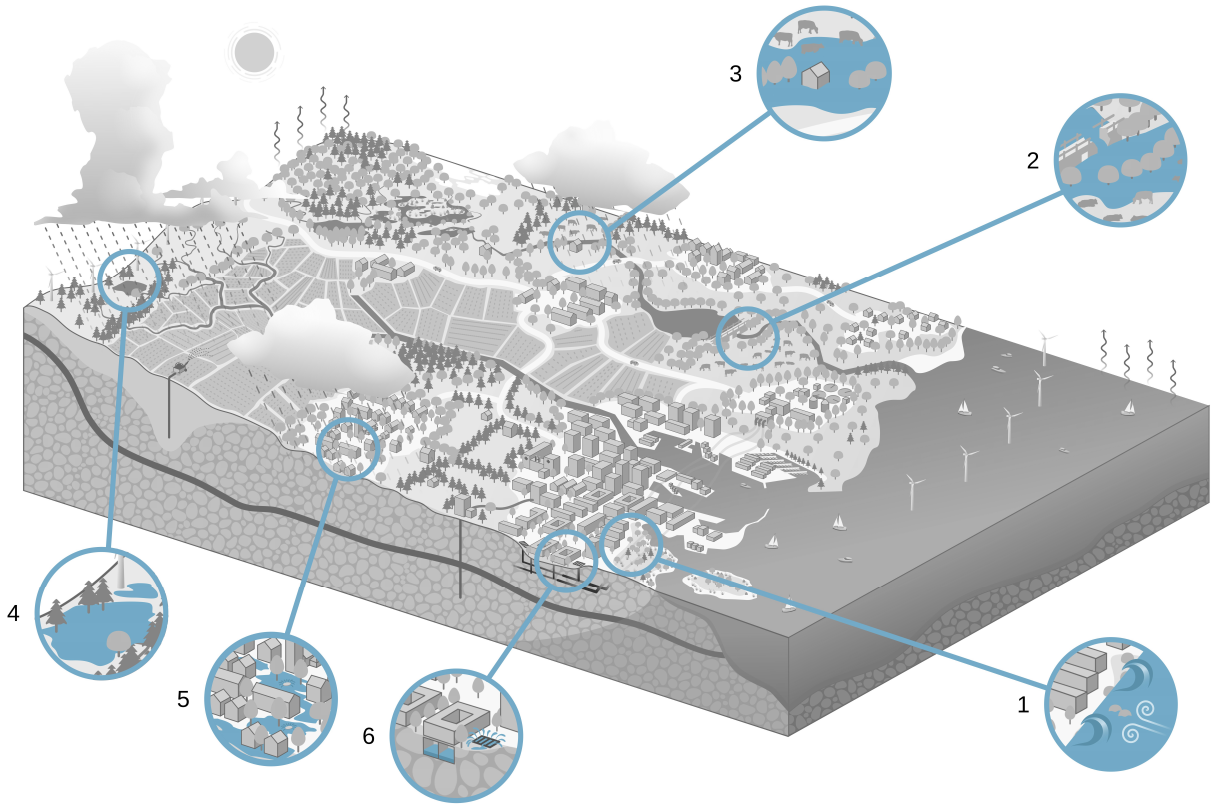
(1) Havoversvømmelser
(2) Vandløbsoversvømmelser
(3) Nedbørsoversvømmelser
(4) Grundvandsoversvømmelser
(5) Tekniske oversvømmelser

Tabel 1: Oversigt over typologi, der kobler variationer i vandets kredsløb med den topografi, der giver mulighed for oversvømmelser samt forslag til navngivning af hver type af oversvømmelse. Et (x) indebærer, at oversvømmelse principielt kan ske i denne kombination af lokation og årsag. Det vil ske når hhv, vindstuvning presser havet ind i vandløb, hvorved vandføringen i vandløbet bliver negativ, og hvis vand løber på overfladen ned til vandløbsnære områder. Disse typer oversvømmelser er ikke hyppige i Danmark og vil blive betegnet som hhv. Havoversvømmelse og Nedbørsoversvømmelse.

Lokation \ Årsag	Hav (fra siden)	Vandløb/Sø (fra siden)	Nedbør (skybrud og dagsregn) (fra oven)	Grundvand (fra neden)	Teknisk
Kystnær	Hav-oversvøm-melse				Teknisk oversvøm-melse
Vandløbsnær	(x)	Vandløbs-oversvøm-melse	(x)		
Lokal / lavning			Nedbørs-oversvøm-melse	Grundvands-oversvøm-melse	

I Figur 4 er angivet eksempler på, hvor oversvømmelserne forekommer. Navngivningen er baseret på, hvilken årsag til oversvømmelsen, der er den primære. Der er flere fordele ved denne simple typologi. Den primære fordel er, at det giver mulighed for at beskrive egenskaber ved årsagen, herunder hvornår på året de forskellige typer af oversvømmelser vil dominere såvel i det aktuelle som et fremtidigt klima. En sådan kvalitativ beskrivelse er angivet i Tabel 2. Det er samtidigt en typologi, der ligger tæt op ad den aktuelle organisatoriske og juridiske håndtering af oversvømmelser i Danmark. Endelig vil en

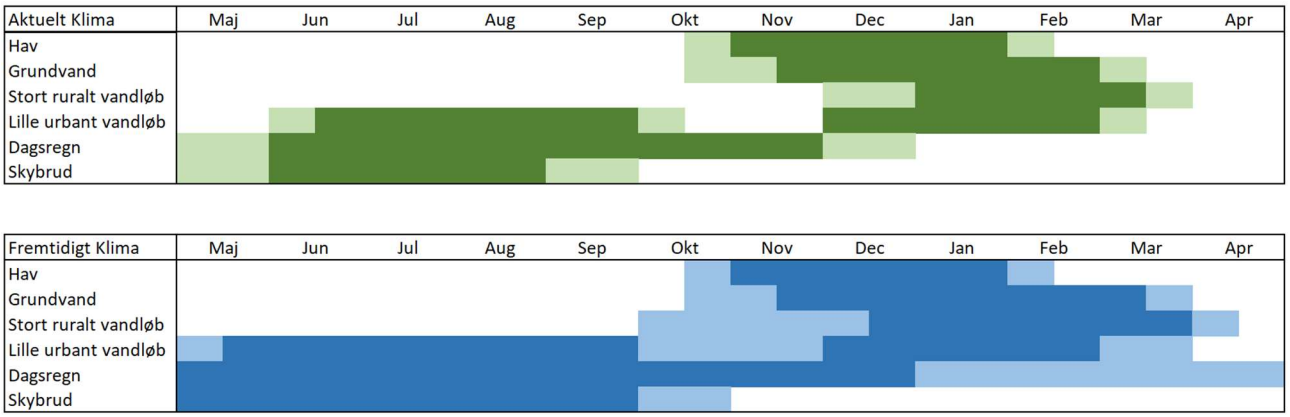
typologi, som er baseret på lokationer umiddelbart blive meget kvantitativ og samtidig følsom overfor ændringer i, hvor oversvømmelser er mulige. Ulempen er, at nogle lokationer kan blive udsat for forskellige typer af oversvømmelser, og for en given oversvømmelse er der dermed ikke altid entydigt, hvilken type den tilhører. Det vil også gælde for en typologi, der baserer sig på lokation, idet nogle områder både er lavtliggende i forhold til det omkringliggende terræn og ligger kyst- og vandløbsnært.



Figur 4. Skitse til illustration af typer og lokationer af oversvømmelser. 1: Havoversvømmelser, 2: Teknisk oversvømmelse, 3: Vandløbsoversvømmelse, 4: Grundvandsoversvømmelse, 5: Nedbørsoversvømmelse (dagsregn) og 6: Nedbørsoversvømmelse (skybrud). Som skitsen er udformet kan 4, 5, og 6 både være Nedbørsoversvømmelser og Grundvandsoversvømmelser, idet lokale forhold, som ikke fremgår af skitsen, kan have betydning for, hvor oversvømmelser foregår.

I de følgende afsnit beskrives definitioner af hver oversvømmelsestype, samt figurer der viser, hvornår på året, de forskellige oversvømmelsestyper er aktive. Der er ikke lavet nationale opgørelser over oversvømmelsernes relative vigtighed for alle typer af oversvømmelser. Den relative vigtighed kan dog give vigtige indikationer om, hvordan oversvømmelserne skal håndteres, hvilket diskuteres i kapitel 6. Baseret på skøn, dels fra de nationale data, der findes og dels de mest voldsomme hændelser, der er registreret i Danmark, er der næppe tvivl om, at i det aktuelle klima i Danmark er Nedbørsoversvømmelser og Havoversvømmelser de to typer, der medfører den største økonomiske skade, mens Vandløbsoversvømmelser og Grundvandsoversvømmelser har relativt mindre betydning.

Tabel 2. Timing af forekomster af årsager til oversvømmelsestyper over året. Der er tale om generelle tendenser, og det kan ikke udelukkes, at der forekommer endog meget kraftige hændelser udenfor de angivne perioder. Øverste tabel er for det aktuelle klima, og den nederste er for et fremtidigt klima. I begge tilfælde er der angivet hovedsæson og skuldersæson. Skuldersæsoner er karakteriseret ved en lavere, men dog væsentlig forekomst af hændelser. For især Skybrud, men også flere af de andre årsager, er der tale om meget kraftige stigninger i hovedsæsonen mellem aktuelt og fremtidigt klima, og dermed vil ændringerne være større end blot udvidelsen af sæsonerne. Bearbejdningerne er for Hav, Dagsregn og Skybrud baseret på kvantitative analyser af nutidens og fremtidens klima, mens de øvrige årsager i højere grad er skøn ud fra tilgængelige data og bearbejdninger.



Vurderingen vanskeliggøres af, at omkostninger ved Grundvandsoversvømmelser moniteres mindre end de andre typer af oversvømmelser. De er typisk heller ikke knyttet til en konkret, kortvarig hændelse og kan have langtidseffekter på levetiden af infrastruktur såsom jernbaner og rørledninger. Grundvandsoversvømmelserne i vinteren 2023-2024 formodes dog at være i en størrelsesorden, som ses sjældent i det nuværende klima. Til sammenligning har de langt fra haft de voldsomme effekter på samfundet, som havoversvømmelsen i Østersøområdet i 1872 og nedbørsoversvømmelsen i København i 2011 havde.

Det forventes, at klimaændringer vil medføre, at Havoversvømmelser med tiden bliver langt den alvorligste type af oversvømmelse. Tekniske oversvømmelser har historisk haft ringe betydning i Danmark; det er vanskeligt at skønne, hvordan denne type af oversvømmelser vil udvikle sig over tid.

3.1. Havoversvømmelse

Andre betegnelser: Stormflod, højvande

Forhøjet havvandstand forårsages af vindens horisontale pres på havoverfladen, ofte kombineret med bølger og tidevand, men kan også forekomme ved tilbageløb fra f.eks. Østersøen efter en storm. Forhøjet havvandstand langs kysten presser vand op over kystnære områder og ind i vandløbsudmundinger. Det sker enten ved direkte oversvømmelser, eller at en naturlig og/eller menneskeskabt barriere (f.eks. et dige) overtoppes eller i værste tilfælde brydes. Flaskehalse i havets strømningsveje forstærker ofte opstuvningen og dermed oversvømmelserne (f.eks ved Bælterne og Øresund, Limfjorden, Roskilde Fjord). Hændelserne er typisk relativt kortvarige (timer til få dage), men kan ramme lange kyststrækninger på samme tid. Flaskehalsene medfører også, at oversvømmelser generelt forekommer på længere kyststrækninger ad gangen, men at der er ret skarpe opdelinger ved flaskehalsene. Således vil f.eks. store dele af kysterne mod Østersøen være påvirket, mens der samtidigt kan være lavvande på Nordfyns kyster. Kysterne omkring Danmark kan groft opdeles i tre hovedbassiner, som angivet på figur 5.

Figur 5. Skitse der indikerer tre hovedbassiner af havet omkring Danmark. Vindpåvirkningen vil medføre, at nogle strækninger vil kunne have Havoversvømmelser samtidigt, mens andre ikke kan. I grænsen mellem bassiner kan der være store forskelle, f.eks. vil en kraftig havoversvømmelse syd for København generelt optræde samtidigt med en lav havvandstand nord for København.

3.2. Vandløbsoversvømmelse

Andre betegnelser: Fluvial, bagvand (ifbm. stormflodshændelse), tøbrud og vårflom (ifbm sneafsmeltning)

Afstrømmende vand fra overfladen samt øvre og dybere jordlag samles i vandløb og søer, som går over deres naturlige eller menneskabte bredder, hvis deres vandføringsevne eller opbevaringskapacitet overskrides. Dette kan ske som følge af langvarige perioder med regn i oplandet, hurtig sneafsmeltning i forbindelse ved vejrskift eller som kortvarige flaskehalsproblemer (især ved menneskabte indsnævringer).

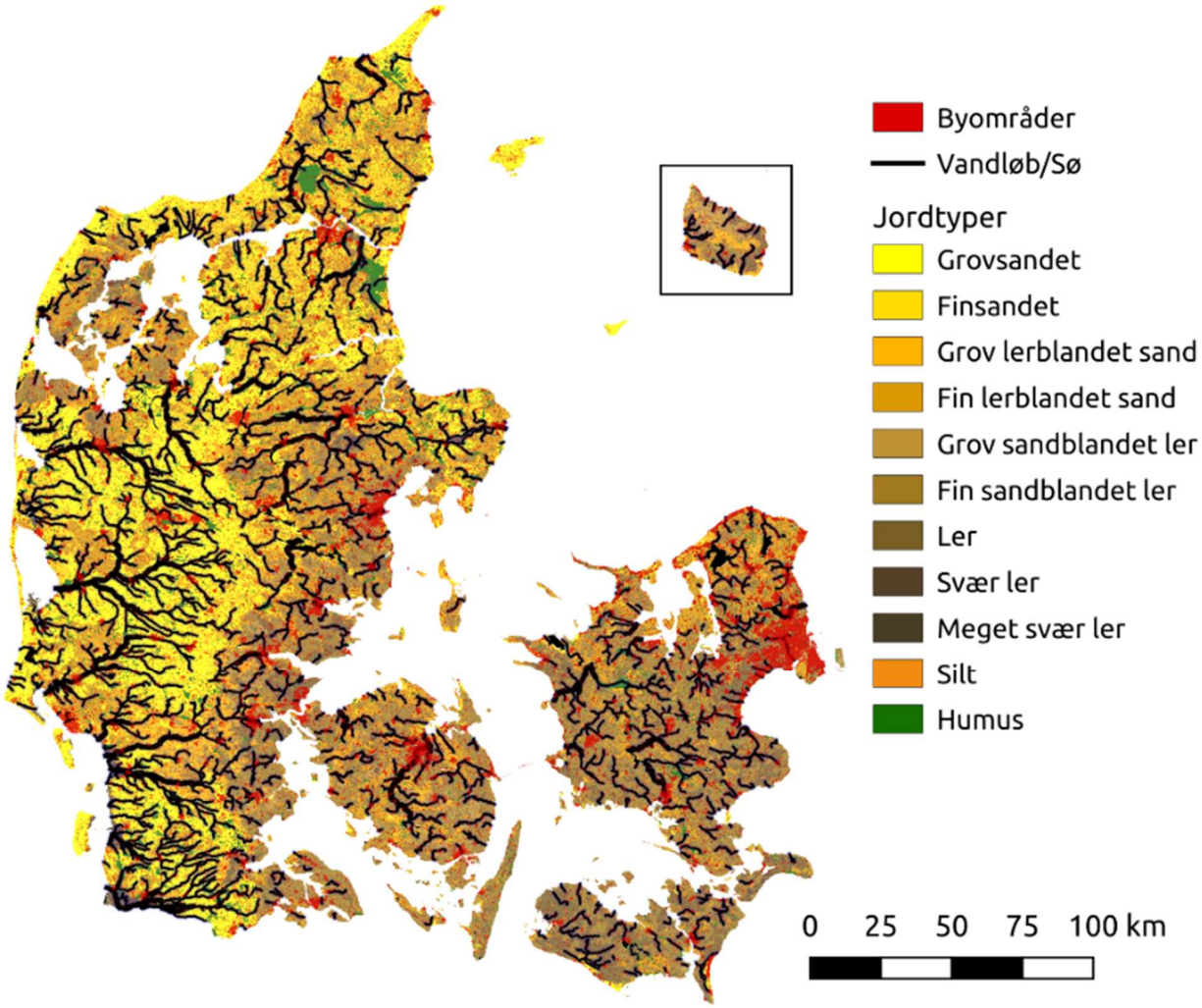
Internationalt er ”Flash flood”-fænomener meget farlige, idet disse oversvømmelser sker meget hurtigt (inden for et par timer efter nedbøren falder) og karakteriseres ved høje strømningshastigheder, der i værste tilfælde kan rive større objekter (f.eks. biler) og mennesker med sig. I 2021 medførte en ”Flash flood” i Europa mere end 200 dødsfald, hovedsageligt i Tyskland. Der er kun få steder i Danmark med signifikante topografiske gradienter (f.eks. Grejs Å ved Vejle og Taps Å ved Christiansfeld). Årsagerne til den kraftige afstrømning kan ud over topografien være på grund af større byområder eller særlige jordbundsforhold, se figur 6.

Både langvarige og hurtige vandløbshændelser er stærkt påvirket af geografiske forhold som lokale jordtyper, arealanvendelse, topografi, oplandsstørrelse og menneskelig regulering. I Danmark er mange vandløb blevet udrettet, hvilket øger strømningshastigheden og risikoen for flaskehalsproblemer.

3.3. Nedbørsoversvømmelser

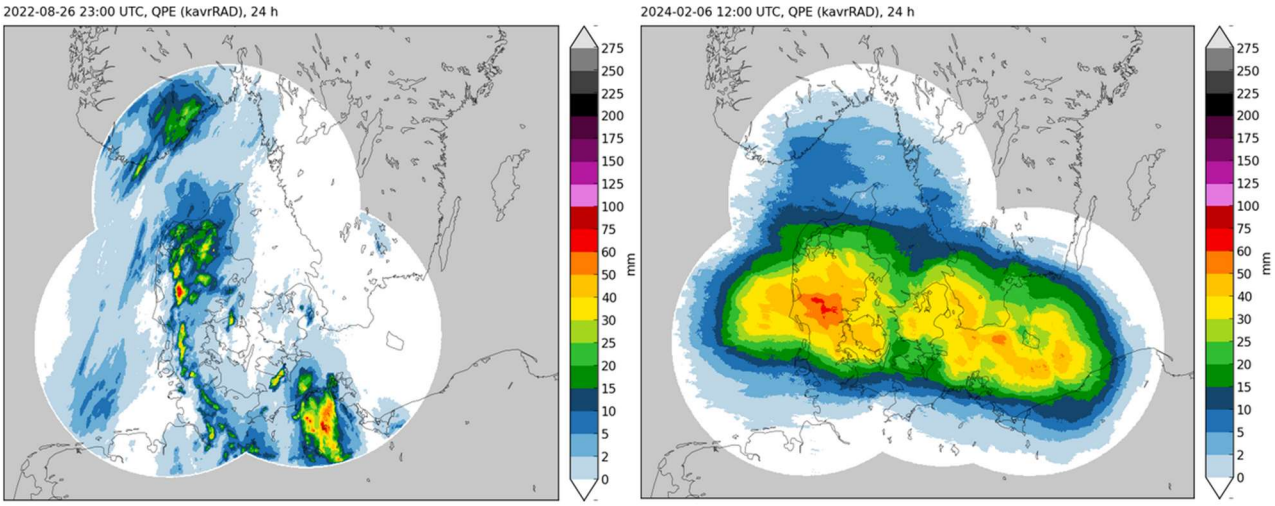
Andre betegnelser: Pluvial, regnvandsoversvømmelse, skybrudsoversvømmelse, tøbrud

Lokale nedbørsdrevne oversvømmelser opstår, når store mængder nedbør ikke kan slippe væk fra overfladen hurtigt nok. Oversvømmelserne opstår typisk i lokale lavninger eller langs flaskehalse i både strømningsvejene på overfladen og i menneskabte dræn- og afløbssystemer. I bebyggede områder forårsages de ofte af kortvarige skybrud, hvor de kraftige intensiteter kan overvælde byernes overfladevandshåndtering og overskride kloaksystemets kapacitet. Langvarige hændelser med store akkumulerede regnmængder kan dog også forårsage disse oversvømmelser. Som beskrevet i kapitel 2 er processerne, der genererer nedbør, ganske komplekse. Det kan derfor i praksis nogle gange være svært at skelne egentlige skybrud fra andre ekstreme nedbørsfænomener udelukkende baseret på den målte nedbør på en given lokalitet. Som det fremgår på figur 7, er der dog væsentlig forskel på den geografiske udbredelse og også på variationerne i intensiteter.



Figur 6: Oversigt over nogle af de vigtigste forhold omkring vandløbsoversvømmelser: Vandløbsnetværk, jordtyper, byområder. Dynamikken i vandløbenes tilstrømning er i høj grad påvirket af forekomsten af byer samt jordbundstyperne, idet ler har mindre infiltrationskapacitet end sand, og der derfor alt andet lige vil være større dynamik i vandløb, der ligger i områder med meget lerede jorder. Således vil de små vandløb i lerede jorde omkring København have en væsentligt hurtigere respons end de store vandløb i Vestjylland med sandjord og lav urbanisering.

På landet opstår oversvømmelserne typisk i lokale lavninger, eller når vandet strømmer over skråninger i terrænet. De forårsages ofte af langvarige, kraftige nedbørshændelser, især når jorden i forvejen er mættet, men kan også opstå ved intense skybrud, hvor regnintensiteten overstiger jordens nedsivningsevne. Hvis landskabet er dækket i et tykt lag sne, kan en forbipasserende varmfront skabe kraftig sneafsmeltning, tøbrud, på kort tid, hvilket også kan skabe disse oversvømmelser.



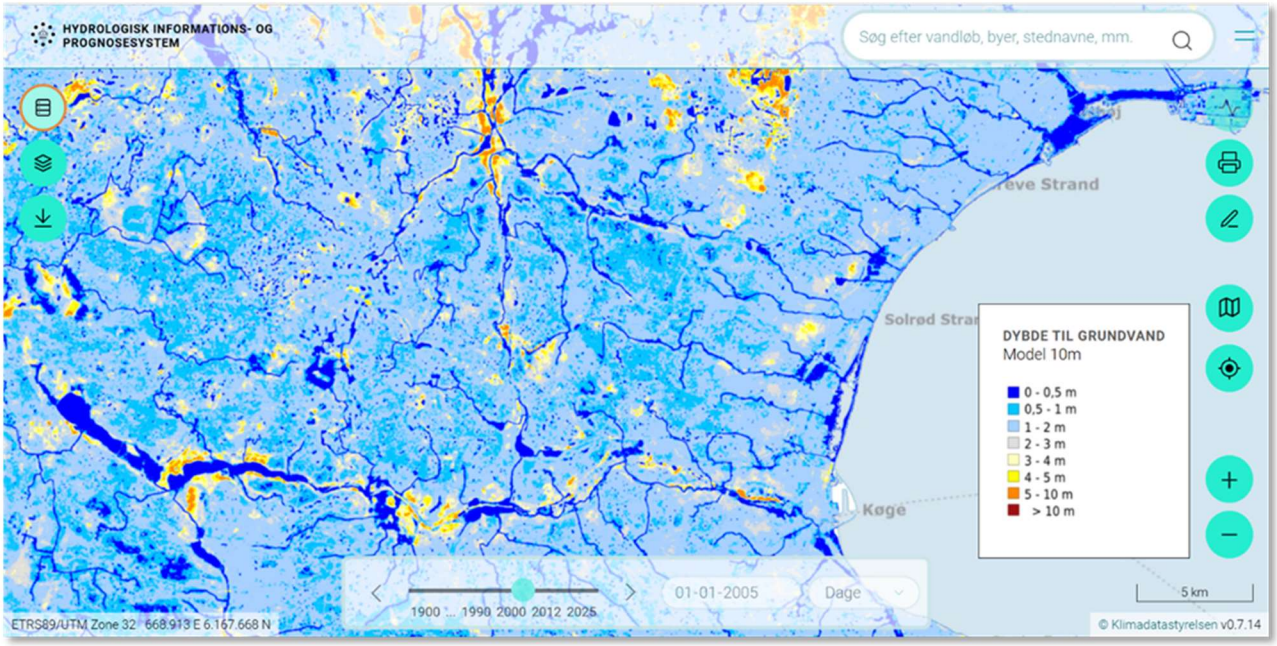
Figur 7: Nedbørmåler-justerede radarbilleder af to voldsomme nedbørhændelser (akkumuleret nedbør over 24 timer). Lokale skybrudsceller over Midtjylland, d. 26. August, 2022 (venstre). Kraftigt frontsystem over det meste af landet, d. 6. februar, 2024.

3.4. Grundvand

Andre betegnelser: Terrænnært grundvand, forsumpning

Terrænnært grundvand opstår naturligt efter store nedbørsmængder over flere uger og måneder, men kan også være kraftigt påvirket af ændringer i menneskelig aktivitet såsom mindsket vandindvinding og tætning af kloaksystemer. Disse oversvømmelser har en meget langsommere tidslig dynamik end andre oversvømmelsestyper og skaber derfor ikke akutte beredskabskrævende situationer på samme måde som de andre typer af oversvømmelser. Til gengæld kan grundvandsoversvømmelser vare langt længere end de andre typer.

Grundvandet kan give problemer enten ved, at det trænger helt til overfladen og oversvømmer lokale lavninger, eller ved at det forårsager indsivning til konstruktioner under jorden såsom kældre og rørsystemer. Oversvømmelser opstår ofte i områder, som tidligere har været naturlige vådområder og kan være påvirket af vandstanden i lokale vandløb, søer og havet. De er derudover stærkt afhængige af den lokale geologi og jordbundsforhold. På figur 8 er vist et eksempel på modellering af, hvor tæt grundvandet er på terræn for et område på Sjælland.



Figur 8 – Et skærmbillede fra HIP (www.hip.dataforsyningen.dk), der viser dybden til grundvandet om vinteren for et område i det østlige Sjælland, nær Køge Bugt i 10 meters opløsning. Som det ses, varierer dybden grundvandet geografisk bl.a. som følge af topografi, jordbundsforhold, geologi, menneskelige aktiviteter, samt afstand til vandløb, søer, havet, etc.

3.5. Teknisk

Andre betegnelser: Infrastruktursvigt

Mange steder i landet regulerer mennesker vandets naturlige bevægelser ved at flytte, blokere for og opmagasinere vand. Når sådanne infrastrukturelementer svigter enten helt eller delvist, kan det skabe oversvømmelser, som er voldsommere, end de naturligt ville have været, samt opstå uventet og hurtigt. Eksempler på disse er dige- og dæmningsbrud ved hav, vandløb og søer, regulering af kunstige søer, pumpe- og slusesystemer, regnvandsbassiner samt underføringer af vandløb ved veje og jernbaner. På grund af de uventede og hurtige konsekvenser kan tekniske oversvømmelser blive meget alvorlige. Fra et perspektiv om menneskers sikkerhed er et af de værst tænkelige oversvømmelsesscenarier i Danmark et digebrud under en stor stormflodshændelse nær beboede områder.

4. Koblede hændelser

4.1. Hvad er "koblede hændelser"?

Typologien i kapitel 3 definerer de forskellige typer af enkeltstående årsager til oversvømmelser i Danmark; 1) Hav, 2) Vandløb/Sø, 3) Nedbør, 4) Grundvand og 5) Teknisk. I praksis er det dog ofte sådan, at oversvømmelseshændelser opstår ved, at flere faktorer interagerer med hinanden og potentielt forstærker de samlede konsekvenser. Det betyder, at man ikke nødvendigvis kan udpege et område og sige, at en oversvømmelse dér altid vil være af en bestemt type.

Interaktionerne kan have en tydelig kausal sammenhæng, f.eks. at det samme underliggende vejrfænomen forårsager flere årsager til oversvømmelse samtidigt (et stort lavtryk kan både give kraftige vinde med tilhørende stormflod og kraftig nedbør). Interaktionerne kan dog også opstå tilfældigt, f.eks. ved at en stormflod opstår samtidigt med et teknisk infrastrukturnedbrud uden direkte forbindelse, eller en vandløbsoversvømmelse samtidigt med et kraftigt tidevandsmaksimum i havet.

I praksis anvendes flere forskellige udtryk på dansk til at beskrive hændelser, der opstår som følge af komplekse interaktioner mellem flere årsager, bl.a. "kombinerede", "sammenfaldende" og "koblede". Udtrykkene kan lede til forskellige associationer, og der er hverken i dansk eller international sammenhæng fasttømrede definitioner for disse betegnelser. I denne rapport anvendes udtrykket "koblede hændelser".

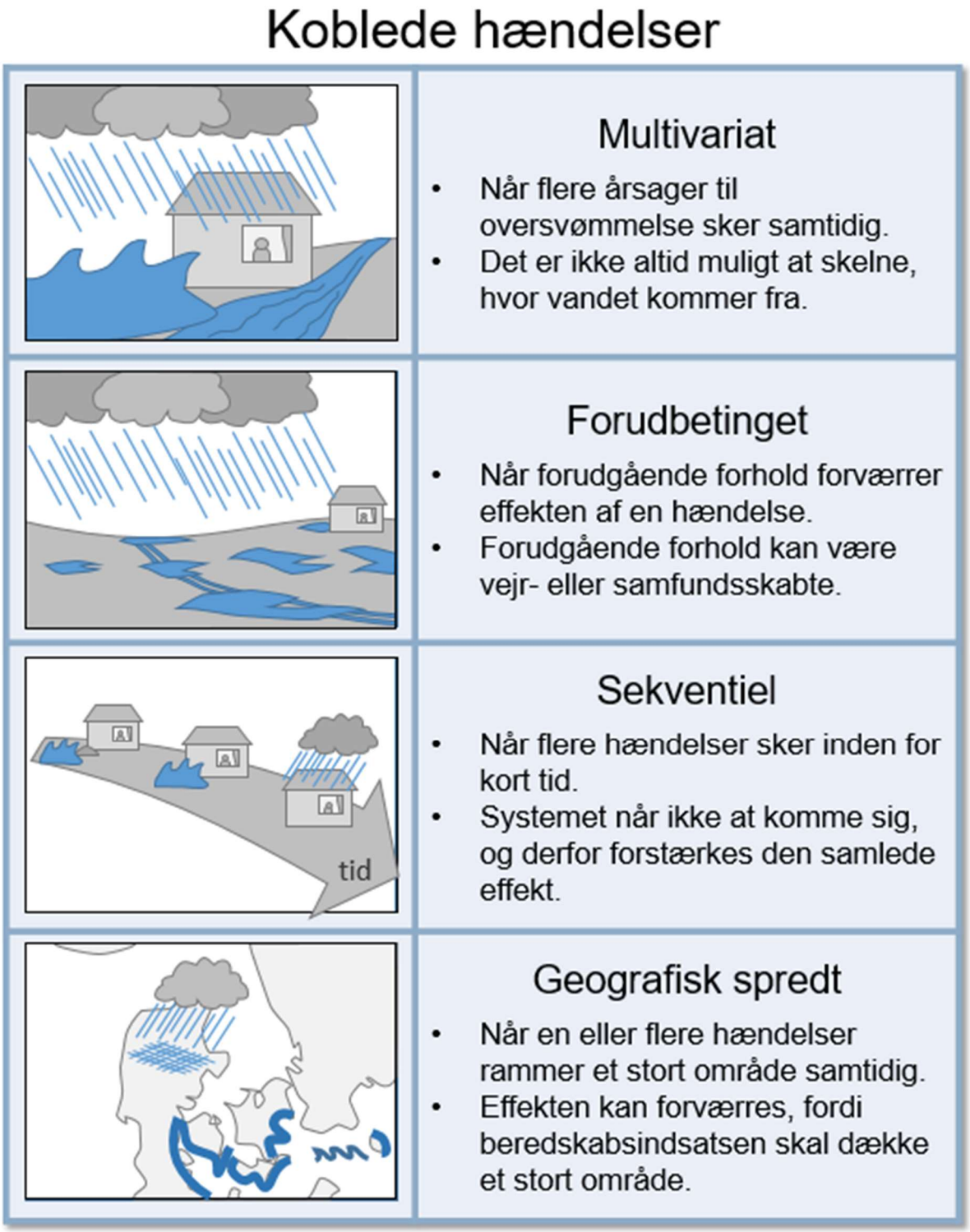
Der findes mange definitioner af koblede hændelser, men nedenstående definition er anvendt af IPCC på baggrund af en videnskabelig artikel fra Zscheischler et al.'s (2018):

> *"Kombinationen af flere processer og/eller faretyper, der tilsammen udgør en risiko for samfund eller miljø."*
> *(Oprindelig engelsk formulering: "The combination of multiple drivers and/or hazards that contributes to societal or environmental risk.")*

Definitionen gælder bredere, end vi anvender i nærværende rapport, bl.a. også til andre former for naturfare og teknologiske fare, som mennesker og økosystemer kan blive udsat for. Den fulde definition er medtaget her, fordi den vil være egnet i eventuelle fremtidige studier af oversvømmelsesrisiko.

4.2. Forskellige former for kobling

Ovenstående definition er meget generel og ikke tilstrækkelig i sig selv til at opnå en god beskrivelse af mulige koblingsfænomener i praksis. Flere internationale studier samt IPCC peger på, at en opdeling i fire former for koblinger er hensigtsmæssig (bl.a. Leonard et al., 2014; Zscheischler et al., 2020). I følgende afsnit gennemgås en række vigtige eksempler på koblede oversvømmelseshændelser under danske forhold. Eksemplerne er dog ikke fuldstændigt udtømmende for, hvad der kan opstå af fænomener i Danmark. Det bør også bemærkes, at en konkret oversvømmelseshændelse være flere af de fire koblingsformer på samme tid.



Figur 9. Grafisk illustration af de forskellige typer af koblinger, der kan forekomme i Danmark. På tegningerne viser den multivariate kobling et eksempel på samtidig forekomst af Hav, Vandløb og Nedbør; den forudbetingede kobling er kraftig nedbør på våd jord; den sekventielle kobling er en stormflod efterfulgt af endnu en stormflod og en nedbørshændelse; den geografisk spredte kobling er Hav fra Østersøen og Nedbør i Midt- og Nordjylland.

4.2.1. Multivariate hændelser

Opstår når flere årsager til oversvømmelser sker samtidigt på samme sted, hvorved den samlede effekt af oversvømmelserne øges. Her kan det være svært at skelne, hvor vandet kommer fra. Tabel 3 giver vigtige eksempler på, hvor i landskabet to oversvømmelsestyper kan koble på en "multivariat" facon i Danmark. Eksemplerne er ikke udtømmende, og det er også muligt, at flere end to oversvømmelsestyper indtræffer samtidigt på samme sted.

Tabel 3: Eksempler på multivariate koblede hændelser med to årsager

Årsag / årsag	Vandløb	Nedbør	Grundvand	Teknisk
Hav	Afstrømning i vandløbet er blokeret eller presset baglæns pga. høj vandstand i havet både i og udenfor byer	Når et stort lavtryk giver storm + kraftig dagsregn kan bl.a. byers afløb udfordres	Vandstanden i havet påvirker grundvandsstanden. Risiko for digebrud langs kysten	Digebrud; Fejl på sluse-systemer
Vandløb		Byer kan opleve sammenfald i belastning af afløbssystemer og vandløb	Risiko for dige- og dæmningsbrud; Forsumpning og mindsket bufferkapacitet i ådale	Dige- og dæmningsbrud
Nedbør			Forøget afstrømning fra grønne områder	Blokerede vejriste eller kloakrør
Grundvand				Sammenstyrtede landbrugsdræn; Fejl på afværge-pumpning

4.2.2. Forudbetingede hændelser

Opstår når forudgående vejr-, vand- eller samfundsmæssige forhold ændrer en systemtilstand, så effekten af en efterfølgende hændelse og dermed den samlede oversvømmelse forstørres. Nedenfor er en liste på tre vigtige tilfælde, hvor disse betingelser giver en væsentligt ændret oversvømmelse, end typiske forhold medfører:

- Mætningsgraden af vand i de øverste jordlag kan forudbetinge kraftigere Nedbørs- og Vandløbsoversvømmelser, da en høj mætningsgrad af vand mindsker jordens evne til at infiltrere nedbør, hvilket medfører øget overfladeafstrømning.
- Snedække kan forudbetinge Nedbørs- og Vandløbsoversvømmelser. Hvis regn falder på et dække af sne, is eller frossen jord, kan det øge overfladeafstrømningen, da adgangen til nedsivning i den underliggende jord generelt mindskes. Endvidere kan regn på sne føre til, at sne og is smelter og dermed også strømmer af i tillæg til regnens afstrømning.
- Vindstuvning kan forudbetinge kraftigere Havoversvømmelser. Denne proces er især vigtig for Havoversvømmelser ved kyster i Østersøområdet. Mængden af vand i

havområder med begrænset ind- og udløbskapacitet, såsom Østersøen og Limfjorden, kan bygges op over længere tid under de rigtige vindforhold. I Østersøen kan opstuvet vand efterfølgende skvulpe tilbage mod de danske kyster.

Som nævnt er forudbetingede forhold ikke kun relateret til andre typer af oversvømmelser, men kan også være relateret til helt andre forhold. Eksempler på forudbetingende samfundsmæssige forhold kan være vedligeholdelse af infrastruktur eller organisatoriske forhold, der medfører, at en oversvømmelse bliver større eller mere skadevoldende, end den typisk ville være. De forudbetingede forholds indflydelse kan gøre det mere kompliceret at konkludere, hvad den udløsende faktor for en oversvømmelseshændelse var.

4.2.3. Sekventielle hændelser

Opstår når gentagne hændelser indtræffer inden for et kort tidsinterval og forhindrer et system i at komme sig, hvilket derfor forstærker de samlede oplevede konsekvenser. Sekventielle og forudbetingede hændelser kan nogle gange være svære at skille ad, da de begge relaterer til tidslige forbindelser mellem hændelser, der samlet har en akkumulerende effekt på et system. Sekventielle hændelser sker inden for et kort tidsinterval, mens en forudbetingelse har indflydelse på en systemtilstand, som ikke nødvendigvis behøver at være indtruffet inden for kort tid før en hændelse.

- Sekventielle regnhændelser kan forårsage opfyldning af kapacitet i bl.a. kloak- og afløbssystemer, især ved store regnvandsbassiner (over og under jorden) med lang tømmetid. Til sidst kan systemernes kapacitet overvældes.
- Sekventielle stormflodshændelser kan øge de samlede oversvømmelseskonsekvenser hvis f.eks. en vandstanden i havet ikke når at normaliseres efter den første hændelse, før den næste hændelse rammer.

Som ved forudbetingede hændelser kan sekventielle hændelser gøre det mere kompliceret at udrede, hvilken type af oversvømmelse man lokalt har været udsat for, selvom man måske er bevidst om, hvad der udløste den sidste hændelse i rækken.

4.2.4. Geografisk spredte hændelser

Størrelsen og udbredelsen af oversvømmelser kan påvirkes af hændelser, der foregår i geografisk adskilte områder. Hvis flere geografisk spredte områder er ramt af hændelser samtidigt, kan det overvælde det samlede systems evne til at imødegå en lokal oversvømmelse, som dermed bliver værre, end hvis den havde været den eneste.

- Et stormlavtryk kan tage en bane på tæt på Danmark, der gør, at meget lange kyststrækninger på regional eller national skala kan være udsat for stormflod samtidigt eller inden for få døgns tid af hinanden (f.eks. både langs Jyllands vestkyst, Kattegat og Østersøen under samme hændelse).
- Hvis Danmark har været udsat for en længerevarende periode på mindst en til to måneder med nedbør langt over normalen, kan meget store dele af landet opleve tæt på fuldt mættet jord på samme tid. Hvis et stort frontsystem rammer landet under disse forhold, kan der på national skala opleves både Nedbørs-, Vandløbs/Sø- og Grundvandsoversvømmelser samtidigt mange steder.

- Hvis f.eks. en storm- eller vandskade rammer et knudepunkt på el-nettet eller et kommunikationsnetværk, så der opstår et større regionalt svigt på disse, kan det have følgevirkninger for muligheden for at håndtere en oversvømmelse et andet sted.

4.3. Når oversvømmelser kobler med andre faretyper

I beskrivelsen af typer af oversvømmelser er det implicit antaget, at oversvømmelser er den eneste relevante type af fare, der optræder. I praksis vil oversvømmelser tit være koblede til andre typer af farer. Et par vigtige eksempler er bl.a.:

- **Kraftig vind (multivariat):** Ved hændelser med høj vandstand i havet, kan kraftige vinde og bølger f.eks. overtoppe diger samt besværliggøre beredskabsarbejde såsom opsætning af mobile dæmninger m.v.
- **Frost (forudbetinget):** Oversvømmelser efterfulgt af kraftig, langvarig frost kan vanskeliggøre arbejdet med at genindføre essentielle services, der har været afbrudt. Et eksempel er dagene efter hændelsen 2.-4. januar (Hændelse #7 i Kapitel 5), hvor bl.a. motorvejen på Lolland var spærret i mange dage på grund af dybtfrosne islag.
- **Jordskred (forudbetinget og/eller multivariat):** Jordskred og dæmningsskred sker ofte i forbindelse med længerevarende perioder med regn, højtstående grundvand, stormflod, etc.

4.4. Klimaændringers påvirkning på koblede hændelser

Der er allerede i det aktuelle klima mange eksempler på koblede hændelser, hvilket eksempelhændelserne i Kapitel 5 vil illustrere. Klimaændringer må dog forventes at forårsage en væsentlig forøgelse af mængden af koblede hændelser. Denne rapport vil ikke redegøre for en detaljeret analyse af dette på tværs af alle oversvømmelsestyper og i forbindelse med andre typer af naturfare. Det skyldes til en vis grad, at der er erkendt manglende viden på området, men også, at der mangler en tilbundsgående og systematisk kvantitativ undersøgelse.

For de multivariate hændelser har det stor betydning, at de enkeltstående typer af oversvømmelser fra Kapitel 3 vil blive kraftigere, hyppigere og kunne ske indtræffe på en større del af året. Det giver større risiko for kausale og tilfældige sammenfald af oversvømmelsestyper på samme sted. For de forudbetingede hændelser er det især relevant, at mængden af nedbør om vinteren forventes at stige. Det giver større risiko for mættede jordforhold generelt i vinterhalvåret, hvilket som nævnt kan forudbetinge Nedbørs- og Vandløbsoversvømmelser. Sekventielle hændelser påvirkes især af en øget hyppighed af oversvømmelser. Her kan sekventielle havoversvømmelser fremhæves som særligt problematisk pga. den generelt stigende havvandstand. Af samme årsager som for de andre koblingstyper vil der følgeligt også være et stigende antal af geografisk spredte oversvømmelser, hvor mange forskellige steder er ramt på samme tid.

De lokale geografiske forhold afgør hvilke typer af koblingsfænomener, der kan optræde et givent sted. Men på nationalt plan er der især en række koblede situationer, som vil være vigtige at forholde sig til, herunder:

- Havoversvømmelser vil i fremtiden blive den klart mest betydende type af oversvømmelser for Danmark. Da en stor del af Danmarks befolkning og samfundsværdier befinder sig ud til kysten, vil alle koblingsformer, hvor havet indgår blive en stigende og alvorlig problematik. Se eksempler i hændelse #3, #6 og #7 i Kapitel 5.
- Vinteren 2023/2024 var særdeles usædvanlig i det aktuelle klima, men vil blive mere hyppig og viste, hvordan fremtidige langvarige perioder med regn i vinterhalvåret kan give store oversvømmelsesproblemer i både by og land, når de parres med kraftige frontnedbørhændelser. Det fører især til Vandløbs-, Nedbørs- og Grundvandsoversvømmelser, som så ydermere kan falde sammen Hav- og Tekniske oversvømmelser. Der vil være steder i Danmark, som har mulighed for en kobling af alle oversvømmelsestyper på samme tid. Se eksempelbeskrivelserne af hændelse #7 og #8 i Kapitel 5.
- Større og kraftigere skybrud giver øget risiko for, at Nedbørs- og Vandløbsoversvømmelser kobles i sommerhalvåret, hvilket vil blive en udfordring i de nedstrøms dele af byernes afløbssystemer, som vil få sværere ved at aflede vandet. Se eksemplerne i hændelse #4, #5 og #9 i Kapitel 5.

Der vil dog muligvis også være koblingsfænomener, som må forventes at blive mindre i Danmarks fremtidige klima. Sandsynligheden for, at et skybrud om sommeren forudbetinges af mættet jord vil mindskes, da den gennemsnitlige mætningsgrad af jorden forventes at blive mindre, når sommerens nedbør koncentreres på færre dage. Koblingsfænomener, der involverer sneafsmeltning og frost, forventes også at mindskes i et varmere klima.

5. Eksempler på konkrete oversvømmelseshændelser

Dette kapitel indeholder en række eksempler på nylige oversvømmelseshændelser i Danmark, hvoraf mange formentligt stadigt er i den kollektive bevidsthed hos den brede befolkning. Selvom hver enkelt hændelse havde signifikante samfundsmæssige konsekvenser, så er de er ikke udvalgt, fordi de nødvendigvis er de alvorligste eller mest omfangsrige hændelser i nyere tid. Hensigten er i stedet, at de tilsammen skal illustrere og være konkrete eksempler på alle de typer af oversvømmelser og forskellige koblingsformer, som er defineret i denne rapport.

Tabel 4 angiver hvilke af de fem oversvømmelsestyper, der var i spil under de konkrete hændelser, mens Tabel 5 viser hvilke former for koblingsfænomen, der foregik. Hændelserne er gennemgået hver især nedenfor i separate afsnit i kronologisk rækkefølge.

Tabel 4: Oversigt over hvilke oversvømmelsestyper, der er involveret i de udvalgte hændelser. Tallene indikerer for hver hændelse, hvor vigtig hver type var for hændelsens konsekvenser med. 1 = vigtigst, 5 = mindst vigtig.

Hændelse	Hav	Vandløb	Nedbør	Grundvand	Teknisk
1. København, 2011			1		
2. Dagmar+Egon, 2015	1				
3. Jylland, 2020	2	1	3		
4. Kibæk, 2022		2	3		1
5. Midtjylland, 2023		2	1		
6. Østersø, 2023	1	2			3
7. Syddanmark, 2024	3?	2	1	4?	5?
8. Vinteren, 2023/2024				1	
9. Esbjerg+Vejle, 2024		2	1		

Tabel 5: Oversigt over hvilke koblingsformer, der var involveret i de udvalgte hændelser. Indikeret med et "x".

Hændelse	Multivariat	Forudbetinget	Sekventiel	Geografisk spredt
1. København, 2011				
2. Dagmar+Egon, 2015			x	
3. Jylland, 2020	x	x	x	x
4. Kibæk, 2022	x			
5. Midtjylland, 2023	x			
6. Østersø, 2023	x	x		x
7. Syddanmark, 2024	x	x	x	x
8. Vinteren, 2023/2024				
9. Esbjerg+Vejle, 2024	x	x		

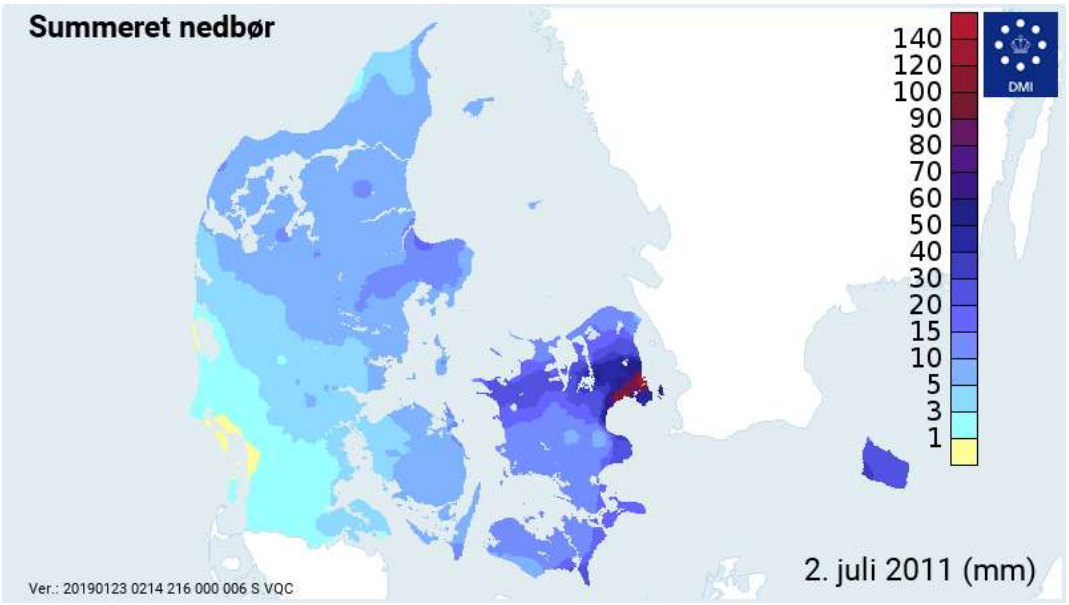
5.1. Skybruddet i København, 2. juli 2011

Type: Nedbør
Koblingsform: -
Primær årsag: Skybrud
Udbredelse: Lokal

Den 2. juli 2011 blev København ramt af et ekstremt skybrud, der forårsagede en af de mest alvorlige oversvømmelser i nyere dansk historie. I løbet af et par timer faldt der mellem 100 og 150 mm regn, hvilket er mere end en måneds normal nedbør for juli. Nedbøren var særligt intens i tidsrummet mellem kl. 19 og 21, hvor de kraftigste byger resulterede i nedbørsmængder på over 40 mm i løbet af en enkelt time.

Københavns afløbssystemer var ikke designet til at kunne håndtere så intens nedbør på så kort tid. Det resulterede i, at kloakker blev overfyldte, hvilket førte til opstuvning af blandet regnvand og spildevand med udbredte oversvømmelser af gader, tunneler og kældre til følge. Store dele af byens infrastruktur blev lammet, idet veje og jernbaner var ufremkommelige. Begivenheden medførte betydelige økonomiske tab og omfattende forsikringskrav.

Skybruddet i 2011 tydeliggjorde sårbarheder i Københavns infrastruktur og har siden medført en omfattende revurdering af klimatilpasningsstrategier i byen. Dette skybrud er et afgørende eksempel på, hvordan skybrudshændelser kan udfordre byers beredskab og infrastruktur. Hændelsen er også et eksempel på, at en lokal hændelse potentielt kan få nationale konsekvenser, da store dele af Danmarks jernbanestrækninger var tæt på at blive lagt ned af oversvømmelse i en central teknikkælder i København.



Figur 10: Nedbørsmængder målt i Danmark den 2. juli 2011. Figuren viser de store mængder nedbør over det centrale København, hvilket forårsagede de omfattende oversvømmelser.

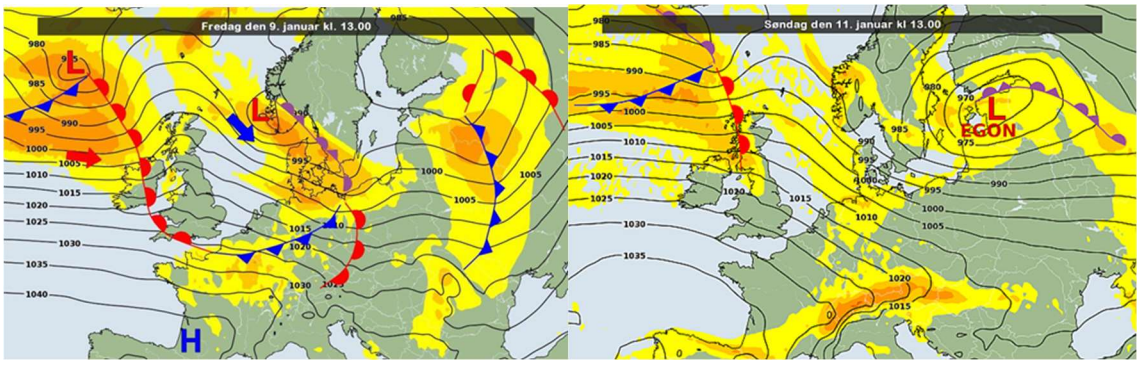
5.2. Tvillingestormene Dagmar og Egon, 9.-11. januar, 2015

Type: Hav
Koblingsform: Sekventiel
Primær årsag: To storme i en sekvens indenfor 2 døgn
Udbredelse: Regional

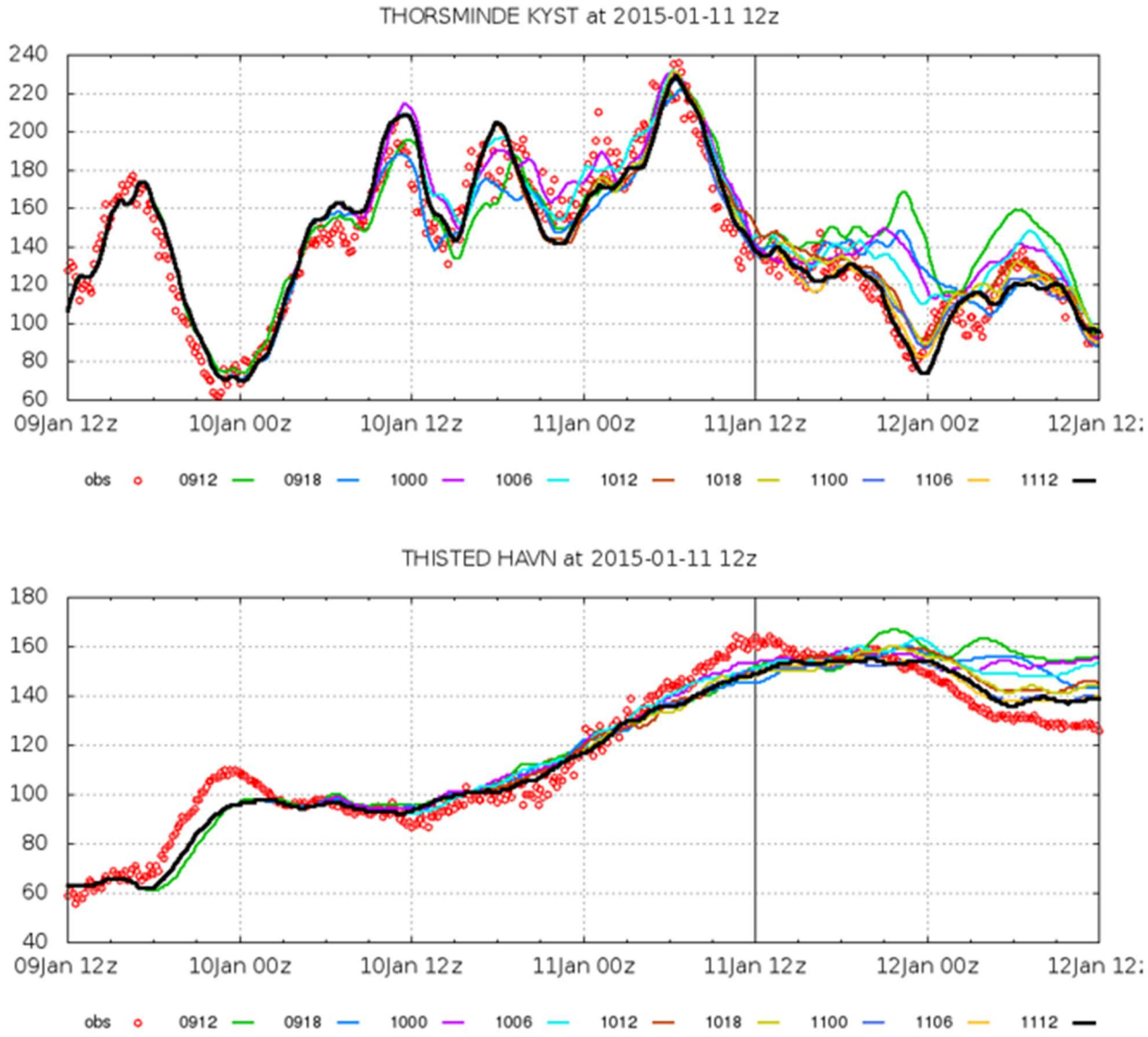
I januar 2015 blev Danmark passeret af to storme med navnene "Dagmar" og "Egon" inden for et kort tidsinterval (henholdsvis d. 9. og d. 11. januar 2015). Begge storme bragte kraftige vestenvinde med tilhørende forhøjet vandstand i havet og problemer med oversvømmelser langs flere kyststrækninger, herunder den jyske vestkyst, Limfjorden, og det nordlige Sjælland, inklusiv Roskilde Fjord og Isefjorden. Særligt i Limfjorden opstod der et klassisk eksempel på en sekventiel koblingstype. Dagmar pressede først meget havvand ind gennem Thyborøn Kanal, og vandstanden nåede herefter ikke at falde ned til normalt niveau, hvilket forværrede konsekvenserne af oversvømmelserne forårsaget af Egon under to døgn senere. Fjordbyer som Løgstør, Struer, Lemvig og Thyborøn oplevede alle kystnære oversvømmelser.

Figurerne herunder viser de meteorologiske forhold under de to hændelser, samt vandstandens forløb ved Thyborøn Kanal og Thisted Havn inde i fjorden.

Sådanne sekventielle hændelser forhindrer samfundet i at blive reetableret, og det betyder, at det kan være svært at have nok mandskab til at håndtere situationen. To hændelser efter hinanden vil ligeledes forværre skadebilledet.



Figur 11: Kort med lavtryk og fronter. Figuren viser til venstre situation midt på fredag d. 9, hvor stormen "Dagmar" lå over Danmark syd for lavtrykket over Norge, mens Stormvejret "Egon ses nordvest for Skotland. Til højre ses situationen 48 timer senere, hvor stormvejret "Egon" er ved at passere Danmark.

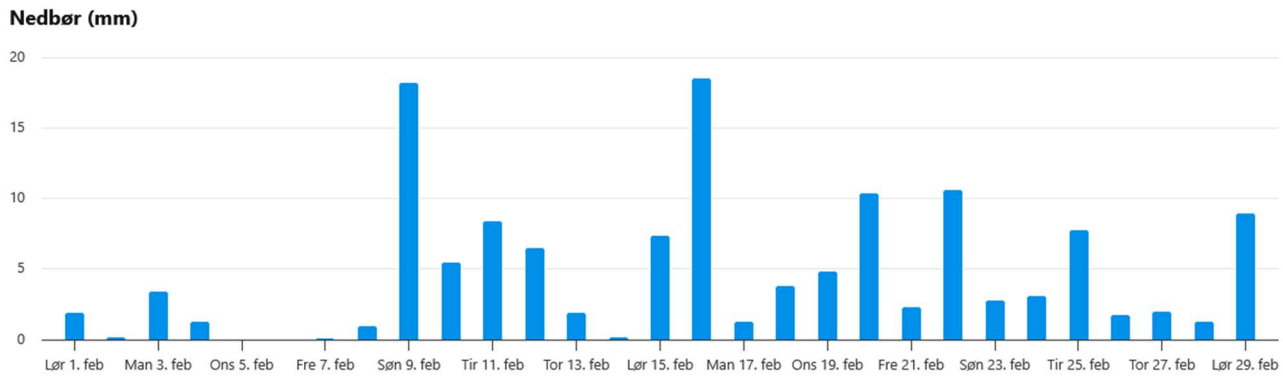


Figur 12: Figur med vandstandsmodeller og vandstandsobservationer for Thorsminde Kyst ved Thyborøn Kanal og Thisted Havn inde i fjorden. Figuren viser, hvordan der i det snævre farvand i Limfjorden kan ses et toppunkt i forbindelse med Dagmar d. 9. januar og så generelt stigende vandstand frem til Egon er passeret d. 11. januar. Linjerne er DMI's vandstandsprognoser under hændelser, og de røde cirkler er vandstandsobservationer. Bemærk at der ved vestkysten af Jylland (Thorsminde) er tidevand, så der ud over det vinddrevne bidrag ses et tidevandsmønster med toppunkt hver 12 time.

5.3. Sekventielle lavtryk over flere uger, 9.-26. februar 2020

Type: Vandløb, Hav, Nedbør
Koblingsform: Multivariat, Forudbetinget, Sekventiel, Geografisk spredt
Primær årsag: En serie af kraftige lavtryk med tilhørende frontnedbør
Udbredelse: National

Efteråret 2019 havde været særdeles nedbørrig i store dele af landet, hvilket generelt forudbetingede vandmættede jorde i store dele af vinteren 2019/2020 og øget afstrømning i mange vandløb. I februar 2020 blev Danmark så ramt af en længere sekvens af lavtrykssystemer fra Nordatlanten, som medførte kraftige vestenvinde, forhøjet vandstand langs flere kyststrækninger og gentagne episoder med store mængder frontnedbør. Den nationale gennemsnitlige nedbørsmængde i februar nåede 136 mm, hvilket gjorde det til den vådeste februar måned, DMI nogensinde har registreret.

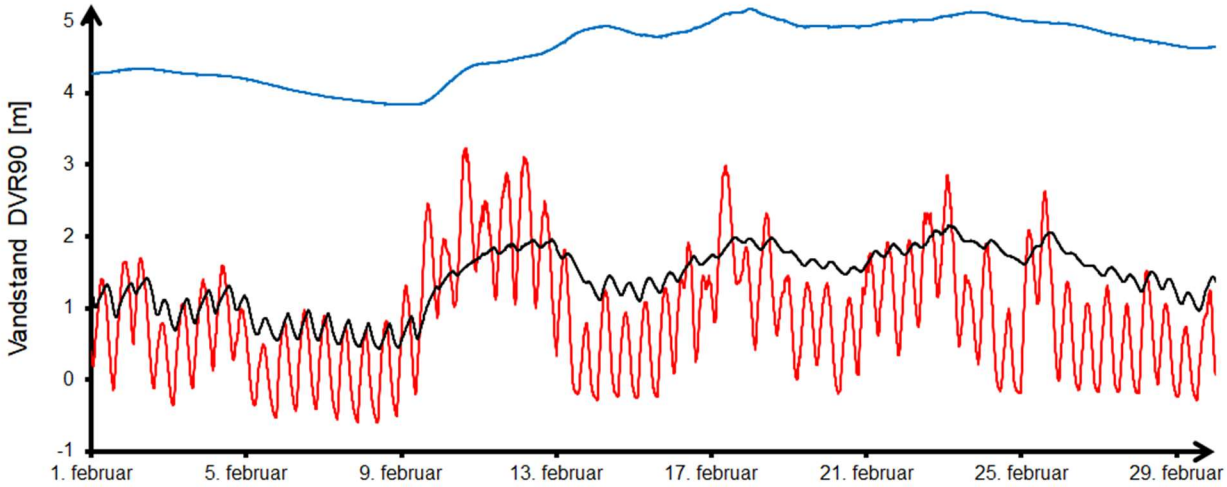


Figur 13: Landsgennemsnittet for nedbørmængderne pr. dag i februar 2020, som er den vådeste februar måned, der nogensinde er målt. Figuren viser en særdeles lang periode med regn hver eneste dag, og to store, landsdækkende frontnedbørhændelser d. 9. og d. 16., som faldt sammen med storm og højvande i langs flere kyststrækninger.

De gentagne store nedbørsmængder førte til geografisk spredte og sekventielle vandløbsoversvømmelser i mange jyske vandløb og søer, herunder langs store dele af Gudenåen, Storåen, Kongeåen, Kolding Å og Ribe Å. I Ribe Å opstod der også en typisk multivariat hav-vandløb hændelse, der samtidigt havde en sekventiel komponent også. De gentagne lavtrykspassager med kraftige vinde tvang i længere perioder Ribe kammersluse ved udmundingen af Ribe Å til at være lukket for at undgå, at havvand skulle trænge ind i land og forårsage oversvømmelser.

Kammerslusen var ikke udstyret med et pumpesystem, der kan flytte vand fra vandløbet på indersiden af slusen ud i havet, og derfor var Ribe Å's udløb blokeret i lange perioder. Konsekvensen var opstuvning indad i landet med udbredte oversvømmelser i lavtliggende markområder til følge, og til sidst efter sekventiel opbygning også vandløbsoversvømmelser inde i Ribe by.

Denne hændelse viser, at de tiltag, der er etableret for at forhindre en type af oversvømmelse (havoversvømmelse) kan være med til potentielt at forværre situationen under multivariate hændelser. De sekventielle hændelser betyder, at beredskabet har svært ved at retablere skader og sekventielle hændelser er med til at udtrætte beredskabet.



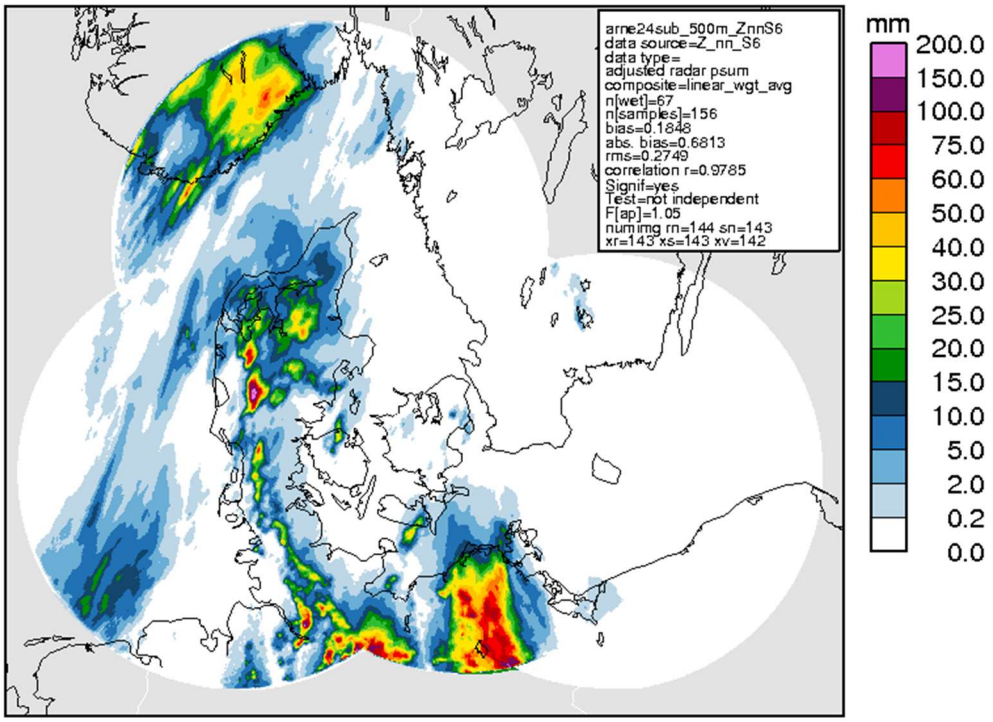
Figur 14: Figuren viser forløbet omkring den multivariate og sekventielle oversvømmelse i Ribe. Vandstanden i Vadehavet udvendigt ved Ribe Kammersluse (rød) viser store daglige tidevandsudsving samt perioder med stormdrevet høj vandstand. Vandstanden i Ribe Å opstrøms for Ribe by (blå) viser, hvordan vandføringen i åen opbygges gennem de nedbørrige uger midt i februar. Vandstanden i Ribe Å inde i Ribe by (sort) stiger kraftigt under storm, når kammerslusen lukkes, og opbygges samtidigt i løbet af perioden, hvor den ikke når ned på normalt niveau, inden den topper d. 23.

5.4. Brud på jernbanedæmning ved Kibæk, 26. august, 2022

Type: Vandløb, Nedbør, Teknisk
Koblingsform: Multivariat
Primær årsag: Ekstremt kraftigt og lokalt skybrud
Udbredelse: Lokal

Fredag d. 26. august 2022 lå en koldfront fra Vestnorge langs vestkysten af Jylland til Holland. På forsiden blev der dannet kraftige byger, som ramte flere steder i Jylland. Værst gik det dog ud over et lille område omkring den jyske landsby Kibæk, som oplevede et ekstremt skybrud. Hændelsen blev ikke registreret på DMI's målenetværk, men private målere viste henholdsvis 192 mm og 214 mm, mens DMI's radaranalyser for samme steder viser 170-183 mm nedbør og i en periode over tredobbelt skybrudsintensitet. Havde en officiel DMI-regnmåler observeret så høje værdier, ville det have været klimatologisk Danmarksrekord for største nedbørsmængde på et døgn nogensinde.

De ekstreme nedbørsmængder forårsagede kraftig overfladeafstrømning og lokale nedbøroversvømmelser. Samtidigt steg vandstanden i et meget lille vandløb uden for Kibæk, der gennem et rør er ført under en af Banedanmarks jernbanedæmninger. Vandføringen var så ekstrem, at dæmningen på spektakulær vis sprang i stykker og medførte en multivariat hændelse mellem typerne vandløb og teknisk. De opstuvede vandmængder langs dæmningen producerede, hvad øjenvidner kalder en høj flodbølge ned gennem det lille vandløb, hvilket blandt andet ramte et dambrug, og der blev efterfølgende fundet fisk oppe i træerne langs vandløbet. Jernbanestrækningen mellem Herning og Skjern var ude af drift i fire uger efterfølgende. En lignende hændelse fandt sted ved Gråsten i 2007.



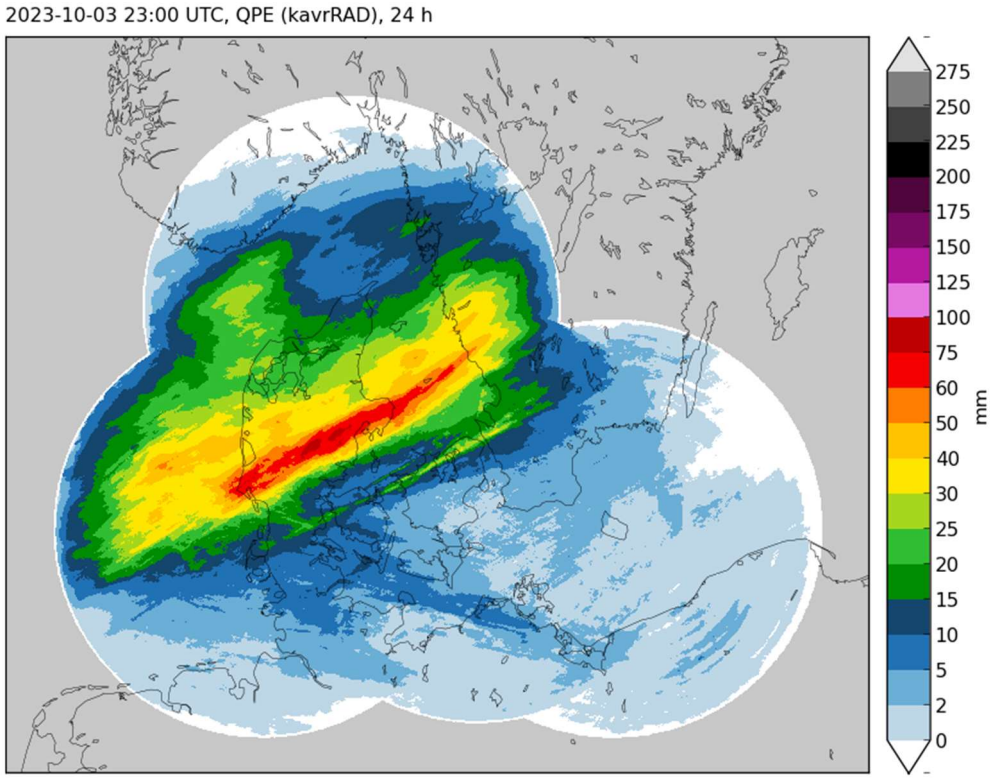
Figur 15: Rardarberegnet akkumuleret nedbør over døgnet d. 26. August, 2026. Lokal ved Kibæk i Midtjylland viser analysen mere end 150mm.

5.5. Største arealmæssige skybrud nogensinde målt, 3. oktober, 2023

Type: Vandløb, Nedbør
Koblingsform: Multivariat
Primær årsag: Lille, intenst lavtryk med kraftig konvektion
Udbredelse: Regional

I starten af oktober passerede et lille, men intenst lavtryk på tværs af landet med voldsom konvektion indbygget i et frontsystem. Samlet set var 11% af Danmarks areal udsat for skybrud under denne hændelse, hvilket arealmæssigt er det største skybrud, DMI nogensinde har målt siden den højtopløselige skybrudsovervågning begyndte i 2011. Udenfor Varde blev der registreret dobbelt skybrud, mens den højeste samlede nedbørssum blev målt til 76mm uden for Ry. Hændelsen var også særlig ved, at den faldt i oktober uden for den primære skybrudssæson i Danmarks nuværende klima.

Konsekvenserne var, at en stribe på tværs af Midtjylland fra Varde ind over Aarhus og ud på Djursland var hårdt ramt af lokale nedbørsoversvømmelser samt vandløbshændelser i mindre vandløb.



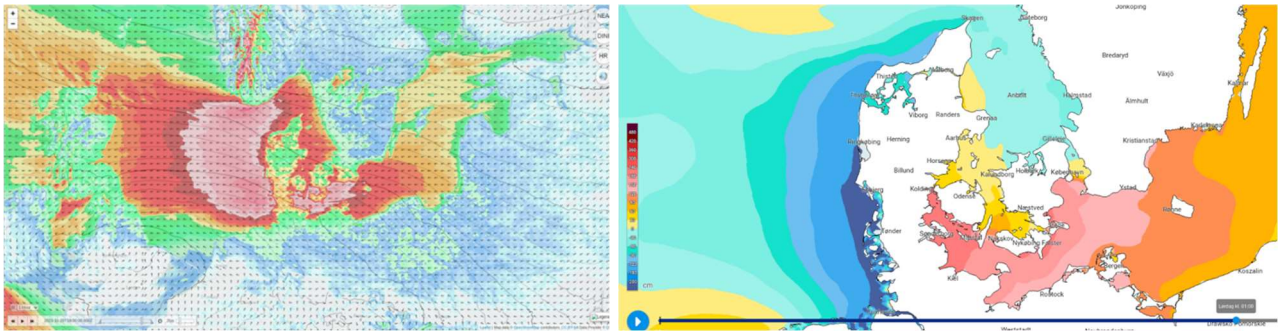
Figur 16: Nedbørmåler-justeret radardata for døgnnedbøren d. 3. oktober, 2023 viser udbredt kraftig regn over Midtjylland med en meget intens stribe af skybrud fra Varde til Djursland. Hændelsen var det arealmæssigt største skybrud registeret af DMI.

5.6. Stormflod ved den danske Østersøkyst, 19.-22. oktober 2023

Type: Hav, Vandløb, Teknisk
Koblingsform: Multivariat, forudbetinget, geografisk spredt
Primær årsag: Lavtryk med kraftige østenvinde + tilhørende frontnedbør
Udbredelse: Regional

Fra den 19. til den 22. oktober 2023 blev hele den danske Østersøkyst ramt af en markant stormflod. Indledningsvis førte flere dages kraftig vestenvind til en signifikant ophobning af vand i Østersøen, hvilket hævede vandstanden med ca. 40 cm. Hændelsen var altså forudbetinget, som det ofte ses ved stormfloder i Østersøen. Efterfølgende bevægede et lavtrykssystem over det sydlige Storbritannien, mens et højtryk etablerede sig over det nordlige Sverige. Det skabte en stor forskel i lufttrykket over Danmark og resulterede i stormende kuling med vindstød af stærk storm, der sendte det ophobede vand i Østersøen retur mod de danske og tyske kyster, sammen med høje bølger. Vejrsystemet medførte også en del nedbør i det sydlige Danmark, med regnmængder på 15-35 mm inden for 24 timer.

Den høje vandstand i havet skabte stormflod og oversvømmelser langs hele den danske Østersøkyst. Bølgerne og vinden gav skader i sig selv og besværliggjorde beredskabets arbejde. Flere steder førte regnen til "bagvand" fra vandløb og i terrænlavninger, altså multivariat hændelse mellem hav-vandløb og hav-nedbør. Hændelsen skabte en ekstraordinær belastning af beredskaberne, da alle berørte kommuner i det sydlige Danmark måtte mobilisere beredskabet samtidig. Hændelsen var varslet af DMI i god tid og inden for forventet præcision, og kombineret med en stor beredskabsindsats betød det, at der ikke var nogen dødsfald. Efter stormfloden er der anmeldt skader for 1,2 milliard kroner til Naturskaderådet.



Figur 17: Venstre: Vindprognose fra DMI's Harmonie vejrmodel for den 20/10 2023 kl 18, lavet 42 timer i forvejen. Bemærk det store område med kuling over Østersøen. Højre: Vandstandsprognose fra DMI's DKSS havmodel for samme tidspunkt. En god vandstandsprognose flere dage i forvejen er afgørende for rettidig varsling af stormfloden.

Figur 18. Fotos fra stormfloden oktober 2023. Fra venstre: Folkemødepladsen in Allinge ødelagt af bølger (Foto: Peter Aakjær). Høj vandstand i Køge Havn (Foto: Sebastian Pelt). København set fra Mosede Havn (Foto: Martin Stendel). Søndre Havnegade i Sønderborg (Foto: Tine Knudsen).

5.7. Ekstrem nedbør og flersidige oversvømmelser i Syddanmark, 2.-7. januar 2024

Type: Hav, Vandløb, Nedbør, Grundvand, Teknisk
Koblingsform: Multivariat, Forudbetinget, Sekventiel, Geografisk spredt
Primær årsag: Lavtryk med kraftige østenvinde + tilhørende frontnedbør (sne + regn)
Udbredelse: National

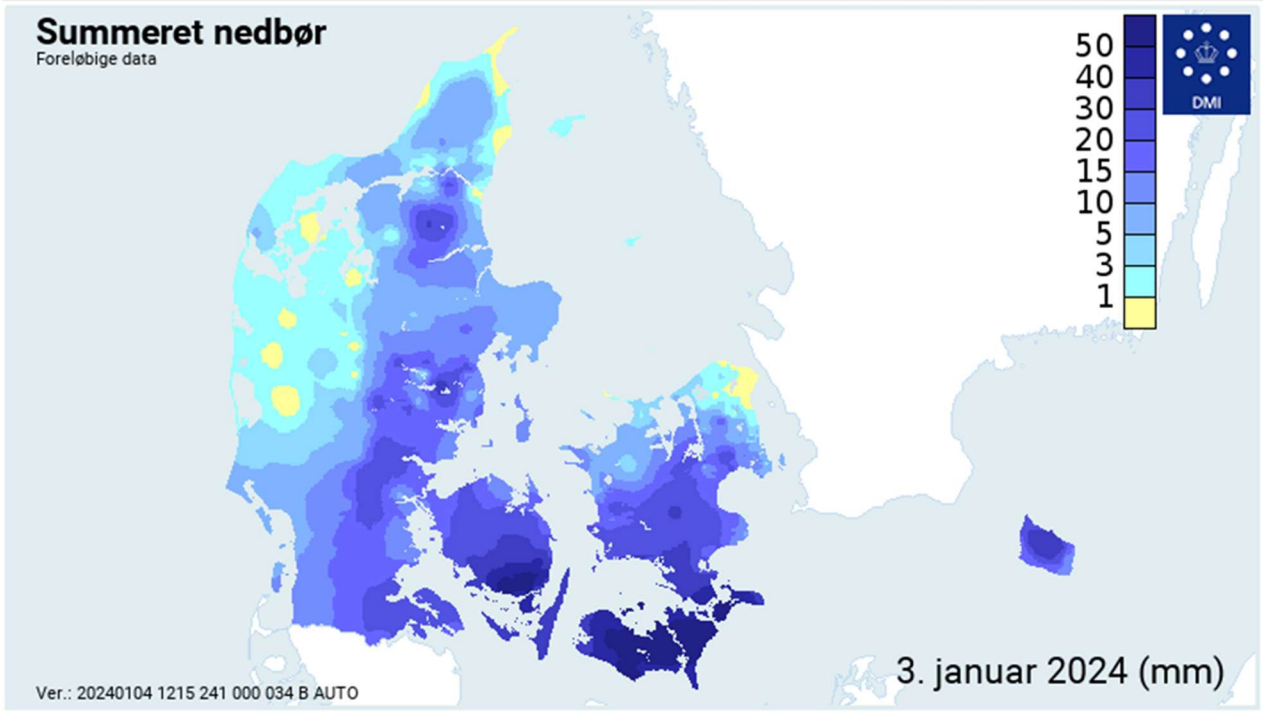
I begyndelsen af januar 2024 blev Danmark ramt af en spektakulær koblet hændelse forårsaget af et lavtrykssystem fra sydvest, der sammen med et højtryk over Finland skabte stærke østenvinde og en markant temperaturkontrast på tværs af landet. En meget fugtig atmosfære førte til store mængder regn i de sydlige dele af landet og voldsomt snefald i Midt- og Nordjylland.

Regnen var usædvanligt kraftig for årstiden og flere regnmålere på Sydfyn, Lolland og Falster slog med over 50mm Danmarksrekord for kraftigste døgnnedbør på en januardag. Hændelsen var forudbetinget af, at 2023 havde været det mest nedbørrige år i historien, så jorden var mange steder helt mættet, og der var problemer med højtstående grundvand. Regnen forårsagede store lokale nedbørs- og vandløbsoversvømmelser i de sydlige dele af landet. Umiddelbart efter hændelsen slog vejret om i langvarigt frostvejr, og flere steder opstod der problemer med, at oversvømmelserne frøs til tykke islag, inden de kunne nå at blive drænet væk. Dette forårsagede bl.a. store trafikale problemer på Lollands motorvej mod færgelejet i Rødby, som ikke var farbar på grund af is i flere dage.

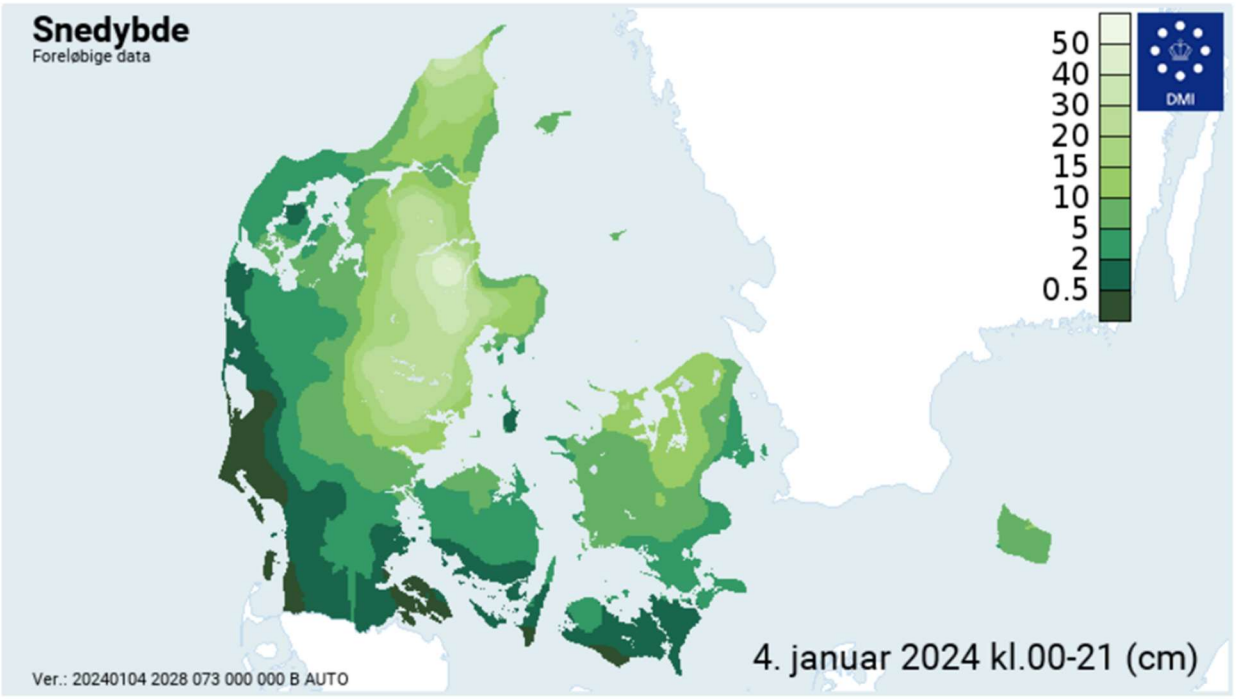
I Køge Bugt og Præstø Bugt var der forhøjet vandstand i havet, hvilket faldt sammen med kraftig afstrømning i mindre vandløb, og førte til multivariate hav-vandløb oversvømmelser. I Præstø opstod der også en sekventiel teknisk hændelse, da slusen i udmundingen i Tubæk Å var blevet slået i stykker af oktober 2023-stormfloden et par måneder forinden, og den var endnu ikke genetableret, da denne hændelse ramte.

Hændelsen huskes nok også især for de store mængder sne, som førte til, at mange bilister sad fast i et døgn på E45 motorvejen ved Randers. I dagene op til hændelsen viste vejrprognoserne dog, at frostgrænsen ville gå længere nordpå, og at Midtjylland stod til meget store mængder regn. Nogle prognoser forudså endda over de mængder, der blev senere skulle blive observeret i det sydlige Danmark. Var disse prognosescenarier blevet til virkelighed, ville de sammen med kraftigt forudbetingede høje vandløbsvandstande sandsynligvis have forårsaget vandløbsoversvømmelser, i bl.a. Gudenå-systemet, i en skala, der ikke er set før.

De geografisk spredte konsekvenser af alle de forskellige typer af oversvømmelser samt vintervejret gjorde både lokale og nationale beredskabsaktioner meget komplicerede, og beredskabet var generelt presset. I Syd- og Sønderjylland blev havvandsoversvømmelser efterfulgt af nedbørsoversvømmelser og vandløbsoversvømmelser, men da havvandsoversvømmelserne varede ved længere end forventet, var der ikke mandskab og udstyr til at sikre samfundet optimalt mod nedbørs- og vandløbsoversvømmelserne.



Figur 19: Summeret nedbør over Danmark. Figuren viser, at der faldt meget store mængder af regn over Lolland, Falster, Sydfyn og Sydsjælland årstiden taget i betragtning.

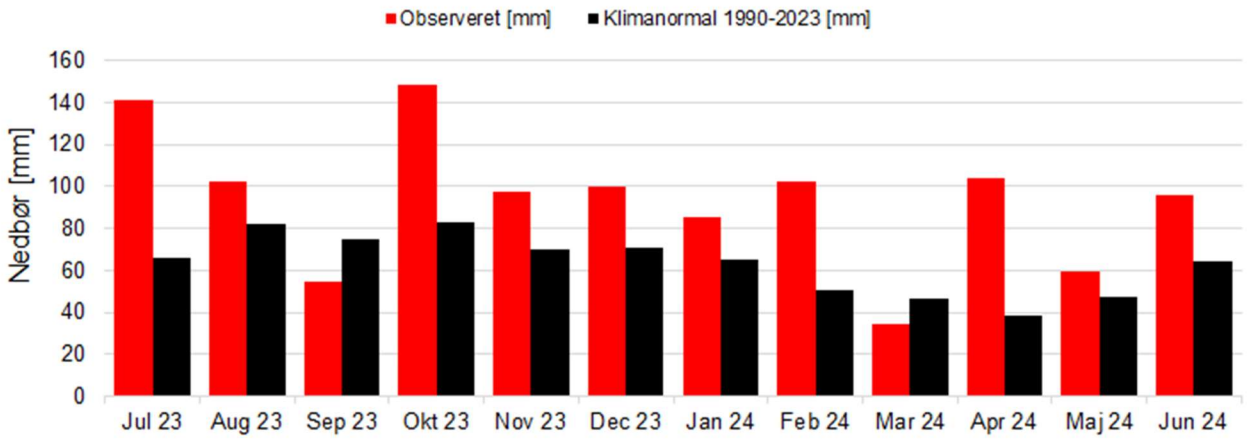


Figur 20:Snedybder målt over Danmark. Figuren illustrerer op mod 50cm de hårdest ramte steder, og der var sne ned til Trekantområdet.

5.8. Grundvandsoversvømmelser, vinteren 2023/2024

Type: Grundvand
Koblingsform: -
Primær årsag: Mange måneder i streg med nedbør langt over normalen
Udbredelse: Lokal

Kalenderårene 2023 og 2024 skrev sig ind i dansk vejrhistorie på henholdsvis første- og andenpladsen på listen over mest nedbørrige år siden begyndelsen på DMI's opgørelse fra 1870'erne. 12-måneders perioden fra juli 2023 til og med juni 2024 var exceptionelt våd, som vist på Figur 21. Sammenlagt faldt der i 12-månedersperioden 1127 mm nedbør sammenlignet med en klimanormal på 759 mm. Vintermånederne december-februar 2023-2024 var i sig selv den næstvådeste vinter nogensinde, men de vedvarende regnmængder i månederne op til vinteren førte mange steder til lokale problemer med terrænnært grundvand. Dette gælder bl.a. langvarige oversvømmelser af landbrugsområder og veje samt problemer med afledning af vand i byområder, hvor kloaksystemers funktion og fugtige kældre blev en udbredt udfordring. Det høje grundvandsspejl gav yderligere udfordringer med afledning af vand under flere af de store nedbørhændelser, som kendetegnede vinterhalvåret 2023/2024, hvilket var med til at forværre hændelser med nedbør- og vandløbsoversvømmelser.



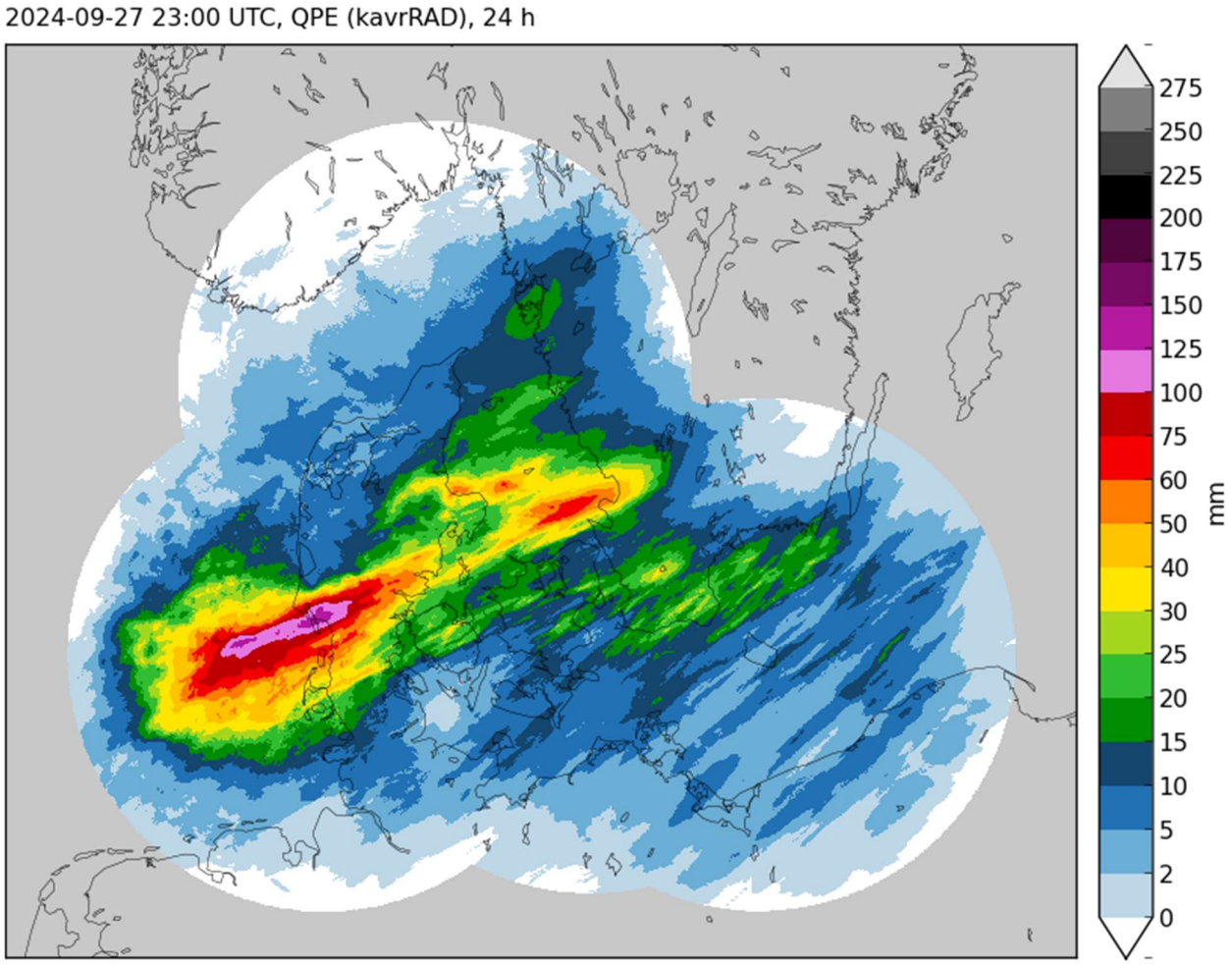
Figur 21: Den observeret nedbør på landsplan i perioden juli 2023 – juni 2024 (rød) sammenlignet med klimanormalen for perioden 1990-2020 (sort) viser, at perioden var exceptionelt våd. Kun to måneder i perioden var under klimanormalen, mens flere andre var langt over.

5.9. Esbjerg og Vejle, 27. september 2024

Type: Vandløb, Nedbør
Koblingsform: Multivariat, Forudbetinget
Primær årsag: Stationært frontsystem
Udbredelse: Regional

Fredag d. 27. lå en bølgende frontzone fra et lavtryk nord for Holland via Sydvestjylland til det sydlige Kattegat og videre til Stockholm samt Vestfinland. Fronten og de mange små lavtryk trak på langs af sig selv, hvilket resulterede i, at det regnede kraftig i mange timer i et bælte på tværs af Jylland. Den 27. september faldt der lokalt ved Esbjerg 145 mm nedbør, hvilket er den største døgnnedbør nogensinde registeret i september i Danmark.

Det resulterede i store nedbørsoversvømmelser i Esbjerg, og vandløbshændelser i flere vandløb i nærheden af byen, mens motorvejen uden for byen var lukket i flere døgn. I Vejle faldt der 50-60mm samme dag, hvilket førte til store vandløbsoversvømmelser fra Grejs Å i Vejle midtby. Denne hændelser var ydermere forudbetinget af 20-30mm nedbør, som havde mættet oplandene til Vejle Å og Grejs Å dagen forinden.



Figur 22: Nedbørmåler-justerede radardata over nedbør d. 27. september 2024. Figuren viser, at der meget store mængder regn i et bælte fra Esbjerg mod Vejle.

6. Løsninger til håndtering af oversvømmelser

Der er stor sikkerhed for, at den forventede stigning i hyppighed og alvorlighed af oversvømmelser vil have omfattende økonomiske konsekvenser. Vousdoukas et al (2020) beregner risikoen for havoversvømmelser i Europa nu og i fremtiden. De viser dels, at Danmark er blandt de mest påvirkede lande i Europa og dels, at der er en stor økonomisk gevinst ved at imødegå oversvømmelserne i form af strategiske tiltag, der mindsker risikoen for oversvømmelse. Dette kapitel har til formål at beskrive mulige overordnede tilgange til sådanne tiltag og at beskrive nogle af de overvejelser og konflikter, der opstår, når flere typer af oversvømmelser skal kunne håndteres i samme geografiske område.

To af FNs organisationer har beskrevet tilgange, som kan bruges direkte til beskrivelse af oversvømmelseshåndtering: Sendai-rammen for katastrofe- og risikoforebyggelse omhandler håndtering af aktuelle risici, mens IPCC fokuserer på klimatilpasning og dermed især farer, der stiger over tid. Derfor vil nedenstående beskrivelse være baseret på IPCCs beskrivelser og terminologi. Samtidigt skal klimatilpasning også afpasses efter andre udviklingsmål for samfundet på nationalt plan. Derfor har IPCC i sin seneste rapport defineret klimatilpasning som en del af klimaresilient udvikling, hvor tilgangen til klimatilpasning er, at man ved alle tiltag skal afveje behovet for at mindske risiko som følge af klimaændringer i forhold til behovet for at reducere drivhusgasser samt understøtte implementering af FNs bæredygtighedsmål (IPCC, 2022).

Der er i Danmark stort fokus på metoder, der fysisk beskytter eksisterende værdier, men både herhjemme og internationalt er der også et stort behov for løbende læring og ikke-fysiske tiltag. Kapitlet er derfor opbygget, så der først er en generel oversigt over strategier og metoder til håndtering af stigende risiko for oversvømmelser, der både indeholder fysiske og ikke-fysiske tiltag. De to efterfølgende afsnit har et højt fokus på strategier for og tiltag til fysisk beskyttelse.

6.1. Valg af tilgange til håndtering af oversvømmelse

IPCC beskriver risikoen som det (årlige) forventede tab som følge af en konkret fare, herunder oversvømmelser. Ifølge modellen kan risiko i forbindelse med klimahændelser beskrives ved fare, eksponering og sårbarhed. Farebeskrivelsen er her en kvantitativ beskrivelse af faren for oversvømmelse, og hvordan den vil ændre sig over tid. Sårbarheden er de ting, vi værdsætter, og som potentielt vil kunne beskadiges ved en oversvømmelse, mens eksponeringen er den konkrete kobling mellem faren og sårbarheden, altså hvilke sårbare effekter, der udsættes for den fare, der er beskrevet. Som nævnt er IPCCs seneste rapport om klimatilpasning meget generisk i sin tilgang til at håndtere klimatilpasning. Derfor tages i det følgende udgangspunkt i IPCCs rapport fra 2012 (IPCC, 2012), der specifikt beskriver konkrete tilgange til klimatilpasning, herunder oversvømmelser. Der er tre hovedtilgange, hvoraf de to er opdelt i flere principielt forskellige tilgange:

1. Mindske risikoen
    a. Mindske sårbarheden
    b. Mindske eksponeringen
2. Dele, samle eller overføre risikoen

3. Håndtere residualrisiko og usikkerheder
    a. Forberede, varsling og beredskab, hurtigt at genvinde normale tilstande
    b. Øge resiliens og robusthed
    c. Transformation

Tilgangen er dermed, at man i en given situation tager udgangspunkt i et scenarie for klimaændringer, og så tilpasser sig til det scenarie. Endvidere understreges det, at uanset den valgte tilgang er læring og oplysning helt centralt for at komme i mål med klimatilpasning. Nedenfor diskuteres de forskellige tilgange kort.

Mindske sårbarheden
På globalt plan nævnes især at mindske sårbarheden ved at gøre uligheden i samfundet mindre, fordi udsatte befolkningsgrupper ofte lever på udsatte lokaliteter. Det gælder både i forhold til fattigdom samt adgang til viden og beslutningstagning. Endvidere nævnes helt konkret muligheden for at mindske skader ved at ændre på bygningsreglementer, adgangsveje m.v. og give mulighed for at opbygge lokale netværk, der kan understøtte hinanden i tilfælde af kriser.

Mindske eksponeringen
På større skala er det især relevant at overveje at ændre arealanvendelse og etablere konkret infrastruktur til at beskytte områder samt etablere incitamenter til tiltag, der mindsker eksponeringen. Bygningsreglementer kan også bruges til at sikre bygninger lokalt, altså at vandet ikke kommer i kontakt med sårbare dele af bygninger.

Dele, samle eller overføre risikoen
Forsikring i form af private eller offentlige ordninger er den mest almindelige tilgang til at dele og samle den økonomiske risiko. I Danmark håndterer Naturskaderådet og den private forsikringsbranche i høj grad skader fra oversvømmelseshændelser, men ikke alle lande har tilsvarende ordninger. IPCC lægger vægt på, at overførsel af risiko mellem forskellige aktører er vigtige at forstå og gøre transparent, samt at det er vigtigt, at risikoen ikke bliver for stor, fordi ordningerne derved trues. Styringen af risiko på nationalt plan indebærer mulighed for både tilsigtede og utilsigtede incitamenter til at øge og mindske risikoen.

Forberede, varsling og beredskab, hurtigt at genvinde normale tilstande
IPCC fremhæver at opbygge varslingssystemer som en billig og effektiv tilgang til at håndtere konkrete oversvømmelseshændelser og mindske deres effekter. Disse varslingssystemer skal så suppleres både med et godt beredskab, der kan agere på varslingen og med planer for genopbygning af såvel konkrete værdier som kritisk fysisk og ikke-fysisk infrastruktur, der får samfundet til hurtigt at fungere igen.

Øge resiliens og robusthed
Et resilient system kommer sig hurtigere fra chok end andre systemer. Resiliens kan omfatte såvel tekniske som organisatoriske forhold og kan f.eks. indebære opbygning af polycentriske og redundante systemer. Det indebærer konkret, at tendenser til centralisering og effektivisering skal ske ud fra et hensyn til ikke at samler for mange typer af kritiske funktioner i et lille område, hverken fysisk eller organisatorisk. Fryd og Jørgensen (2020) har en grundig introduktion til resiliens i forbindelse med oversvømmelser. Robuste systemer påvirkes mindre af variationer i belastninger og pludselige chok.

Transformation
Transformation af samfundet er tæt knyttet til begrebet resiliens. Det har dog et længere tidsmæssigt perspektiv og inddrager også de øvrige tilgange til håndtering af oversvømmelser i en samlet strategi, der også forholder sig til usikkerheder på såvel klimaeffekter og øvrige samfundsudviklinger. Et særligt aspekt ved transformationen er, at det er forbundet med længere planlægningshorisonter. Det er nødvendigt for at sikre, at transformationen sker med skyldig hensyntagen til, at alle de grundlæggende funktioner, der fungerer i dag også fungerer både under og efter transformationen.

Diskussion af tilgange
IPCC (2022) diskuterer fremdriften i viden om tilgange til klimatilpasning. Det konstateres, at viden om konkrete tiltag generelt er forøget, men også at behovet for klimatilpasning i mange lande vokser hurtigere end de tiltag, der iværksættes. I Danmark har der været både strukturelle og ikke-strukturelle tiltag i form af dels Klimatilpasningsplan 1, Puljen til kystbeskyttelse, opbygning af nyt varslingssystem for vandløb og søer samt en række initiativer på mere lokalt plan. En af udfordringerne med at anvende tiltag som f.eks. at øge resiliens og robusthed er manglen på international litteratur, der understøtter den relative effektivitet af sådanne tiltag i sammenligning med mere strukturelle tiltag. Således dominerer studier såsom Vousdoukas et al (2020) i den internationale litteratur, hvor fysiske tiltag er de eneste tiltag, der vurderes på nationalt niveau.

6.2. Strategier med hovedvægt på fysiske tiltag:

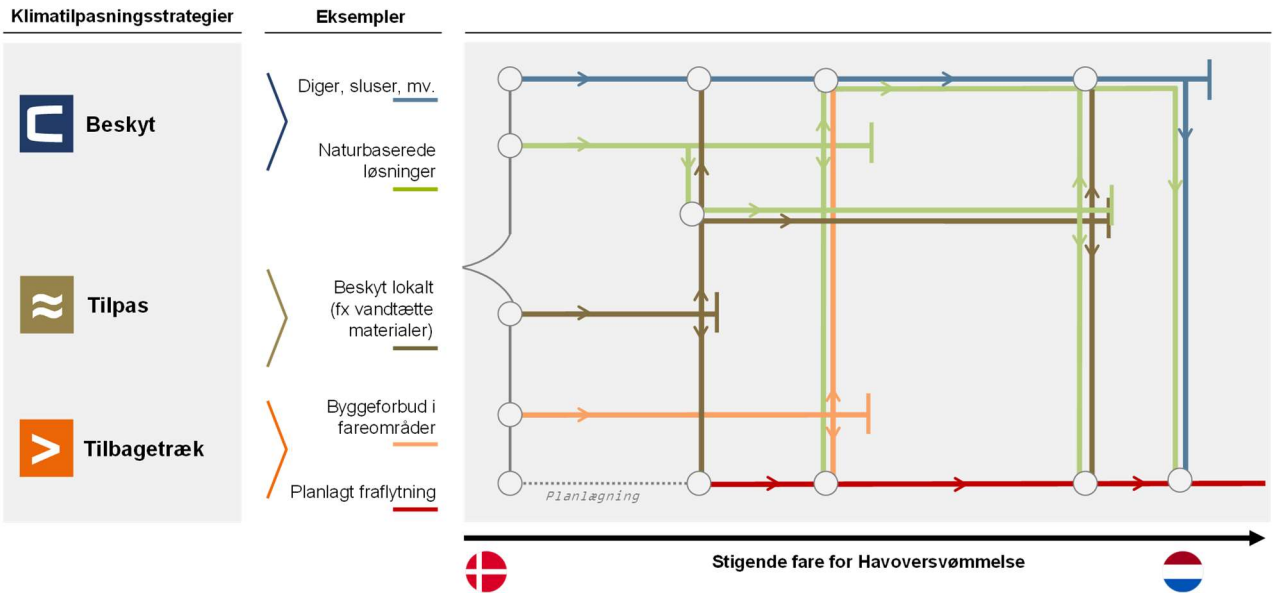
IPCC (2022) tager i sin beskrivelse af strategier for mulige fysiske tiltag udgangspunkt i den metode, der på dansk er kendt som Dynamisk Adaptiv Planlægning, DAP (Kystdirektoratet, 2020). Figur 23 viser en forsimplet udgave af IPCCs illustration af DAP. Den anviser typiske overvejelser omkring valg af strategier for områder, der endnu ikke er voldsomt påvirket af fysiske tiltag, og hvor der derfor er mange muligheder. Udgangspunktet er, at man til enhver tid har forskellige mulige strategier, man kan forfølge, men at ingen af dem nødvendigvis vil være ideelle altid, og at det ikke nødvendigvis er muligt at skifte frit mellem de mulige strategier, hvorfor langtidsovervejelser har stor værdi (f.eks. Radhakrishnan et al, 2019).

Figur 23 giver en visuel illustration af, at når man har forfulgt en strategi i nogen tid, er der en fare for, at man ikke kan fortsætte strategien, og at der vil være forskellige andre strategier, det ikke længere er realistisk at skifte til. Der vil altid være væsentlige omkostninger ved at skifte den overordnede strategi for et givet område. En konkret strategi for et større område vil naturligt indeholde elementer af alle tre typer af strategier og være suppleret med væsentlige elementer af ikke-strukturelle tiltag.

Som angivet på figuren har Danmark stadig en lang række muligheder at vælge imellem for klimatilpasning til stigende havvand målt i forhold til, hvad der er teknisk muligt. Nederlandene har i mange år fulgt en strategi om konstruktion af diger, der låser valgmulighederne betydeligt, herunder også hvilke typer af ikke-strukturelle tiltag, der er realistiske at anvende. Som eksempel kan nævnes, at forsikringsordninger er og fortsat kan være en væsentlig del af Danmarks klimatilpasningsstrategi. Dette virker ikke realistisk for Nederlandene, fordi det er hele landets funktion, der vil blive lammet såfremt en ekstremt voldsom og meget sjælden hændelse indtræffer.

I forhold til strukturelle tiltag har Danmark størst erfaring med beskyttelsesstrategier ved hjælp af hårde løsninger for Havoversvømmelser, mens man for både Nedbørsoversvømmelser og Vandløbsoversvømmelser også i vidt omfang har anvendt naturbaserede løsninger. På linje med mange andre lande er der færre erfaringer med strategier for tilpasning og tilbagetrækning.

Der er flere mulige tiltag, der kan vælges for reducere eksponeringen eller sårbarheden i forbindelse med en oversvømmelse. Vand kan holdes væk fra sårbare områder ud fra tre overordnede strategier (Figur 23).



Figur 23. Eksempel på en visualisering af forskellige tilgange til fysiske tiltag til håndtering af stigende fare for Havoversvømmelse. Forskellige tilgange indenfor hver strategi vil have forskellige "slutpunkter", hvor man er nødt til at skifte strategi. For Havoversvømmelser er den tekniske grænse for Beskyt i praksis over 10 meter, for Tilpas formentlig under 5 meter. Det danske og nederlandske flag viser den omtrentlige placering af de to lande på fare-skalaen, hvor Nederlandene i mere end 70 år primært har benyttet en Beskyt strategi, men nu må vælge flere tilgange.

1. Beskyt (hold vandet væk) (eng: protect)
   Målet er at holde vandet ude fra udsatte områder og forhindre eksisterende bebyggelse og infrastruktur i at komme i kontakt med oversvømmelsen. Denne strategi vil typisk komme til udtryk i diger eller lignende strukturer, der muliggør at eksisterende værdier kan bibeholdes, hvor de er.

2. Tilpas (tolerer oversvømmelsen) (eng: accommodate)
   I stedet for at blokere vandet tilpasses værdier i de udsatte områder, så en oversvømmelse ikke giver væsentlig skade. Tiltag i denne kategori kunne f.eks. være forhøjede sokler på huse eller at anvende andre byggematerialer.

3. Tilbagetræk/undgå (flyt værdier) (eng: retreat/avoid)
   Denne strategi indebærer en ændret arealanvendelse med det formål at give vandet mere plads ved at fjerne eller begrænse byggeri i særligt udsatte områder eller aktivt at fjerne eksisterende værdier fra områder. Den sidste tilgang stiller større krav til planlægningsprocessen, og derfor er der i Figur 23 indsat en særlig planlægningsperiode for denne strategi, inden der i praksis er resultater.

Disse tre strategier kan kombineres afhængigt af oversvømmelsestypen og de lokale forhold. Endvidere kan de naturligvis kombineres med de ikke-strukturelle tiltag, som er diskuteret kort i afsnit 6.1. Tabel 6 viser eksempler på, hvordan strategierne anvendes til forskellige oversvømmelsestyper med eksempler på forskellige fysiske løsningtiltag.

6.3. Betydningen af koblede hændelser i forhold til valg af strategi

Koblede hændelser, hvor flere oversvømmelsestyper optræder samtidigt eller forstærker hinanden, stiller ekstra krav til strategivalg. Når f.eks. skybrud, stormflod og terrænnært grundvand optræder samtidigt, kan én strategi alene være utilstrækkelig, og løsninger kan påvirke hinanden på uforudsete måder.

Generelt kan Beskyt-løsninger være utilstrækkelige ved koblede hændelser, hvis de undervurderer de koblinger, som vil optræde fremadrettet. Et dige kan beskytte effektivt mod stormflod, men er sårbart over for fejlskøn på belastningen fra koblede hændelser på den side af diget, der skal være tør. I det tilfælde kan systemet miste sin funktion og potentielt forværre oversvømmelsen. I disse tilfælde er der behov for at indbygge resiliente og robuste tiltag, hvor systemer som sluser og pumper med fleksibel styring sikrer funktionaliteten på tværs af løsninger sammen med andre tiltag. Tilbagetræk-strategier er ofte de mest robuste mod koblede hændelser, da der skabes plads til vand, uanset hvor det kommer fra. Som nævnt er de dog ekstra vanskelige at implementere, ikke mindst i tæt bebyggede områder.

Tabel 7 viser en oversigt over eksempler på koblede hændelser og deres udfordringer, som man skal være opmærksom på i forbindelse med udvikling af konkrete strategier for Beskyt tiltag.

Tabel 6: Eksempler på fysiske løsningstiltag for hver oversvømmelsestype. Nedenstående er ikke en udtømmende liste. Ligesom i Figur 23 er der taget udgangspunkt i Havoversvømmelser.

Årsag / Strategi	Beskyt Hold vandet væk	Tilpas Lev med vandet/tolerer vandet	Tilbagetræk Giv plads tilbage til vandet
Hav	Hårde barrierer Dige Kystsikringsmur/højvandsmur Sluse Lukket dæmning Stormflodporte og klapper Udnyttelse af eksisterende infrastruktur Pumpesystemer Kunstige kanaler Regulerbare overløb Bløde barrierer Sandfordring og klitforstærkning Terrænregulering Sandø Hybridløsninger Midlertidige implementeringer Mobile beredskabsløsninger som vandbarrierer, oppustelige dæmninger	Bygningsmæssige tilpasninger Byggeri tilpasset oversvømmelser f.eks. på pæle eller højere placering af hvidevarer og elnet.	Strategisk tilbagetrækning Planlagt opgivelse af lavtliggende områder Zoner Naturlige løsninger Kystnære vådområder og naturlige bufferzoner
Vandløb/Sø	Dige, sluse, pumper Vandløbskapacitet (grødeskæring og udgravning) Dobbeltprofiler	Bygningsmæssige tilpasninger Byggeri tilpasset oversvømmelser f.eks. på pæle eller højere placering af hvidevarer og elnet. Afgrødevalg	Vådområder og naturlige oversvømmelsesområder Genslyngning af vandløb Kunstige søer
Nedbør	Grønne tage, Permable belægninger og andre mindre LAR anlæg Styring Øge kloakkapacitet (rør, underjordiske bassiner) Forhøjede kantsten Skybrudstuneller Højvandslukke Ingen afløb i kælderen	Forhøjede sokler Ændrede byggematerialer og rumanvendelser	Planlagte forsinkelsesområder i byrum (Sænket byrum og multifunktionelle løsninger) Regnbede Større arealer Nye vådområder
Grundvand	Infiltration Dræning Pumpning Ændret afledning	Styrkede fundamenter	Arealudtag til grundvandsfølsomme områder Permanente eller midlertidige vådområder Øget afvanding på overfladen
Teknisk	Forstærkning og vedligeholdelse af infrastruktur Forbedret beredskab Nødsystemer Back-up infrastruktur		Mindske behovet for det tekniske anlæg

Tabel 7: Eksempler på udfordringer og løsningsmuligheder for klimatilpasning ved forskellige koblede hændelser med udgangspunkt i Beskyt tiltag. Der er taget udgangspunkt i disse tiltag, da de generelt udgør den største udfordring i forbindelse med koblede hændelser. Rækkerne angiver den oversvømmelsestype, som et tiltag implementeres mod, mens kolonnerne angiver påvirkninger af disse tiltag på andre oversvømmelsestyper.

Tiltag \ påvirkning	Hav	Vandløb	Nedbør	Grundvand
Hav	Marginal utilsigtet virkning	Afstrømning forhindres	Afstrømning forhindres	Naturlig variation mindskes Grundvandsstand øges
Vandløb	Marginal påvirkning	Overbelastning flyttes nedstrøms	Overbelastning flyttes nedstrøms	Mindsker grundvands-dannelse Tilbagestuvning i drænsystemerne
Nedbør	Marginal påvirkning	Overbelastning flyttes nedstrøms	Overbelastning flyttes nedstrøms	Ændret grundvands-dannelse
Grundvand	Saltvands-indtrængning	*Forbedring ift forudbetingede hændelser* Overbelastning flyttes nedstrøms	*Forbedring ift forudbetingede hændelser* Overbelastning flyttes nedstrøms	Marginal utilsigtet virknig

7. Konklusion

I løbet af blot de seneste 15 år er der i Danmark sket en række store oversvømmelser, som har medført markante skader i det danske samfund. Det er sandsynliggjort, at denne udvikling vil fortsætte som følge af bl.a. menneskeskabte klimaforandringer, men også voksende byudvikling i attraktive, men oversvømmelsestruede områder. Det vil indebære, at hver af de fire typer af naturligt forekommende oversvømmelser, Havoversvømmelser, Vandløbsoversvømmelser, Nedbørsoversvømmelser og Grundvandsoversvømmelser, vil stige i antal og/eller alvorlighed i fremtiden. Det forventes, at også de såkaldte Tekniske oversvømmelser vil stige i fremtiden, hvor tekniske anlæg udsættes for situationer, de ikke i sin tid blev bygget til at kunne modstå.

Der forventes at være en kraftig stigning i antallet af koblinger mellem forskellige typer af oversvømmelser i fremtiden. Hver type af oversvømmelser vil forekomme over større dele af året, og det alene vil sikre, at flere typer af hændelser optræder samtidigt. I nogle tilfælde vil det endog være de samme meteorologiske forhold, der medfører en samlet større oversvømmelse, fordi flere årsager spiller sammen. Det vil derfor for mange konkrete oversvømmelser være vanskeligt at udpege en enkelt årsag til hændelsen, idet flere årsager bidrager til den samlede effekt. Det vil påvirke, hvordan oversvømmelsen skal håndteres, både helt konkret når oversvømmelsen forekommer og også mere generelt ved overvejelser omkring planlægning og organisation. Det er vanskeligt at kvantificere præcist hvilke typer af koblinger, der vil være dominerende, og hvor store konsekvenserne vil være af disse fremtidige koblede hændelser.

Man kan ved at kigge på topografien for et område i grove træk forudsige både hvilke typer af oversvømmelser, der kan ske, og omtrent hvor de sker. Det kan ske på forskellige niveauer fra små områder til nationale overblik, som derefter kan sammenlignes med, hvilke områder der er særligt sårbare over for oversvømmelser.

Der er allerede nu eksempler på meget store og skadevoldende koblede hændelser. For en del af disse historiske hændelser er der tale om ganske voldsomme effekter, hvor retablering af alle samfundsfunktioner har taget lang tid. Hændelserne har endvidere i nogle tilfælde påpeget sårbarheder, hvor bl.a. kritisk infrastruktur har været meget tæt på at blive påvirket.

Den manglende viden omkring koblingernes betydning er ikke et argument for at forsinke eller mindske indsatsen for klimatilpasning. Der er robust evidens for, at effekten af hver type af oversvømmelser vil stige, og at flere og kraftigere koblinger medfører et behov for en helhedstænkning i den kommende klimatilpasning. Det er relevant at undersøge flere strategier og flere typer af tiltag i forbindelse med klimatilpasning, herunder også brugen af ikke-strukturelle tiltag såsom varsling, uddannelse samt tiltag til at sikre mere resiliens og robusthed i samfundet.

I nogle tilfælde vil den mest oplagte strategi for at håndtere en type af oversvømmelse gøre håndtering af en anden type oversvømmelse mere vanskelig. Havoversvømmelser er med stor sikkerhed den største udfordring i fremtiden. Tilpasning til denne udfordring vanskeliggøres af, at flere typer af koblinger til flere andre typer af oversvømmelser forventes at optræde samtidigt med Havoversvømmelser i fremtiden. Klimatilpasning består

netop i at balancere forskellige muligheder, udfordringer og risici på forskellige tidsmæssige og geografiske skalaer. Vi håber, at nærværende rapport kan bidrage til, at der i Danmark er etableret et sprog og en større fælles forståelse for udfordringerne, der gør det lidt nemmere for relevante aktører sammen at have de dialoger, der er nødvendige for, at beslutninger kan træffes på et oplyst grundlag.

Referencer

DMI, 2025. Klimaatlas. Hjemmeside. URL: https://www.dmi.dk/klimaatlas/ Downloaded marts 2025.

EU, 2007. Europa-parlamentets og rådets direktiv 2007/60/ef af 23. oktober 2007 om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser. Downloaded marts 2025 fra https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060

Fryd og Jørgensen (Ed.). 2020. Byerne og det stigende havvand – Statusrapport 2019. Byerne og det stigende havvand - Statusrapport 2019. IGN Rapport. Downloaded marts 2025 fra https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/byerne-og-det-stigende-havvand-status

GEUS, 2025. Hydrologisk Informations- og Prognosesystem. Hjemmeside. URL: https://hipdata.dk/ Downloaded marts 2025.

IPCC 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Intergovernmental Panel on Climate Change. Downloaded marts 2025 fra https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf

IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Downloaded marts 2025 fra https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

Kystdirektoratet. 2020. Guide til dynamisk planlægning af klimatilpasning og styring af risikoen for oversvømmelse i kommuner. Kystdirektoratet, Miljø- og Fødevareministeriet, 2020. Downloaded marts 2025 fra https://kyst.dk/media/wyydacyn/guide-til-dynamisk_planlaegning-af-klima-tilpasning-og-styring-af-risikoen.pdf

Leonard, Michael, Seth Westra, Aloke Phatak, Martin Lambert, Bart van den Hurk, Kathleen McInnes, James Risbey, Sandra Schuster, Doerte Jakob, and Mark Stafford-Smith. "A compound event framework for understanding extreme impacts." Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 5, no. 1 (2014): 113-128.

Miljø og Ligestillingsministeriet (2020). Bekendtgørelse om fastsættelse af serviceniveau m.v. for håndtering af tag- og overfladevand. Bek nr 2276 af 29/12/2020. Downloaded fra Retsinformation marts 2025.

Murray, V., Abrahams, J., Abdallah, C., Ahmed, K., Angeles, L., Benouar, D., Brenes Torres, A., Choe, C.H., Cox, S., Douris, J., Fagan, L., Fra Paleo, U., Han, Q., Handmer, J., Hodson, S., Khim, W., Mayner, L., Moody, N., Moraes, L.L.O., Nagy, M., Norris, J., Peduzzi, P., Perwaiz, A., Peters, K., Radisch, J., Reichstein, M., Schneider, J., Smith, A., Souch, C., Stevance, A.S., Triyanti, A., Weir, M., Wright, N. (2021). Hazard Information Profiles: Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review – Technical Report. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Paris, France: International Science Council. DOI: 10.24948/2021.05. Tilgængelig på: https://www.undrr.org/publication/hazard-information-profiles-hips [Adgang: 16/01/2025].

Pedersen, A., Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K. 2012. Climate change induced impacts on urban flood risk influenced by concurrent hazards. Journal of Flood Risk Management, 5, 3, 203-214. DOI: 10.1111/j.1753-318X.2012.01139.x

Radhakrishnan, M., Löwe, R., Ashley, R.M., Gersonius, B., Arnbjerg-Nielsen, K., Pathirana, A.,, Zevenberger, C. 2019. Flexible adaptation planning process for urban adaptation in Melbourne, Australia. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability 172(7): 393–403, https://doi.org/10.1680/jensu.17.00033

Seneviratne, S. I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, F. Doblas-Reyes, et al. 2021. “Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate.” In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, et al. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896.011.

Su, J., Pedersen, J. W., Ringgaard, I. R., Larsen, M. A. D. (2025). Incorporating compound flood events in the weather service value chain. npj Natural Hazards **2**, 26 (2025). https://doi.org/10.1038/s44304-025-00077-4

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2020. Hazard definition and classification review: Technical report. Tilgængelig på: https://www.undrr.org/publication/hazard-definition-and-classification-review-technical-report [Adgang: 16/01/2025].

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

Zscheischler, Jakob, Seth Westra, Bart JJM Van Den Hurk, Sonia I. Seneviratne, Philip J. Ward, Andy Pitman, Amir AghaKouchak et al. "Future climate risk from compound events." Nature climate change 8, no. 6 (2018): 469-477.

Zscheischler, Jakob, Olivia Martius, Seth Westra, Emanuele Bevacqua, Colin Raymond, Radley M. Horton, Bart van den Hurk et al. "A typology of compound weather and climate events." Nature reviews earth & environment 1, no. 7 (2020): 333-347.

Tidligere rapporter

Tidligere rapporter fra Danmarks Meteorologiske Institut kan findes på adressen:
https://www.dmi.dk/publikationer/

Bilag 1: Proces for opsætning af oversvømmelsestypologi

Som beskrevet i hoveddelen af rapporten er vandets kredsløb et komplekst kontinuum af fysiske processer i rum og tid tilsat en stor del menneskelig intervention. Dette kan besværliggøre kommunikation om og forståelse af oversvømmelser blandt fagfolk med mange forskellige baggrunde (naturvidenskabelig, ingeniørmæssig, juridisk, politisk, etc.) og ikke mindst i den generelle offentlighed. Ved at definere en kort liste af generelle oversvømmelsestyper håber det, at denne rapport kan være med til at:

1. forenkle kompleksiteten omkring oversvømmelser til et overskueligt sæt af enkeltstående typer,
2. lette kommunikationen blandt samfundsaktører ved oversvømmelsesproblematikker, og
3. levere praktisk anvendelige definitioner af de forskellige typer.

Når man forsøger at bygge en diskretiseret typologi over komplekse kontinuerte systemer, er der en række risici involveret, som forfatterne af denne rapport har forsøgt at imødegås i videst muligt omfang:

1. Det kan være svært at definere præcise og objektive grænser mellem typerne, og man risikerer at miste information/præcision især i typernes grænseovergange.
2. Hvilke parametre og egenskaber, der indgår som grundlag for opdelingen, vil til en hvis grad være subjektive.
3. Hvis systemet ændrer sig over tid, kan en typologi blive forældet.

I et nyligt publiceret studie har DMI anvendt en faretype-kortlægning fra UNDRR og tilpasset den til danske forhold (Su et al., 2025). Samme tankegang anvendes her.

1.1. Kortlægning af faretyper i FN-regi

I FN-regi har United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) det primære ansvar for at hjælpe med implementeringen af Sendai-rammen for katastroferisikoreduktion 2015-2030. Som led i dette arbejde nedsatte de sammen med International Science Council i 2019 en teknisk arbejdsgruppe, der fik til opgave at afhjælpe problemet med at forskellige organisationer og lande havde inkonsistente definitioner og klassifikationer af farer, hvilket vanskeliggjorde globalt samarbejde, dataindsamling og effektiv risikostyring. Gruppen bestod af over 500 tekniske eksperter fra FN-organisationer, videnskabelige netværk, den private sektor osv.

Resultatet af arbejdet har medført en standardiseret fareliste med over 302 forskellige farer grupperet i otte kategorier: (1) Meteorologiske og hydrologiske farer, (2) Geologiske farer, (3) Biologiske farer, (4) Kemiske farer, (5) Miljøfarer, (6) Teknologiske farer, (7) Samfundsrelaterede farer, (8) Udenjordiske farer. Dette omfatter brugen af fælles skabeloner til at beskrive fareprofiler (”Hazard Information Profiles, HIPs”). Hver af de 302 farer har fået deres egen detaljerede profil-beskrivelse i en opfølgende udgivelse af Murray et al. (2021). Af de 302 farer er følgende 12 af dem forskellige former for oversvømmelser:

Meteorological & Hydrological		Technological
MH4: Coastal flood	MH9: Ice-jam flood including debris	TL46: Drain and sewer flooding
MH5: Estuarine (Coastal) flood	MH10: Ponding (drainage) flood	TL47: Reservoir flooding
MH6: Flash flood	MH11: Snowmelt flood	
MH7: Fluvial (riverine) flood	MH12: Surface water flooding	
MH8: Groundwater flood	MH13: Glacial lake outburst flood	

Sammen kan de 12 typer betegnes som FN's bedste bud på en global oversvømmelsestypologi.

1.2. Oversvømmelsestypologi for Danmark

For at bygge en oversvømmelsestypologi for Danmark, tages der afsæt i FN's globale oversvømmelsestypologi, som bearbejdes i følgende trin:

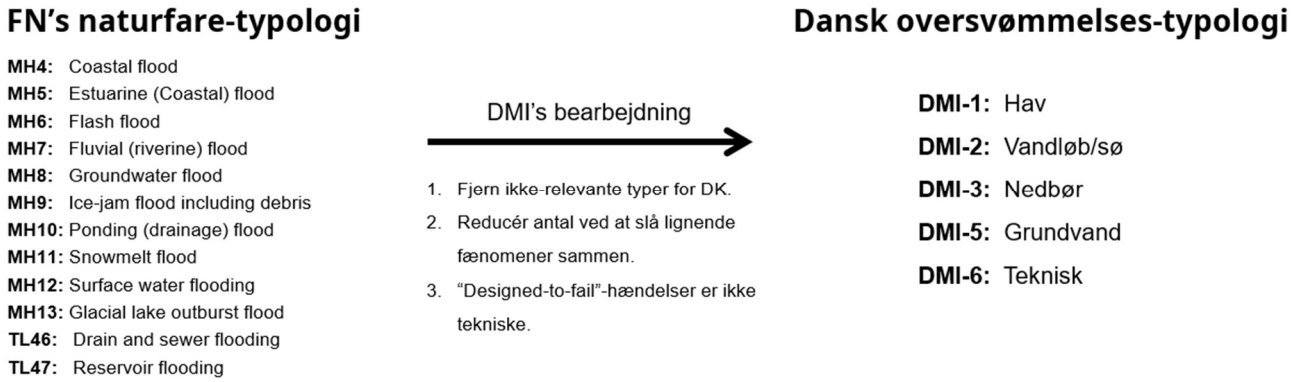
1. Grundet Danmarks geografi og klima oplever vi hverken "MH9: Ice-jam flood including debris" eller "MH13: Glacial lake outburst flood", som dermed kan frasorteres.
2. "MH5: Estuarine (Coastal) Flood" referer til kystfænomener, hvor vand fra havet presses ind i floddeltaer og skaber oversvømmelser, hvor en flod løber ud i havet, såsom ved Nilen og Mississippi-floden. I Danmark opleves der tit oversvømmelser i vandløbsudmundingerne, men det er kun Skjern Å, som har en mini-udgave af et floddelta, og derfor foretrækkes det at fjerne denne globale type. I stedet vil oversvømmelser ved vandløbsudmundinger senere blive beskrevet som en koblet hav-vandløb hændelse.
3. Der er flere typer, hvis definitioner delvist overlapper hinanden. Det gælder især "MH10: Ponding (drainage) flood" og "MH12: Surface water flooding", som begge referer til oversvømmelser, der opstår, når kraftigt regnvejr skaber en oversvømmelse lokalt, hvor regnen er faldet. Disse to slås derfor sammen til en "Lokal nedbør"-type.
4. "MH6: Flash flood" henviser til fænomener, hvor oversvømmelser indtræffer "hurtigt" efter, at det har regnet kraftigt (en ofte anvendt definition i internationalt regi er < 6 timer). "Flash flood" er et udbredt udtryk i lande med voldsom topografi, hvor kraftig regn kan strømme ned af en bjergskråning og skabe voldsomme og livsfarlig strømningshastigheder på overfladen og i mindre floder. Den beskedne topografi og de små vandløbssystemer i Danmark gør, at det herhjemme i praksis vil være meget svært at skille denne type ad fra de andre "Lokal nedbør"-typer samt "MH7: Fluvial (riverine) flood". Derfor anses "Flash flood" for at være undertyper af "Lokal nedbør" og "MH7: Fluvial (riverine) flood" i Danmark.
5. "MH11: Snowmelt floods" henviser i Murray et al.'s (2021) definition primært til områder, hvor der kan opbygges store snedybder i løbet af vinteren, som pludseligt kan opleve kraftig afsmeltning, når foråret ankommer. Sneafsmeltning kan spille en rolle i oversvømmelseshændelser i Danmark i vinterhalvåret, men det ses dog langt oftes, når det er en kraftig varmfront med tilhørende ekstra regn, der forårsager afsmeltningen. Det er derfor ofte svært at skille denne type ad fra de lokale nedbørhændelser og "MH7: Fluvial (riverine) flood". Derfor vælges det her, at

snafsmeltning på lige fod med ”MH6: Flash flood” bør anses som undertype af de to andre typer.

6. ”TL46: Drain and sewer floods” hører under familien af ”Technological hazards” (hvilket vedrørende vand og oversvømmelser i denne rapporten oversættes til ”tekniske farer” på dansk). Rapporten beskriver primært denne type hændelse, som når der sker noget utilsigtet i et kloak- og afløbssystem. Det kan enten være en tilstoppet nedløbsrist i vejen, en blokering i et rør, etc. Men det er ikke en oversvømmelse, som er forårsaget af, at regnintensiteten i et skybrud overstiger designkapaciteten af røret, da kloak- og afløbssystem her ikke har svigtet, men er bevidst designet til ikke at kunne håndtere sådanne intensiteter. En sådan overskridelse af designkapaciteten anses her i stedet for at være en lokal nedbørhændelse.
7. ”TL47: Reservoir flooding” henviser til, når en dæmning med tilhørende kunstig sø bag sig brister, hvilket kan føre til store mængder og kraftigt strømmende vand nedstrøms. UNDRR definitionen er dog lidt tvetydig, da den også åbner op for, at denne type kan dække over, når kraftig regnvand får vandstanden i søen til at stige over dæmningns kapacitet, og vand spilder over kanten på kontrolleret eller ukontrolleret vis. I denne rapport fastholdes dog samme definition som for kloak- og afløbssystemer: hvis en oversvømmelser er forårsaget af en fejl i systemet, så er det en ”teknisk fare”. Hvis systemets designkapacitet overskrides, så er det ikke en teknisk fare, men en af de andre oversvømmelsestyper. Vi vil i Danmarks tilfælde også gøre opmærksom på, at der er andre typer af teknisk vandinfrastruktur, som kan svigte og medvirke til eller direkte forårsage en oversvømmelser, f.eks. hvis sluse- og pumpesystemer fejler, eller hvis et dige langs kysten eller et vandløb bryder. Derfor slås de to global tekniske fare sammen til en fælles ”teknisk” oversvømmelsestype og definitionen udvides til at indeholde oversvømmelser fra alle former for vandinfrastruktur, der svigter inden for rammen af dets designkapacitet.

Ovenstående trin reducerer antallet af forskellige oversvømmelsestyper i Danmark til fem overordnede årsager, som i denne rapport navngives:

1. Hav
2. Vandløb/Sø
3. Nedbør
4. Grundvand
5. Teknisk



Figur i: Beskrivelse af processen fra UNDRR's globale oversvømmelsesrelaterede faretyper til en reduceret version for Danmark.

Figur ii sammenholder de fem danske oversvømmelsestyper med de "lokationer" i landskabet, hvor oversvømmelser indtræffer. I hver celle i figuren er det angivet, hvordan UNDRR's oprindelige oversvømmelses-faretyper fordeler sig. Som det ses, indeholder næsten alle UNDRR typer kun en årsag og lokation, som angivet med røde firkanter. De tekniske hændelser kan dog forsårsage oversvømmelser hændelse i alle tre lokationer afhængigt af, hvilken type vandinfrastruktur, der svigter.

Lokation \ Årsag	Hav (fra siden)	Vandløb/Sø (fra siden)	Nedbør (fra oven)	Grundvand (fra neden)	Teknisk (fra siden)
Kystnær	MH4 MH5				
Vandløbsnær	MH5	MH6 MH7	MH11		TL47
Lokal / lavning			MH6 MH10 MH11 MH12 TL46	MH8	TL46

Figur ii: Hvordan FN faretyper fordeler sig blandt DMI's oversvømmelsestyper (vandret akse) og lokationer i landskabet (lodret akse). Røde felter markerer, hvordan DMI oversvømmelsestyper skal tolkes.