

Kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse

Metoderapport

Udkast



Direktiv 2007/60/EF om vurdering og styring
af risikoen for oversvømmelser, plantrin 2

Oktober 2013

Kolofon

Titel

Kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse
Metoderapport

Emneord

Oversvømmelsesdirektiv, oversvømmelsesrisiko, risikoanalyse, sårbarhedsanalyse, kortlægning, risikokort, farekort

Udgiver

Kystdirektoratet, Transportministeriet

Ansvarlig institution

Kystdirektoratet
Højbovej 1
7620 Lemvig
www.kyst.dk

Indhold og redaktion: Thorsten Piontkowitz, Marianne Skov, Martin Jebens & Carlo Sørensen

Layout og tilrettelægning: Birgit Byskov Kloster

Copyright

Kystdirektoratet, Transportministeriet

Sprog

Dansk

År

Oktober 2013

Resume

Rapporten redegør for den metodiske gennemførelse af risikoanalysen og kortlægningen af faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse i de 10 udpegede risikoområder i Danmark (EU's oversvømmelsesdirektiv, plantrin 2).

Må citeres med kildeangivelse

[Kystdirektoratet, 2013: Kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse. Metoderapport. EU's oversvømmelsesdirektiv (2007/60/EF), plantrin 2. Kystdirektoratet, Transportministeriet. 52 s.]

Rapport og grafisk materiale er tilgængeligt på www.kyst.dk

Indhold

Resumé	4	5. Implementering i syv trin	17	6. Resultatdata og kortlægning	39
1. Indledning	5	5.1. GIS-database (Trin 1)	17	Litteraturhenvisninger	42
2. Generelt om oversvømmelsesdirektivet	6	5.2. Hydrodynamiske forhold (Trin 2).....	19	Bilag 1	43
2.1. Første plantrin.....	7	5.3. Styrkevurdering (Trin 3).....	22	Bilag 2	49
2.2. Andet plantrin.....	8	5.4. Modellering af oversvømmelser (Trin 4).....	24		
2.3. Tredje plantrin.....	9	5.4.1. Opsætning af den numeriske model.....	24		
3. Analyse af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen	10	5.4.2. Resultater af den numeriske modellering.....	26		
4. Metode for implementering af direktivets anden fase	14	5.5. Håndgribelige og uhåndgribelige skader (Trin 5 & 6)	27		
		5.5.1. Sårbarhedsanalysens omfang	27		
		5.5.2. Sårbarhedsanalysens indhold.....	28		
		5.5.3. Sårbarhedsanalysen i risikoområderne.....	31		
		5.6. Risiko for oversvømmelse (Trin 7)	38		

Resumé

Rapporten redegør for den anvendte metode og tekniske baggrund til implementering af EU's oversvømmelsesdirektiv, plantrin 2.

EU's oversvømmelsesdirektiv forpligter alle medlemslande at vurdere og styre risikoen for ekstreme oversvømmelser enten i nationalt regi eller, i tilfælde af grænseoverskridende ekstreme oversvømmelser, ved at samarbejde på tværs af landegrænser. Når hvert EU-medlemsland foretager en vurdering af risikoen for sådanne ekstreme oversvømmelser, skal det give anledning til at reducere risikoen for negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomisk aktivitet.

Implementering af EU's oversvømmelsesdirektiv gennemføres i tre plantrin. I det første plantrin (2010 - 2011) blev der foretaget en udpegning af 10 risikoområder, hvor der må anses at være en potentiel væsentlig risiko for oversvømmelser fra vandløb, søer, havet og fjord. Andet plantrin (2012 -2013) omfatter gennemførelsen af en risikoanalyse og udarbejdelsen af fare- og risikokort i de 10 risikoområder. Risikoanalysen indeholder en nærmere kortlægning af, hvordan en oversvømmelse vil forløbe, samt hvilke konsekvenser dette vil have. Plantrin 2 har således til formål at undersøge og analysere faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse mere grundigt, hvorefter resultaterne skal afbildes på kort. I plantrin 3 (2014 - 2015) skal de berørte kommuner udarbejde

risikostyringsplaner med udgangspunkt i kortlægningen under andet plantrin.

Afgørende for gennemførelsen af risikoanalysen er, at den overordnede metode er opbygget og struktureret til at kunne anvendes som udgangspunkt i alle 10 risikoområder uden tilpasninger. Endvidere er det vigtigt, at metoden er forståelig og lettilgængeligt opbygget, og at de valgte antagelser har gyldighed i alle områder. Metoden resulterer i den samme type resultater i hvert risikoområde, og danner grundlaget for at risikoanalysen og kortlægningen har kunnet gennemføres indenfor den 2-årige tidsramme, som direktivet fastlægger. Den anvendte metode er udarbejdet af Kystdirektoratet i samarbejde med Leichtweiß Institutet ved det Tekniske Universitet i Braunschweig, Tyskland, der har stor erfaring i gennemførelse af risikoanalyser for kystnære oversvømmelser og er meget aktiv i udvikling af tilhørende modeller og metoder.

Metoden består af syv trin, som muliggør kortlægning af oversvømmelsesrisikoen via fare- og sårbarhedsanalyser. I fareanalysen er oversvømmelsesudbredelse og strømhastigheder modelleret for tre nutidsscenarier med stor, middelstor og ringe sandsynlighed, og for tre klimascenarier, der tager højde for en stigning i middel havniveau. Sårbarhedsanalysen er udført for håndgribelige og uhåndgribelige skader, og på baggrund af skadesfunktioner mv.

er den totale økonomiske skade samt risikoen opgjort til de valgte scenarier i alle risikoområderne.

Analyseresultater og kort for oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen er udleveret til alle berørte kommuner den 30. september 2013 og offentliggøres senest den 22. december 2013. Resultaterne og kortene danner grundlag for direktivets tredje plantrin, som omfatter udarbejdelsen af risikostyringsplaner for hvert risikoområde i perioden 2014-2015. I Danmark skal udarbejdelsen af risikostyringsplanerne varetages af de berørte kommuner.

1. Indledning

Denne rapport udgør en del af implementeringen af EU's oversvømmelsesdirektivs andet plantrin, som gennemføres i perioden 2012-2013. Den bygger på udpegningen af 10 risikoområder i Danmark i 2011 (Miljøministeriet og Transportministeriet, 2011) under direktivets første plantrin. EU's oversvømmelsesdirektiv pålægger medlemslandene at planlægge for ekstreme oversvømmelser fra vandløb, søer, havet og fjorde, som medfører væsentlige negative følger for sundhed, miljø, kulturarv eller økonomi.

Implementering af EU's oversvømmelsesdirektiv i medlemslandene gennemføres i tre plantrin. I det første plantrin (2010-2011) blev der foretaget en udpegning af risikoområder, hvor der må anses at være en potentiel væsentlig risiko for oversvømmelser fra vandløb, søer, havet og fjorde. Udpegningen skete på baggrund af en vurdering af f.eks. områder, hvor tidligere oversvømmelser har forårsaget omfattende skader, og hvor der ikke efterfølgende er foretaget forebyggende foranstaltninger for at modvirke en lignende oversvømmelse. Andre tilfælde kan være risikoområder, hvor der har været større oversvømmelser, og hvor en efterfølgende ændring af arealanvendelse (f.eks. landbrugsjord til byområde) sandsynliggør, at en lignende oversvømmelse medfører omfattende skader.

I forbindelse med direktivets anden plantrin skal medlemsstaterne for hvert risikoområde, der er udpeget i henhold til direktivets første plantrin udarbejde kort over faren for

oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse i en passende skala. Plantrin 2 tager således afsæt i de 10 danske risikoområder, som blev udpeget i forbindelse med første plantrin, og der er ikke ændret på antal eller udstrækning af risikoområderne. Plantrin 2 har til formål at undersøge og analysere faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse mere grundigt, hvorefter resultaterne skal afbildes på kort. Disse kort danner efterfølgende grundlag for direktivets tredje plantrin, som omfatter udarbejdelsen af risikostyringsplaner for hvert risikoområde i perioden 2014-2015. I Danmark skal udarbejdelsen af risikostyringsplanerne varetages af de berørte kommuner.

Den foreliggende metoderapport beskriver den metodiske og tekniske tilgang til og baggrund for analyserne af faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse. Endvidere forklarer rapporten grundlaget og opbygningen af kortlægningen og beskriver det tilgrundliggende datamateriale. Opbygningen og fastlæggelsen af kortenes layout er beskrevet i Bilag 2.

Rapporten er opbygget som følger: Kapitel 2 giver en kort beskrivelse af oversvømmelsesdirektivets formål og lovmæssige implementering i Danmark. Kapitel 3 giver en kort definition af en oversvømmelse og beskriver de grundlæggende elementer af en risikoanalyse. Kapitel 4 beskriver den overordnede metode for implementering af

direktivets andet plantrin, mens Kapitel 5 indeholder en detaljeret beskrivelse af de anvendte metoder og modeller til udarbejdelsen af fare- og risikokortene. Kapitel 6 beskriver resultatdata og kortlægningen.

OVERSVØMMELSESDIREKTIVET

Direktiv 2007/60/EF om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:28:0027:0034:DA:PDF>

Bekendtgørelse nr. 121 af 2. februar 2010 om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=130042>

Lov nr. 1505 af 27. december 2009 om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=145952>

Bekendtgørelse nr. 1042 af 1. september 2010 om samarbejde mellem Danmark og Tyskland om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer i det internationale vanddistrikt

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=133216>

2. Generelt om oversvømmelsesdirektivet

Oversvømmelsesdirektivet (direktiv 2007/60/EF om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser) trådte i kraft den 27. oktober 2007. Baggrunden for direktivet er, at der i årene 1998 – 2002 indtraf mere end 100 ekstreme oversvømmelser i Centraleuropa. Oversvømmelserne forårsagede ca. 700 dødsfald, evakuering af en halv million mennesker og forsikrede økonomiske tab på mindst 25 mia. EUR.

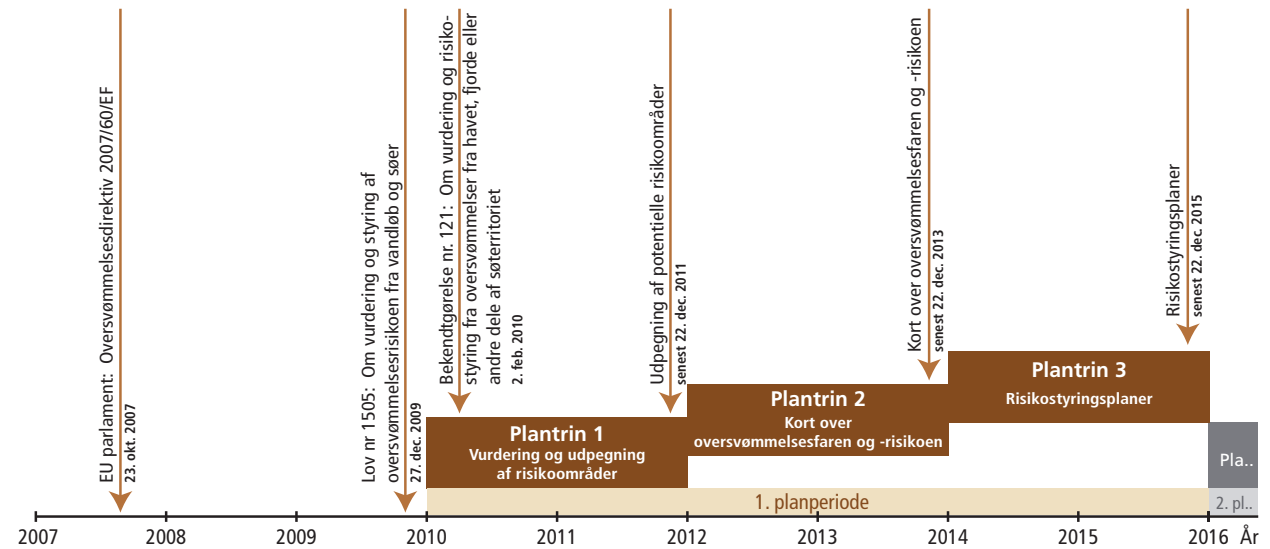
Med oversvømmelsesdirektivet er EU-medlemslandene blevet enige om at vurdere og styre risikoen for ekstreme oversvømmelser enten i nationalt regi eller, i tilfælde af grænseoverskridende ekstreme oversvømmelser, ved at samarbejde på tværs af landegrænser. Når hvert EU-medlemsland foretager en vurdering af risikoen for sådanne ekstreme oversvømmelser, giver det mulighed for at reducere risikoen for negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomisk aktivitet.

Direktivet er i Danmark gennemført ved lov nr. 1505 af 27. december 2009 om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer, bekendtgørelse nr. 121 af 2. februar 2010 om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet, og bekendtgørelse nr. 1042 af 1. september 2010 om samarbejde mellem Danmark og Tyskland om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer i det internationale vanddistrikt.

Transportministeriet (Kystdirektoratet) og Miljøministeriet (Naturstyrelsen) har nedsat en arbejdsgruppe, der koordinerer implementeringen af direktivet.

De to første plantrin varetages af Transportministeriet og Miljøministeriet. Det tredje plantrin varetages af de berørte kommuner. De tre plantrin er en del af en 6-årig planperiode. Det betyder, at de ansvarlige myndigheder hvert sjette år skal revurdere og ajourføre henholdsvis vurdering, udpegning, kort og planer. Figur 2.1.

Direktivet forpligter Danmark til inden udgangen af 2011 at foretage en udpegning af risikoområder på grundlag af en foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb, søer, havet og fjorde (første plantrin). Inden udgangen af 2013 skal fare- og risikokort (andet plantrin) være udarbejdet for de udpegede risikoområder. Som tredje og sidste trin i første planperiode skal der senest med udgangen af 2015 udarbejdes risikostyringsplaner for risikoområderne.

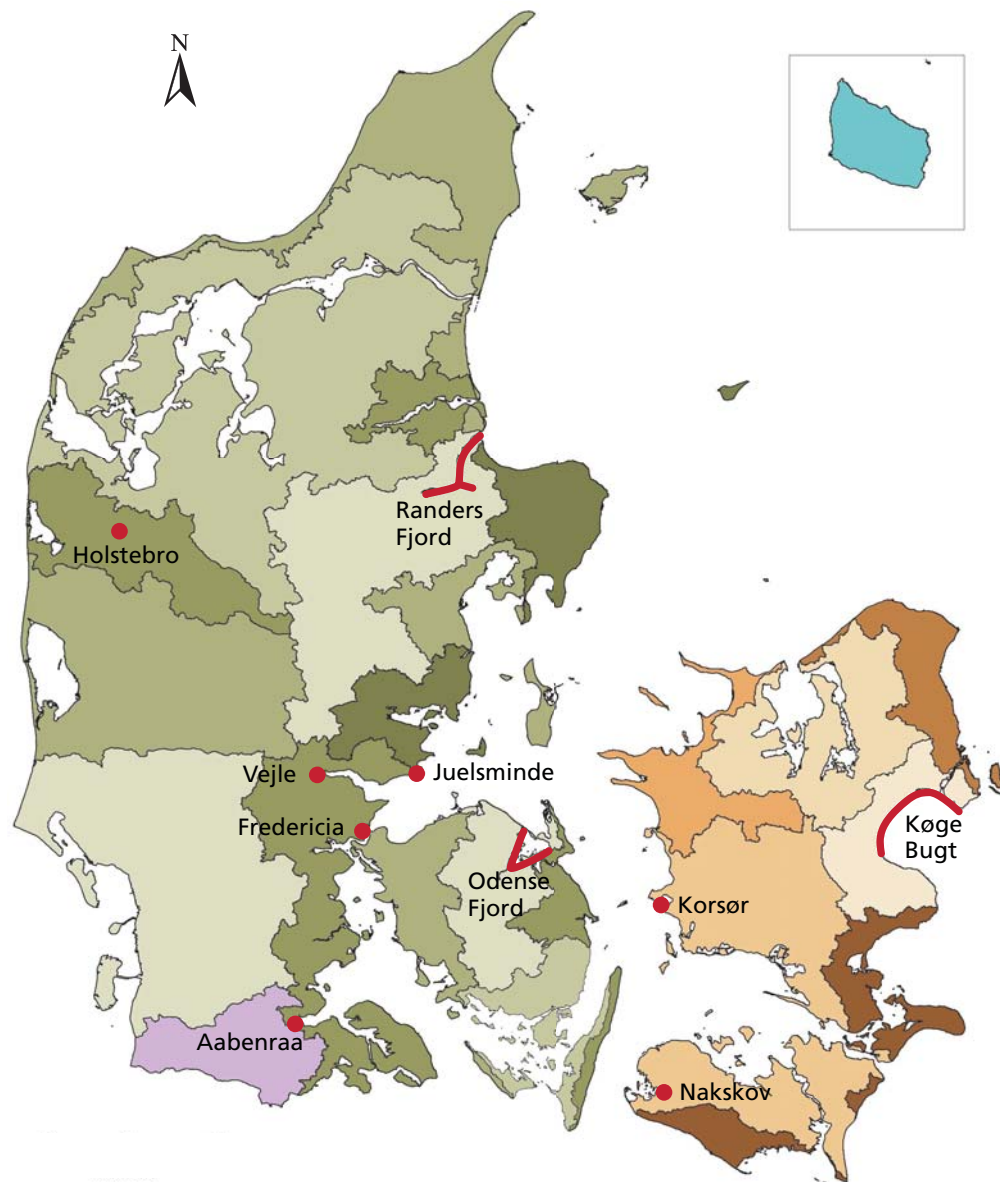


Figur 2.1 Tidsplan for implementering af EU's oversvømmelsesdirektiv.

2.1. Første plantrin

Direktivets første plantrin omfattede en vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb, søer, havet og fjorde for hele Danmark. Plantrin 1 blev afsluttet den 22. december 2011 med udpegning af 10 risikoområder: Holstebro, Randers Fjord, Juelsminde, Vejle, Fredericia, Aabenraa, Odense Fjord, Køge Bugt, Korsør og Nakskov, jf. Figur 2.2. De 10 områder blev udpeget ud fra en overordnet screening af risikoen for oversvømmelser fra udvalgte vandløb, søer, havet og fjorde men omfatter ikke oversvømmelser fra spildevandssystemer. Screeningen blev bl.a. foretaget ud fra historiske oplysninger om tidligere oversvømmelser samt en vurdering af, hvilke konsekvenser potentielle oversvømmelseshændelser må forventes at have i fremtiden (Kystdirektoratet, 2011).

Udpegningen af de 10 risikoområder berører i alt 22 kommuner fordelt over hele landet. 7 kommuner i Jylland, 3 kommuner på Fyn og 12 kommuner på Sjælland og Lolland/Falster er berørt af udpegningen. Udpegning af 9 af de 10 områder bunder enten i en vurderet oversvømmelsesrisiko fra havet eller en kombineret oversvømmelsesrisiko fra havet og vandløb. Kun et område, Holstebro, er udpeget som følge af en oversvømmelsesrisiko udelukkende fra vandløb. Tabel 2.1 giver en oversigt over berørte kommuner i de enkelte risikoområder såvel som kilden til oversvømmelse, der ligger til grund for udpegningen.



Figur 2.2 Oversigtskort over de udpegede risikoområder.

Tabel 2.1 Berørte kommuner og kilden til oversvømmelse i de enkelte risikoområder.

Risikoområde	Kommune	Kilde
Randers Fjord	Randers Kommune Norddjurs Kommune	Hav & vandløb
Juelsminde	Hedensted Kommune	Hav
Vejle	Vejle Kommune	Hav & vandløb
Fredericia	Fredericia Kommune	Hav
Aabenraa	Aabenraa Kommune	Hav & vandløb
Odense Fjord	Odense Kommune Nordfyns Kommune Kerteminde Kommune	Hav & vandløb
Korsør	Slagelse Kommune	Hav
Nakskov	Lolland Kommune	Hav
Køge Bugt	Dragør Kommune Tårnby Kommune Hvidovre Kommune Brøndby Kommune Vallensbæk Kommune Ishøj Kommune Greve Kommune Solrød Kommune Køge Kommune Københavns Kommune	Hav & vandløb
Holstebro	Holstebro Kommune	Vandløb

2.2. Andet plantrin

I andet plantrin udarbejdes der kort over faren for oversvømmelse og over risikoen for oversvømmelse i de 10 risikoområder udpeget i plantrin 1. Kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen baserer på resultaterne af en risikoanalyse, som gennemføres i hvert område, og som analyserer, hvordan en oversvømmelse vil forløbe, samt hvilke konsekvenser dette vil have.

Kortene over oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen skal udarbejdes i en passende skala og dække den geografiske udstrækning af risikoområderne. Kortene over faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse skal udarbejdes efter følgende tre scenarier:

- ringe sandsynlighed for oversvømmelse eller ekstreme hændelser,
- middelstor sandsynlighed for oversvømmelse (sandsynligvis højst en gang hvert 100. år),
- stor sandsynlighed for oversvømmelse, hvor det er relevant.

For hvert scenarie skal følgende oplysninger som minimum fremgå af farekortene:

- oversvømmelsesgrad,
- vanddybde eller vandstand, alt efter hvad der er relevant,
- strømhastighed eller relevante vandmængder, hvor det er relevant.

I relation til kortene over oversvømmelsesrisikoen skal de negative følger i forbindelse med oversvømmelser udtrykkes for hvert scenarie i forhold til:

- anslået antal indbyggere, der potentielt vil blive berørt,
- arten af økonomisk aktivitet i det område, der potentielt vil blive berørt,
- anlæg, der vil kunne forårsage forureningsuheld i tilfælde af oversvømmelse, og potentielt berørte beskyttede områder,
- andre oplysninger, som anses for at være nyttige, såsom angivelse af områder hvor der kan forekomme oversvømmelser med et stort indhold af sediment og debris, og oplysninger om andre vigtige forureningskilder.

Plantrin 2 skal være afsluttet senest den 22. december 2013.

2.3 Tredje plantrin

Med udgangspunkt i risikoanalysen og fare- og risikokortene udarbejdet under dette 2. plantrin, skal de berørte kommuner senest ved udgangen af 2015 vedtage risikostyringsplaner for udpegede risikoområder. Disse planer gennemfører direktivets 3. plantrin og afslutter hver planperiode. Planerne skal i høj grad bygge på de planer for det kommunale beredskab, som kommunerne allerede har. Risikostyringsplanerne skal indeholde en beskrivelse af planens gennemførelse, dvs. en beskrivelse af prioriteringer og af, hvordan fremskridt vil blive monitoreret, oversigt over offentlige høringer, oplysninger om planen og en fortegnelse over ansvarlige myndigheder.

Risikostyringsplanerne skal omfatte alle aspekter af risikostyring med særlig vægt på forebyggelse, sikring og beredskab. Forebyggelse kan eksempelvis være, at eventuelle fremtidige oversvømmelseskader undgås ved ikke at opføre beboelse og industrianlæg i områder, der har været eller kan blive udsat for oversvømmelser. Sikring indebærer, at der træffes foranstaltninger, både anlægsmæssigt og af anden art, for at formindske sandsynligheden/risikoen for oversvømmelser og/eller oversvømmelsernes følger i bestemte områder. Beredskab vil sige, at borgere oplyses om oversvømmelsesrisikoen, og om hvad de skal gøre i tilfælde af oversvømmelse, f.eks. ved at gældende beredskabsplaner tager højde for oversvømmelsesrisikoen. Endvidere kan der ske en koordinering mellem risikostyringsplaner, kommunale klimatilpasningsplaner og kommunens generelle beredskabsplan. Derudover skal risikostyringsplanen indeholde en oversigt over de foranstaltninger og prioriteringer heraf, der tager sigte på at nå relevante mål for oversvømmelsesrisikostyringen

og de oversvømmelsesrelaterede tiltag, der er truffet i henhold til gældende lovgivning, herunder planloven, miljøbeskyttelsesloven, miljømålsloven og lov om miljøvurdering af planer og programmer. Indholdet af en risikostyringsplan fremgår af bilag 2 i både Miljøministeriets lov nr. 1505 af 27. december 2009 om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer, og Kystdirektoratets bekendtgørelse nr. 121 af 2. februar 2010 om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Flere af aspekterne af forebyggelse og beredskab er allerede indarbejdet i de kommunale spildevandsplaner og planer for det kommunale beredskab, eller de vil blive det i forbindelse med kommunernes vedtagelse af klimatilpasningsplaner.

3. Analyse af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen

Som anført i Kapitel 2 skal der i forbindelse med direktivets andet plantrin udarbejdes kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse for hvert risikoområde. Der er således tale om to sæt af kort, som henholdsvis viser faren for oversvømmelse og risikoen for oversvømmelse. For at skabe en bedre forståelse af forskellen imellem og sammenfletningen af begreberne 'fare' og 'risiko' uddybes i dette kapitel (a) processer, der forekommer under en oversvømmelse; (b) definitioner og metoder for gennemførelsen af en analyse, der har til formål at sætte tal på faren og risikoen for oversvømmelse og; (c) den overordnede sammenhæng, som gennemførelsen af en risikoanalyse indgår i.

En oversvømmelse betegnes som en midlertidig vanddækning af landarealer, der normalt ikke er dækket af vand hidrørende fra havet, fjorde, søer eller vandløb. Det vil sige, at der er tale om oversvømmelser, når landområder bliver dækket af vand i en tidsbegrænset periode. Fra et naturrelateret synspunkt er en forbigående oversvømmelse en naturlig proces: Enhver å eller flod går over sine bredder i forbindelse med en længere nedbørsperiode, og lavtliggende kystområder er gennem århundreder blevet oversvømmet i forbindelse med stormfloder. Oversvømmelser af normale eller ekstreme dimensioner er derfor naturlige hændelser i områder med vandløb, floder, søer, flodmundinger og kyster. Men selvom oversvømmelser er naturlige, kan de udgøre en fare for de mennesker, der

lever i oversvømmelsesområderne. En fare opstår, når en fysisk hændelse, et fænomen eller en aktivitet kan påføre mennesker skade. Oversvømmelsesfaren udgør derfor en oversvømmeshændelse, som kan have skadelige

virkninger for mennesker og værdier, se Figur 3.1. Oversvømmelsesfaren må derfor ses i spændingsfeltet mellem (naturlige) oversvømmelser og menneskelige aktiviteter i et bestemt område.



Figur 3.1: Område med menneskelige aktiviteter og værdier, som kan udsættes for oversvømmelse som følge af f.eks. kraftig nedbør eller stormfloder.

Fra et fagteknisk og hydraulisk synspunkt kan oversvømmelser opdeles i kategorier ud fra følgende kriterier (FLOODsite, 2009):

- Oversvømmelsens kilde,
- Geografisk udstrækning af det oversvømmede område,
- Årsag til oversvømmelsen,
- Oversvømmelsens hastighed.

Med oversvømmelsens kilde henvises til, hvor vandet i oversvømmelsen stammer fra, dvs. om der er tale om vand fra havet (kystoversvømmelse), vand fra åer og floder (åoversvømmelse), vand fra oven (oversvømmelse som følge af regnvand) eller vand fra neden (oversvømmelse som følge af grundvand eller fra opstuede kloakker). Oversvømmelsens oprindelse er tæt forbundet med oversvømmelsens geografiske udstrækning:

- Oversvømmelser i kystzonen og i flodmundinger, hvor havet trænger ind i lavtliggende kystnære områder.
- Oversvømmelser af områder langs åer og floder, hvor åerne/floderne går over deres bredder.
- Oversvømmelser af opland, bymæssige områder eller koge, hvor kapaciteten af afvandingssystemet er utilstrækkelig i forhold til kraftige nedbørshændelser.

Årsager til oversvømmelser kan være kraftig nedbør, stormfloder, jordskælv (tsunami) eller oversvømmelser som følge af brud på menneskeskabt oversvømmelsesbeskyttelse (f. eks. diger).

Oversvømmelsens hastighed henviser til tidsperspektivet i forbindelse med oversvømmelsers opståen, og strækker sig fra kraftige og pludselige oversvømmelser til langsomt opstående oversvømmelser. Pludselige, kraftige oversvømmelser opstår normalt i kuperet terræn i forbindelse med en kraftig nedbørshændelse (minutter – timer). Hurtige oversvømmelser kan forekomme i forbindelse med brud på f.eks. et dige eller en dæmning, hvor en høj ydre vandstand presser store mængder vand gennem bruddet og oversvømmer baglandet (timer). Langsomme oversvømmelser opstår normalt ved, at vandet opstaves over dage eller uger i oplandet til store vandløb, eller i byområder hvor underdimensionerede afvandingssystemer fører til, at vandet fra selv mindre nedbørshændelser ikke kan ledes væk gennem kloakkerne.

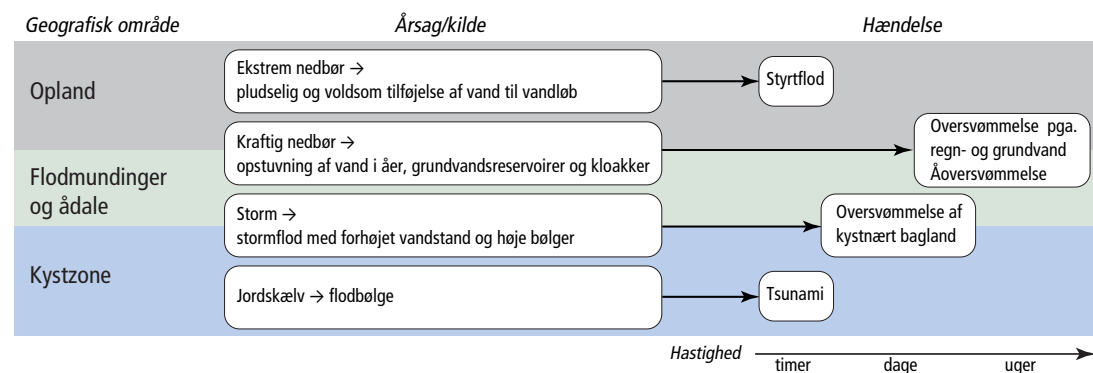
Oversvømmelser er endvidere kendetegnet af:

- forskellige sandsynligheder og
- grader af potentielt skadesomfang.

Oversvømmelser af lavtliggende kystområder kan have store konsekvenser i form af dødsopre og økonomisk skade. Sandsynligheden for oversvømmelseskatastrofer i kystzonen er lav, og oversvømmelserne kan ofte varsles en til flere dage i forvejen. De kan dog ramme et stort geografisk område, hvor der opholder sig mange mennesker, hvis evakuering vanskeliggøres på grund af de ekstreme vejrforhold under stormfloden.

Oversvømmelser fra floder og åer berører normalt store områder af det nedre opland og kan forudses flere dage før, hændelsen opstår. Oversvømmelsernes hastighed er lav men kan dog alligevel medføre meget store skader. Antallet af dødsopre er normalt lavt.

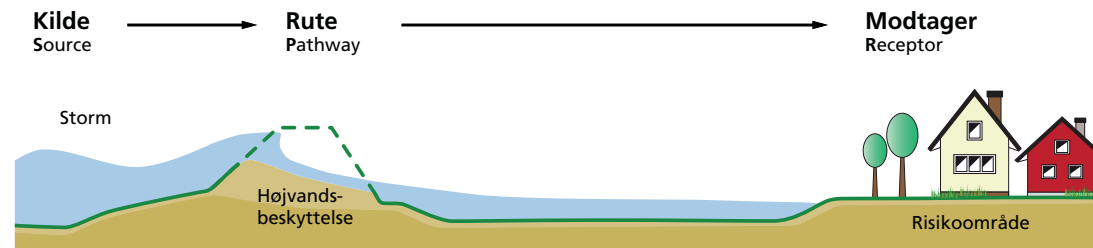
Oversvømmelser i det øvre opland, bymæssige områder eller koge opstår normalt lokalt efter kraftige nedbørshændelser. Er vejsituationen præget af et stort lavtryksområde, kan denne type oversvømmelse udbrede sig over en hel region. I tæt beboede områder kan oversvømmelserne have en voldsom effekt, som primært omfatter materielle skader.



Figur 3.2 Oversvømmelseskategorier.

Pludselig kraftig oversvømmelse, som normalt forekommer i bjergrigt terræn, opstår meget lokalt og er den type oversvømmelse, som hyppigst opstår i Europa. På grund af oversvømmelsens høje hastighed (flodbølge) og den store mængde af drivgods er konsekvenserne af denne type oversvømmelse tit katastrofale, og kan bl.a. omfatte et stort antal dødsopfre og store materielle skader. Kategorisering af oversvømmelser er vist i Figur 3.2.

For at belyse hyppigheden, udstrækningen og konsekvenserne af oversvømmelser anvendes der normalt en simpel tilgang ved at 'følge vandet'. S-P-R (Source – Pathway – Receptor) modellen er en simpel model, der anskueliggør systemer og processer, som er årsag til specifikke konsekvensers opståen. For at disse specifikke konsekvenser opstår for mennesker, må der være en fare, som er forårsaget af en 'kilde' (source) eller initialhændelse (f.eks. storm, kraftig nedbør), se Figur 3.3. Endvidere kræver fremkomsten af de specifikke konsekvenser en 'modtager' (receptor), som bliver udsat for den førortalte fare (f.eks. mennesker, genstande, dyr, naturen). For at opnå et mere detaljeret billede af konsekvensernes omfang, er det også vigtigt at kende 'ruten' (pathway) fra kilden til modtagerne (f.eks. digebrud og efterfølgende oversvømmelsesforløb, eller størrelsen af vandløbene og deres opland).



Figur 3.3 Systematisk tilgang til at 'følge vandet': S-P-R modellen.

På den ene side handler det således om at belyse de specifikke konsekvenser, som en oversvømmelse har for 'modtagerne'. På den anden side forudsætter dette kendskab til kilderne eller initialhændelserne for en oversvømmelse og vandets rute fra kilden til modtagerne. Kilden til oversvømmelser er normalt ekstreme naturhændelser (stormflod, ekstrem nedbør), der på basis af for eksempel historiske data kan tildeles en statistisk sandsynlighed for at indtræffe. Ekstreme naturhændelser kan dog ikke forudsiges frem i tiden, idet vi ikke kender naturens gang om en uge, om en måned eller om et år.

I områder ved kysten eller langs med vandløb kan der være etableret en højvandsbeskyttelse, som skal beskytte baglandet mod oversvømmelse. Baglandet bliver således ikke oversvømmet, med mindre beskyttelsen svigter, enten i form af at den fysisk går i stykker, eller fordi beskyttelsen ikke formår at holde vandet tilbage, idet den ikke er høj nok. For at et højvandsbeskyttet område kan blive oversvømmet, kræver det derfor, at der (1) er en ekstrem naturhændelse af en størrelsesorden, der gør, (2) at højvandsbeskyttelsen svigter. Sandsynligheden for oversvømmelse af et beskyttet bagland er derfor en

funktion af begge sandsynligheder; sandsynlighed for en ekstrem naturhændelse og dens påvirkninger i form af vandstanden og bølger (1) og sandsynlighed for at højvandsbeskyttelsen svigter (2). Ved at undersøge sandsynligheden for en konstruktions svigt, når man til næste led i S-P-R modellen, som er 'ruten'. Her skal der undersøges, hvilken styrke og sikkerhed der ligger i konstruktionen, hvor konstruktionen muligvis svigter, og hvordan oversvømmelsens udbredelse kan være i baglandet. Beregning af sandsynligheden for oversvømmelse, som omfatter analysen af kilden og af oversvømmelsens rute, betegnes normalt som en fareanalyse, jf. Figur 3.4.

Ved siden af en fareanalyse findes selve risikoanalysen. Når man taler om en analyse af oversvømmelsesrisikoen, er det vigtigt at holde sig for øje, at der er en faktor mere: De potentielle konsekvenser af oversvømmelse for mennesket og dets værdier. Begge faktorer – sandsynligheden for oversvømmelse og de potentielle konsekvenser – skal således være til stede, før der kan tales om en oversvømmelsesrisiko. Det betyder, at der sagtens kan forekomme oversvømmelser, uden at der opstår en oversvømmelsesrisiko, hvis blot oversvømmelsesområdet er affolket og fri

for infrastruktur og andre værdier. Det vil sige, at en fare ikke nødvendigvis fører til skadelige konsekvenser, og at faren blot betyder, at der kan opstå skadelige konsekvenser afhængigt af eksponeringen og karakteregenskaberne ved modtageren. Undersøgelsen af konsekvenserne som følge af en oversvømmelse betegnes normalt som en sårbarhedsanalyse. Risikoanalysen består således af en fareanalyse og en sårbarhedsanalyse.

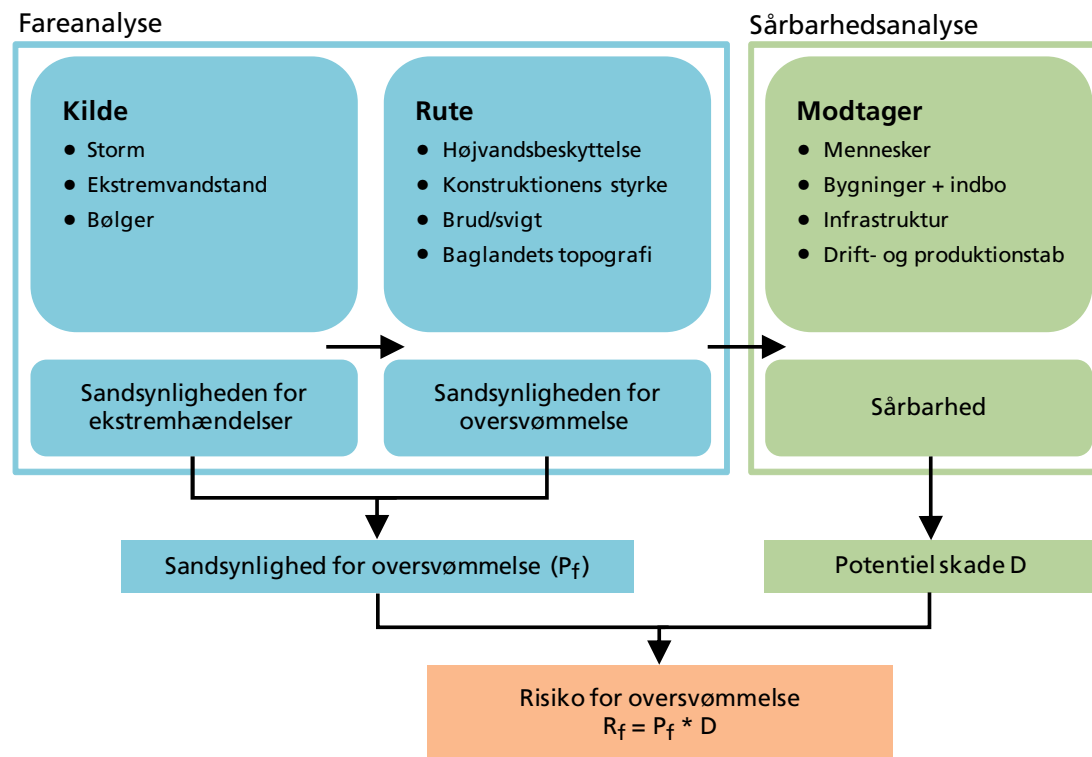
Ved bedømmelse af oversvømmelsesrisikoen indgår de to faktorer på lige fod, og oversvømmelsesrisikoen defineres derfor som produktet af de to faktorer, se også Figur 3.4:

$$\text{Risiko [Rf]}^1 = \text{sandsynlighed [Pf]} \times \text{konsekvenser [E(D)]}$$

Sandsynligheden opgøres i procent og viser, hvor stor sandsynligheden er for, at en oversvømmelse sker på et bestemt sted indenfor et bestemt tidsrum. Konsekvenserne opgøres kvantitativt som tabet ved en oversvømmelse målt i økonomiske måleenheder, dvs. i kroner og øre.

¹ (R_f = risk of flooding, P_f = probability of flooding, $E(D)$ = expected damage)

Ud fra definitionen af oversvømmelsesrisikoen kan man se, at oversvømmelsesrisikoen kan være stor, hvis der er en stor sandsynlighed for, at et bestemt sted med kun et begrænset antal værdier bliver oversvømmet, f.eks. fordi højvandsbeskyttelse mangler eller er utilstrækkelig. Risikoen kan tilsvarende være stor, hvis sandsynligheden for oversvømmelse er meget lille, mens konsekvenserne er meget store, f.eks. hvis en storby rammes af en oversvømmelse.



Figur 3.4 Koncept og definition af risikoanalysen bestående af en fareanalyse og en sårbarhedsanalyse.

4. Metode for implementering af direktivets anden fase

Som beskrevet i Kapitel 2.2 omfatter direktivets andet plantrin udarbejdelsen af kort over fare for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse i de 10 risikoområder udpeget i plantrin 1. Kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen baserer på resultaterne af en risikoanalyse, som gennemføres i hvert område, og som analyserer, hvordan en oversvømmelse vil forløbe, samt hvilke konsekvenser dette vil have. Direktivets artikel 6 beskriver kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen.

- Artikel 6, stk. 1: Medlemsstaterne udarbejder for hvert vandområdedistrikt eller hver forvaltningsenhed, jf. artikel 3, stk. 2, litra b), der er udpeget i henhold til artikel 5, stk. 1, kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse i en passende skala.

Der lægges 3 scenarier til grund for kortlægningen.

- Artikel 6, stk. 3: Kort over oversvømmelsesfaren skal dække de geografiske områder, der vil kunne blive oversvømmet, efter følgende scenarier:
 - a) ringe sandsynlighed for oversvømmelse eller ekstreme hændelser,
 - b) middelstor sandsynlighed for oversvømmelse (sandsynligvis højst en gang hvert 100. år), og

- c) stor sandsynlighed for oversvømmelse, hvor det er relevant.

I Artikel 6, stk. 4 og stk. 5 defineres de oplysninger, som skal fremgå af farekortene og risikokortene. For farekortene stilles der krav om at (a) oversvømmelsesgraden, (b) vanddybde eller vandstand, og (c) strømhastighed eller relevante vandmængder fremgår af kortene. Kortene over oversvømmelsesrisikoen skal vise de negative følger i forbindelse med oversvømmelser iht. de 3 scenarier. De negative følger af en oversvømmelse skal være udtrykt i:

- a) anslået antal indbyggere, der potentielt vil blive berørt,
- b) arten af økonomisk aktivitet i det område, der potentielt vil blive berørt,
- c) anlæg der vil kunne forårsage forureningsuheld i tilfælde af oversvømmelse, og potentielt berørte beskyttede områder, og
- d) andre oplysninger, som medlemsstaterne finder nyttige, såsom angivelse af områder, hvor der kan forekomme oversvømmelser med et stort indhold af sediment og debris, og oplysninger om andre vigtige forureningskilder.

Endelig kræver direktivet i Artikel 6, stk. 8, at medlemsstaterne sørger for, at kortene over faren for oversvøm-

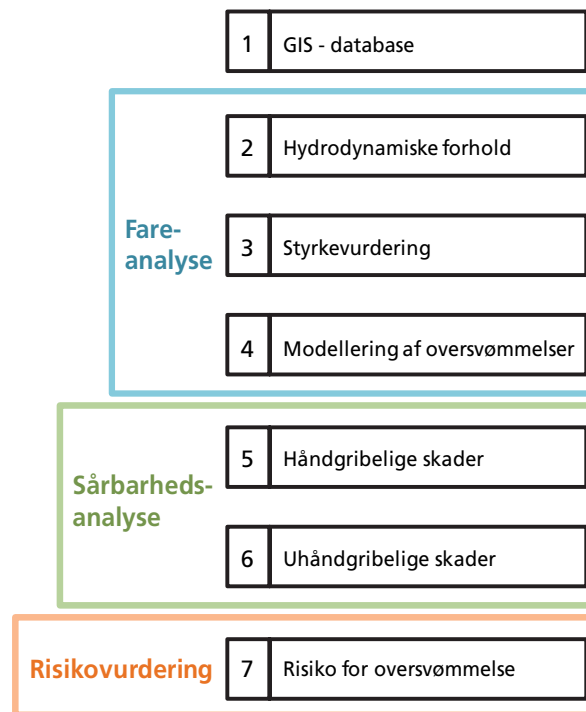
melse og kortene over risikoen for oversvømmelse er færdige senest den 22. december 2013.

Den overordnede metode for kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen tager udgangspunkt i konceptet og definitionen af en risikoanalyse, jf. Figur 3.4. Der skal således gennemføres en fareanalyse og sårbarhedsanalyse i hvert risikoområde for at kunne beregne oversvømmelsesrisikoen. Afgørende for gennemførelsen af risikoanalysen i de 10 områder er, at den valgte metode er opbygget og struktureret på en sådan måde, at metoden kan anvendes som udgangspunkt i alle 10 områder uden tilpasninger. Metoden skal resultere i den samme type resultater i hvert risikoområde og danner grundlaget for, at risikoanalysen og kortlægningen kan gennemføres indenfor den 2-årige tidsramme, som direktivet fastlægger.

Der er derfor i starten af plantrin 2 (2012) brugt ressourcer på at udvikle og teste en overordnet metode, som opfylder de førnævnte betingelser. Kystdirektoratet har i den forbindelse taget kontakt til Leichtweiss Institut ved den Tekniske Universitet i Braunschweig, Tyskland (<https://www.tu-braunschweig.de/lwi/hyku>). Leichtweiss Institut har de senere år arbejdet intensivt med gennemførelse af risikoanalyser for kystnære oversvømmelser og er meget aktive i udviklingen af tilhørende modeller og metoder.

Senest har Leichtweiss Institutet ledet et 4-årigt forskningsprojekt ved navn XtremRisk (<http://www.xtremrisk.de>), som samlede forskere fra forskellige tyske universiteter (Braunschweig, Siegen, Hamburg) samt fra myndigheder i Hamburg (Oumeraci et al., 2012). Det overordnede formål med projektet var at forbedre forståelsen af og den grundlæggende viden om metoder og modeller indenfor risikoanalysen. På baggrund af erfaringerne fra XtremRisk-projektet blev der i samarbejde med Leichtweiss Institutet udviklet en metode til gennemførelsen af oversvømmelsesdirektivets plantrin 2 i Danmark.

Metoden er opbygget af syv trin. Som vist i Figur 4.1 er trin 2 til 4 bestanddelene i en fareanalyse. Trin 5 og 6 omfatter sårbarhedsanalysen, og endelig omhandler trin 7 selve risikovurderingen. Metodetrinene beskrives nærmere i det følgende.



Figur 4.1 Overordnet metode for implementering af direktivets 2. plantrin.

Trin 1: GIS database

Grundlaget for udarbejdelsen af en risikoanalyse er opsætningen af en GIS database, som indeholder alle nødvendige data og informationer for de efterfølgende trin. For hvert risikoområde bliver der indsamlet topografiske, hydrodynamiske og hydrologiske data såvel som søkortdata og informationer om bygninger, infrastruktur og andre værdier. Opsætningen af GIS-databasen og de indsamlede data beskrives nærmere i Kapitel 5.1.

Trin 2: Hydrodynamiske forhold

Undersøgelsen af de hydrodynamiske forhold for hvert risikoområde er en central del af en fareanalyse. Analysen omfatter undersøgelse af de ekstreme vandstande og bølgeforholdene under storm- og højvandshændelser. Stormfloder og historiske målinger analyseres, og via statistiske fordelinger opnås de nødvendige scenarier, der bruges som input til næste trin i risikoanalysen. Undersøgelsen af de hydrodynamiske forhold beskrives nærmere i Kapitel 5.2.

Trin 3: Styrkevurdering

I kystområder med højvandsbeskyttelse kan analysen af oversvømmelsesfaren ikke kun basere på undersøgelsen af de hydrodynamiske forhold. Her er sandsynligheden for oversvømmelse tillige afhængig af beskyttelsens styrke og sikkerhedsniveau. En potentiel oversvømmelse er i beskyttede områder afhængig af, om konstruktionsformår at bevare sin funktion, dvs. at forhindre vandet i at trænge ind i baglandet, eller om højvandsbeskyttelsen taber sin funktion ved enten at gå i stykker eller ved, at beskyttelsen overløbes med store mængder vand. Metoden for styrkevurderingen i risikoområderne beskrives nærmere i Kapitel 5.3.

Trin 4: Modellering af oversvømmelser

Afhængig af resultaterne af trin 2 og 3 undersøges i trin 4 selve oversvømmelsesprocessen i baglandet. Ved en simulering af oversvømmelse af baglandet skabes der et detaljeret indblik i, hvor vandet strømmer hen og med hvilken hastighed, om der findes tærskler, som kan tilbageholde vandet, eller om der omvendt er vandløb og kanaler, som kan transportere vandet langt ind i lan-

det. Oversvømmelsens udbredelse, dybde og tilhørende strømhastigheder indgår sammen med sandsynligheden for oversvømmelsen i resultaterne af en fareanalyse. Disse resultater præsenteres i form af et farekort, som giver et overblik over f.eks. oversvømmelsesdybderne i det oversvømmede område. Resultaterne danner endvidere grundlag for sårbarhedsanalysen (trin 5 og 6). Gennemførelsen af oversvømmelsesmodelleringen beskrives nærmere i Kapitel 5.4.

Trin 5 & 6: Håndgribelige skader (økonomiske skader) og uhåndgribelige skader

Undersøgelsen af konsekvenserne som følge af en oversvømmelse betegnes som en sårbarhedsanalyse. Sårbarhedsanalysen undersøger hvem og/eller hvad, der bliver ramt af oversvømmelsen og i hvilket omfang, dvs. sårbarheden af hvert skadesobjekt kvantificeres. Dette foretages ved at opstille såkaldte skadesfunktioner, som angiver skadesandelen eller den absolutte økonomiske skade for et bestemt skadesobjekt i forhold til oversvømmelsesparametrene (f.eks. oversvømmelsesdybde eller strømhastighed).

Ved siden af de håndgribelige skader findes der også uhåndgribelige skader. For de håndgribelige skader gælder, at værdien kan prissættes i økonomiske termer, mens de uhåndgribelige skader ikke umiddelbart kan opgøres efter en fælles målestok, idet de ikke har en markedsværdi i første omgang. De potentielle konsekvenser af en oversvømmelse kan derfor kvantificeres som økonomiske tab og uhåndgribelige skader. Sårbarhedsanalysen for de 10 risikoområder og de undersøgte håndgribelige og uhåndgribelige skader beskrives nærmere i Kapitel 5.5.

Trin 7: Risikovurdering

Sidste trin omfatter selve risikovurderingen. Risikovurderingen foretages ved at multiplicere sandsynligheden for oversvømmelse og det potentielle skadesbeløb for hvert oversvømmelsesscenarie. Resultatet præsenteres som et beløb per år (kr./år) og benævnes forventet årlig skade (FÅS).

Oversvømmelsesrisikoen præsenteres i form af et risikokort, som giver et overblik over risikoen i det pågældende område differentieret på delområder. Den beregnede risiko er geo-kodet og summeres over prædefinerede geometriske felter (grid). Størrelsen af disse felter vælges afhængigt af den ønskede detaljeringsgrad. Risikovurderingen beskrives nærmere i Kapitel 5.6.

5. Implementering i syv trin

Som nævnt i Kapitel 4 er metoden for kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen opbygget af syv trin, jf. Figur 4.1. I det følgende gennemgås disse syv trin, hvor relevant information om de anvendte metoder og modeller i hvert enkelt trin beskrives. Gennemgangen af trinene har til hensigt at beskrive det metodiske grundlag til produktion af de endelige farekort og risikokort på en forståelig måde.

5.1. GIS-database (Trin 1)

Indsamling og tilrettelæggelse af alle nødvendige data og informationer er første afgørende trin i, og en forudsætning for, gennemførelsen af en risikoanalyse. Alle relevante data for gennemførelsen af en risikoanalyse i hvert af de 10 områder er lagt ind i en GIS database. Datatyper og deres oprindelse er listet i Tabel 5.1 og er yderligere beskrevet nedenfor.

Tabel 5.1 Oversigt over datagrupper, datatyper og oprindelsen af data.

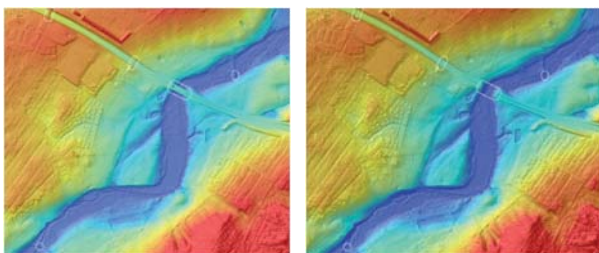
Datagruppe	Datatype	Oprindelse
Søkortdata	Søkortdata i 25 m x 25 m grid,	Modtaget fra Geodatastyrelsen
Topografiske data	Danmarks Højdemodel i 1,6 m x 1,6 m grid	Modtaget fra Geodatastyrelsen og Naturstyrelsen
Hydrodynamiske data	Vandstandsscenarier	Udarbejdet af Kystdirektoratet
	Standardstormflodskurver	Udarbejdet af Kystdirektoratet
	Bølgedata	Udarbejdet af DHI (numerisk hindcast og forecast model)
Hydrologiske data	Vandløbsdata, geometri	Modtaget fra kommuner eller Orbicon
	Vandløbsdata, vandføring	Modtaget fra kommuner eller Orbicon
	Vandløbsmodellering (MIKE 11)	Modtaget fra NIRAS
Værdier	Diger, lokalmålinger	Modtaget fra kommunerne eller aflæst i højdemodellen
	Bygninger	BBR/OIS-databasen
	Kulturarv	Modtaget fra Kulturstyrelsen
	Landbrug	Modtaget fra NaturErhvervsstyrelsen
	Husdyr	Modtaget fra Geodatastyrelsen
	Beskyttede naturområder (EF-habitater)	MiljøGIS og Arealinfo
	Risikovirksomheder	Miljøstyrelsen og Naturstyrelsen
	Indbyggere i 100 m x 100 m grid	Modtaget fra Naturstyrelsen
	Veje & jernbaner	Top10 DK, FOT
	Energiforsyning	Udtræk fra BBR (modtaget fra Geodatastyrelsen)
	Øvrig Kritisk Infrastruktur	Udtræk fra BBR (modtaget fra Geodatastyrelsen)
	Grundvandsboringer	GEUS

Søkortdata

Søkortdata nedstammer fra digitalisering af søkort, lokale målinger eller søopmåling og er stillet til rådighed af Geodatastyrelsen for brug udelukkende i indeværende projekt. Datatæthed og datakvalitet varierer indenfor hvert enkelt risikoområde.

Topografiske data

Danmarks Højdemodel (DHM/Terræn), opmålt i årene 2005-2007 med tilhørende hydrauliske tilretninger fra 2011, er anvendt til oversvømmelsesmodellering i alle risikoområder. Alle objekter over terrænet såsom træer, huse, halmballer, biler m.m. er fjernet. Viadukter og tunneller mv. er åbnet op, så vandet kan strømme igennem (se Figur 5.1). Højdemodellens vertikale nøjagtighed angives af Geodatastyrelsen (National Survey and Cadastre, 2011) som RMSE (root mean square error). Middelværdien for RMSE angives til 5,9 cm. Standardafvigelsen angives til 3,44 cm. Højdemodellen er leveret med horisontal reference i UTM zone 32N/ETRS89 og med vertikal reference i DVR90 i en 1,6 m * 1,6 m grid opløsning.



Figur 5.1: DHM/Terræn (til venstre) og samme område med den tilhørende hydrauliske tilretning (National Survey and Cadastre, 2011).

Topografisk grundkort

TOP10DK, et digitalt vektorgrundkort, benyttes til at få et indtryk af risikoområderne i henhold til arealanvendelse og placering af vigtige services (f.eks. politistationer og døgninstitutioner), samt til at udpege vigtige og strategiske tærskler i områderne.

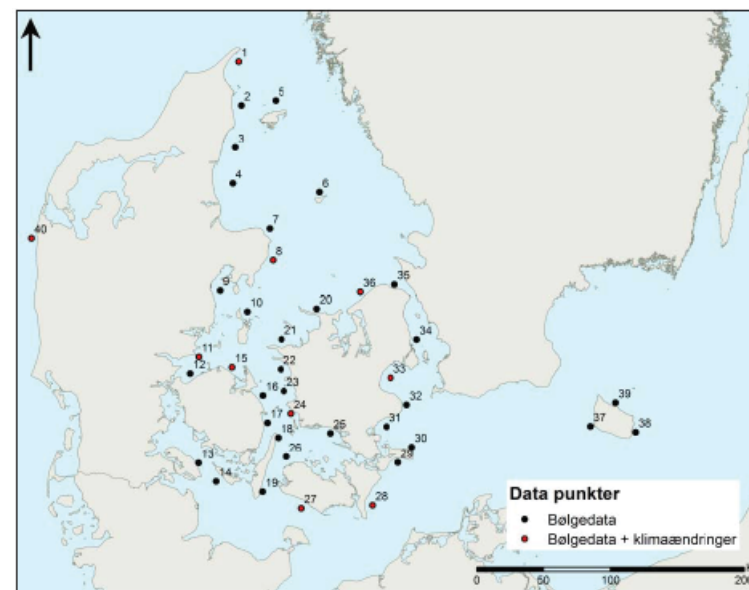
Nedbør og vandføring i vandløbene

Nedbørsdata kan leveres til en række vandløbsoplande, som er involveret i risikoområderne. Afgørende for fare- og risikokortlægningen er vandføringen i de større vandløb i risikoområderne, hvor en forøget vandføring direkte kan bidrage til enhver potentiel oversvømmelse. Lange tidsserier er foretrukket, fordi vandføringen kan kobles sammen med en række stormflodshændelser, og

sandsynligheden for deres tidsmæssige sammenfald kan beregnes. Lange tidsserier for vandføring i vandløbene er dog sjældne og skal da erstattes af enten numeriske modelberegninger eller empiriske relationer mellem nedbør og vandføring.

Bølgedata

Længerevarende tidsserier af bølgedata er normalt ikke tilgængelige. Til brug for vurdering af bølgeforhold (højder og perioder) er anvendt numeriske hindcast beregninger for 40 lokaliteter på dybt vand fordelt i de danske farvande, Figur 5.2. Beregningerne er foretaget af DHI for Kystdirektoratet (Kystdirektoratet, 2012) ved hjælp af DHIs MIKE 21 SW numeriske bølgeberegningsmodel for en periode på 18 år, 1994-2011.



Figur 5.2 Kort med placeringen af de 40 bølgedatastationer i de danske farvande.

Kystbeskyttelse

Der findes relativt sparsomme oplysninger om eksisterende højvandsbeskyttelse langs kysterne i risikoområderne. Naturlige tærskler og eksisterende diger er, i det omfang digerne kan ses i højdemodellen, inddraget. Oplysninger indsendt af kommuner eller andre myndigheder er inddraget.

OIS/BBR

Ejendomsdata kommer fra flere forskellige registre som fx Bygnings- og Boligregisteret (BBR), Statens Salgs- og Vurderingsregister (SVUR) og Matrikelregisteret. Den statslige database, Offentlige informationsserver (OIS), samler disse registre for ejendomsdata.

Bygnings- og Boligregistret (BBR) er et landsdækkende register med data om samtlige landets bygninger og boliger. Det betyder, at registret også omfatter bygninger som fx kirker, hospitaler og skoler. Oplysningerne i BBR dækker bl.a. areal, beliggenhed, anvendelse, installationer, vand- og afløbsforhold, køkkenforhold, ydervægs- og tagdækningsmaterialer, årlig leje m.v. Oplysningerne i BBR skal afspejle de faktiske, fysiske forhold – altså også forhold, der eventuelt ikke er godkendte.

5.2. Hydrodynamiske forhold (Trin 2)

Undersøgelsen af de hydrodynamiske forhold i hvert risikoområde tager udgangspunkt i alle registrerede hændelser med ekstrem vandstand på en bestemt lokalitet. Spektret af højvandshændelser skal være så bredt som muligt, dvs. fra moderate og hyppige til ekstreme og sjældne. Konkret betyder det, at højvande analyseres efter deres sandsynlighed og højde. Højvande er normalt forårsaget som følge af tidevand og en opstuvning af vandet ved kysten. Opstuvningen kan skyldes tre overordnede processer, som også kan optræde i kombination: (i) den barometriske effekt skabt som følge af et aftagende atmosfærisk lufttryk (lavtryk), (ii) opstuvning af vandet som følge af kraftig pålandsvind og (iii) den 'dynamiske effekt' med en forstærkning af opstuvningsdynamikken pga. landets facon; f.eks. seiching (stående bølger i et lukket eller delvis lukket vandområde) eller funnelling (et kystlandskab, f.eks. en fjord, med form af en tragt, kan medføre ekstra opstuvning af vandet), jf. også Sørensen et al (2013).

På grundlag af historiske højvandshændelser undersøges følgende:

- Sandsynlighedsfordelingen af højvandshændelserne fra stormfloder med forskellig styrke,
- Stormflodernes geografiske udstrækning,
- Stormflodernes varighed.

Datagrundlaget for historiske stormfloder og deres ekstreme vandstande er ofte begrænset, og beregninger af sandsynligheden af højvande baserer sig ofte på nogle få hændelser (f.eks. 5-10). Indsamling af vandstandsdata og

deres kvalitetskontrol er derfor også en vigtig fremtidig opgave.

Stormflodens påvirkning på kysterne og eksisterende kyst- og højvandsbeskyttelse beskrives normalt ved hjælp af den maksimale vandstand, som indstillede sig under stormen. Opstår der flere stormfloder over en længere tidsrum (50 - 100 år) ved et bestemt lokalitet, vil alle de registrerede maksimale vandstande danne en dataserie af uafhængige ekstreme vandstande, fordi disse vandstande indstillede sig under enkelte ekstreme hændelser, og de repræsenterer derfor ikke de daglige vandstandsforhold på stedet.

På grundlag af dataserien for ekstreme vandstande og statistiske beregninger kan sandsynligheden for en bestemt ekstrem vandstand beregnes. Sandsynligheden for en ekstrem vandstand angives som en middeltidshændelse. En middeltidshændelse er den vandstand, der statistisk set forventes at indtræffe eller blive overgået indenfor en vis tidsperiode (f.eks. hvert 20. eller 100. år). Tidsperioden for, at en given vandstand nås eller overskrides, betegnes tilsvarende som middeltidsafstanden (MT).

Angivelsen $VS_{100} = +4,95$ m DVR90 betyder således en vandstand, der i gennemsnit opstår 1 gang hvert 100. år (middeltidsafstand) beregnet på basis af en lokal vandstandsstatistik. Sandsynligheden for, at vandstanden under en stormsituation når eller overskrider en højde på +4,95 m DVR90, er således statistisk set 1 gang på 100 år eller 1 % per år. En moderat stormflod med en lavere vandstand (f.eks. +4,03 m DVR90) vil således, statistisk

set, have en større sandsynlighed på 10 % per år og der ved indtræffe eller blive overgået 1 gang per 10. år.

Som anført i Kapitel 2.2, kræver oversvømmelsesdirektivet at der udarbejdes farekort og risikokort for alle risikoområder efter følgende tre scenarier:

- a) ringe sandsynlighed for oversvømmelse eller ekstreme hændelser,
- b) middelstor sandsynlighed for oversvømmelse (sandsynligvis højst en gang hvert 100. år),
- c) stor sandsynlighed for oversvømmelse, hvor det er relevant.

Ved betragtning af scenarie b) angives i direktivet et konkret tal for scenariets sandsynlighed; nemlig 1 gang hvert 100. år. For de to andre scenarier angiver direktivet ikke en konkret sandsynlighed, hvilket betyder, at scenariernes sandsynlighed kan vælges i relation til de lokale forhold. For scenariet med en ringe sandsynlighed for oversvømmelse er udpegningskriteriet fra implementering af direktivets først plantrin videreført. Her er valgt, at sandsynligheden for de mest ekstreme vandstande skal være mindst 1 gang i 1000 år, dvs. $MT_{\text{Ekstrem}} \geq 1/1000$. For scenariet med en stor sandsynlighed for oversvømmelse er der valgt en vandstand, som indtræffer mindst 1 gang hver 20. år. Vandstandene for en 20 års og 100 års hændelse er vurderet ud fra Kystdirektoratets højvandsstatistik for hvert risikoområde (Sørensen et al., 2013). Vandstandene for scenariet med ringe sandsynlighed for oversvømmelse refererer til Kystdirektoratets historiske stormflodsanalyse, som er gennemført i forbindelse med første plantrin af oversvømmelsesdirektivet (Kystdirektoratet, 2011).

Konkret betyder det, at de tilhørende S2-vandstande i det pågældende risikoområde med den tilhørende sandsynlighed er overtaget fra første plantrin og anvendt som input til ekstremscenariet i andet plantrin af direktivet. Denne tilgang til ekstremscenariet har betydet, at sandsynligheden for ekstremvandstanden i risikoområderne ikke er ens, og at der for nogle af områderne er anvendt en statistisk vandstand, hvorimod ekstremscenariet i andre risikoområder er repræsenteret af stormfloden i 1872. Dette hænger tillige sammen med, at statistikkerne har svært ved at repræsentere de meget sjældne, ekstreme hændelser, og der er derfor også nogen usikkerhed tilknyttet vandstandenes sandsynlighed for at indtræffe.

Alle førnævnte scenarier refererer til i dag og har reference i år 2012. Ved siden af de tre scenarier for i dag, er der endvidere defineret tre klimascenarier. To klimascenarier refererer til år 2050, som derved er samme tidsperspektiv som i kommunernes klimatilpasningsplaner. Det tredje klimascenarie refererer til år 2100, svarende til en typisk levetid af større infrastrukturinvesteringer på omkring 100 år. 2050 klimascenarierne repræsenterer henholdsvis en 20 års og en 100 års middeltidshændelse med et tillæg på 30 cm for havspejlsstigning. Disse to klimascenarier repræsenterer således scenarier med middelstor sandsynlighed (1/100) og med stor sandsynlighed (1/20) i 2050. 2100 klimascenariet repræsenterer en middelstor sandsynlighed (1/100) med et tillæg i ekstremvandstanden svarende til en havspejlsstigning på 80 cm. Havspejlsstigningen på 30 henholdsvis 80 cm i 2050 og 2100 er valgt for alle risikoområder. Ekstremvandstandene i 2050 og 2100 er derefter korrigeret for den overordnede landbevægelse i det pågældende risikoområde.

Landbevægelsen kan opdeles i en generel landhævning og i lokale sætninger, som kan spille en stor rolle for potentielle fremtidige oversvømmelser. Mens landhævningen mindsker effekten af havspejlsstigningen, vil lokale sætninger forstærke effekten af et stigende havniveau. Set over hele Danmark sker der hovedsaglig en landhævning, der er størst mod nord (ca. 2,0 mm/år) og mindst mod sydvest (ca. 0,5 mm/år). Den korrigerede havspejlsstigning for henholdsvis 2050 og 2100 er således ikke ens for risikoområderne.

I undersøgelsen af de hydrodynamiske forhold er risikoområderne inddelt i to grupper. Den ene gruppe omfatter risikoområder placeret ved en åben kyst, mens den anden er risikoområder i et fjordområde. I fjordområder med større vandløb, der munder i fjorden, kan vurderingen af de hydrodynamiske forhold ikke baseres på beregning af middeltidsafstanden for ekstreme vandstande som den eneste variable parameter. Her kan sammenfald mellem forøget vandføring i vandløbet og en forhøjet vandstand i fjorden føre til ekstreme vandstande lokalt i mundingsområdet. Ekstremvandstanden opstår fordi de to vandvolumener, som bevæger sig imod hinanden, løber sammen i munden og her kan medføre vandstande, som er højere end ved en af de to hændelser isoleret set; en forøget vandføring i vandløbet eller ved en forhøjet vandstand i fjorden som følge af stormvejr. Konsekvensen af en sådan kombineret ekstremhændelse kan være alvorlig, idet der normalt ligger større byområder i mundingsområdet.

Udfordringen ved en kombineret ekstremhændelse er at beregne sandsynligheden for denne. Beregningen af en kombineret sandsynlighed kræver længere tidsserier af

både vandføringsdata og af vandstandsdata i fjorden. Disse tidsserier foreligger dog normalt ikke, hvilket besværliggør beregningen af den kombinerede sandsynlighed.

I forbindelse med risikoanalysen for de involverede fjordområder i Danmark har det været et ønske at sætte fokus på kombinerede ekstremhændelser. Der er således defineret et kombineret scenarie med ringe sandsynlighed for oversvømmelse ved at kombinere en 100 års midteltidshændelse fra fjordsiden og en 10 års hændelse for vandføringen i de pågældende vandløb, som udmunder i fjordene. Den kombinerede sandsynlighed for samtidige hændelser kan således beregnes til en 1000 års hændelse under forudsætning af, at begge hændelser er statistisk uafhængige, og at ekstremene ved begge hændelser er tidsmæssigt sammenfaldende. Disse to forhold er dog ret urealistiske, idet begge ekstremhændelser (forøget vandføring og forhøjet vandstand) normalt er korreleret i en vis grad, og at tidspunktet for den maksimale vandføring i vandløbet ikke er sammenfaldende med tidspunktet for den maksimale vandstand i fjorden. Sandsynligheden på 1/1000 for en kombineret hændelse, bestående af en 100 års middeltidshændelse fra fjordsiden og en 10 års hændelse for vandføringen, må derfor anses som et teoretisk scenarie, som dog inddrages for at undersøge og dokumentere konsekvenserne af en kombineret ekstrem oversvømmelsehændelse i fjordområderne. Oversigtstabellerne 5.2 og 5.3 viser scenarierne for risikoområderne ved en åben kyst henholdsvis i et fjordområde.

Tabel 5.2 Scenarierne for risikoanalysen i områder ved en åben kyst.

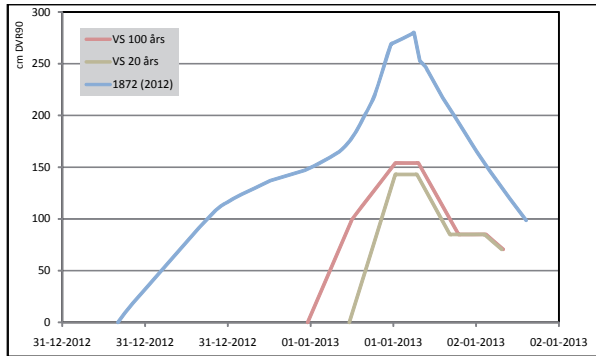
Scenarier	Åben kyst [vandstand]
Ringe sandsynlighed (Ekstremhændelse)	Ekstremvandstand anvendt i plantrin 1 ifølge Artikel 4(2)(b,c)
Middelstor sandsynlighed	1/100
Stor sandsynlighed	1/20
Klimascenarie²⁰⁵⁰ 2050, middelstor sandsynlighed	1/100 + 30 cm SLR ± landbevægelse
Klimascenarie²⁰⁵⁰ 2050, stor sandsynlighed	1/20 + 30 cm SLR ± landbevægelse
Klimascenarie²¹⁰⁰ 2100, middelstor sandsynlighed	1/100 + 80 cm SLR ± landbevægelse

Tabel 5.3 Scenarierne for risikoanalysen i fjordområder.

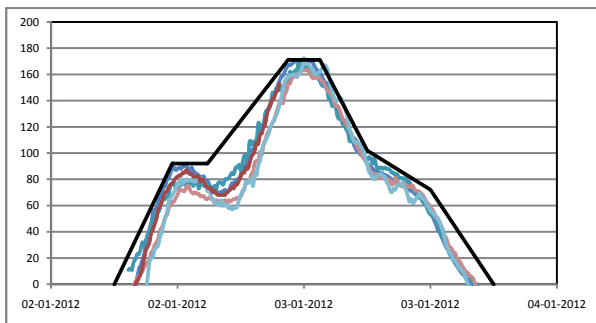
Scenarier	Fjordområde [vandstand]
Ringe sandsynlighed (Ekstremhændelse)	Kombineret scenarie: 1/100 for VS _{Fjord} og 1/10 for HQ _{vandløb}
Middelstor sandsynlighed	1/100
Stor sandsynlighed	1/20
Klimascenarie²⁰⁵⁰ 2050, middelstor sandsynlighed	1/100 + 30 cm SLR ± landbevægelse
Klimascenarie²⁰⁵⁰ 2050, stor sandsynlighed	1/20 + 30 cm SLR ± landbevægelse
Klimascenarie²¹⁰⁰ 2100, middelstor sandsynlighed	1/100 + 80 cm SLR ± landbevægelse

En anden vigtig parameter for beskrivelsen af de hydrodynamiske forhold, udover den vurderede ekstremvandstand, er det tidsmæssige forløb af vandstanden under en højvandshændelse. Stormflodens varighed, såvel som den hastighed vandstanden stiger og falder med, er afgørende for forløbet af en potentiel oversvømmelse og for påvirkningen på eksisterende højvandsbeskyttelse. Figur 5.3 viser tre forskellige stormflodsforløb, hvor forskellen i vandstand, tidsforløb og fyldningsgrad, dvs. området under selve kurverne, er ret stor.

For hvert risikoområde er der udarbejdet såkaldte standardstormflodskurver, som er anvendt i oversvømmelsesmodellerne (Trin 4, se Kapitel 5.4). Standardstormflodskurverne er udarbejdet på basis af foreliggende tidsserier for historiske stormfloder i de pågældende risikoområder. Vandstandskurverne er sammenlagt på den måde, at selve tidspunktet for den højeste vandstand ligger på samme tidspunkt. Derefter er der defineret en standardstormflodskurve ved at tegne en forsimplet kurve omkring gruppen af vandstandskurver, jf. Figur 5.4. Standardstormflodskurverne er defineret for fastlægge et gennemsnitligt forløb af en stormflod i det pågældende risikoområde og for at have et forsimplet forløb, der fører til en højere stabilitet af modelkørslen ved oversvømmelsesmodellerne. Stormflodskurverne er opbygget til at repræsentere de valgte scenarier, og hvor maksimalvandstandene repræsenterer middeltidshændelserne ved lokaliteterne. Selvom sandsynlighederne for de statistiske vandstandsniveauer strengt taget ikke kan omsættes til varighedskurver, er standardkurverne dog, på baggrund af de tilgængelige data, vurderet at være repræsentative for de statistiske hændelser.



Figur 5.3 Den tidsmæssige forløb af tre stormflodskurver for en 100-års hændelse, 20-års hændelse og 1872-stormen for risikoområdet Køge bugt.



Figur 5.4 Definition af en standardstormflodskurve.

5.3. Styrkevurdering (Trin 3)

Oversvømmelsens sandsynlighed og karakteregenskaber er også afhængig af, om der er etableret højvandsbeskyttelse (f.eks. diger), eller det kystnære bagland er ubeskyttet. I områder uden højvandsbeskyttelse er sandsynligheden for oversvømmelse af baglandet lig med sandsynligheden af højvander, som overskrider baglandets terrænhøjde.

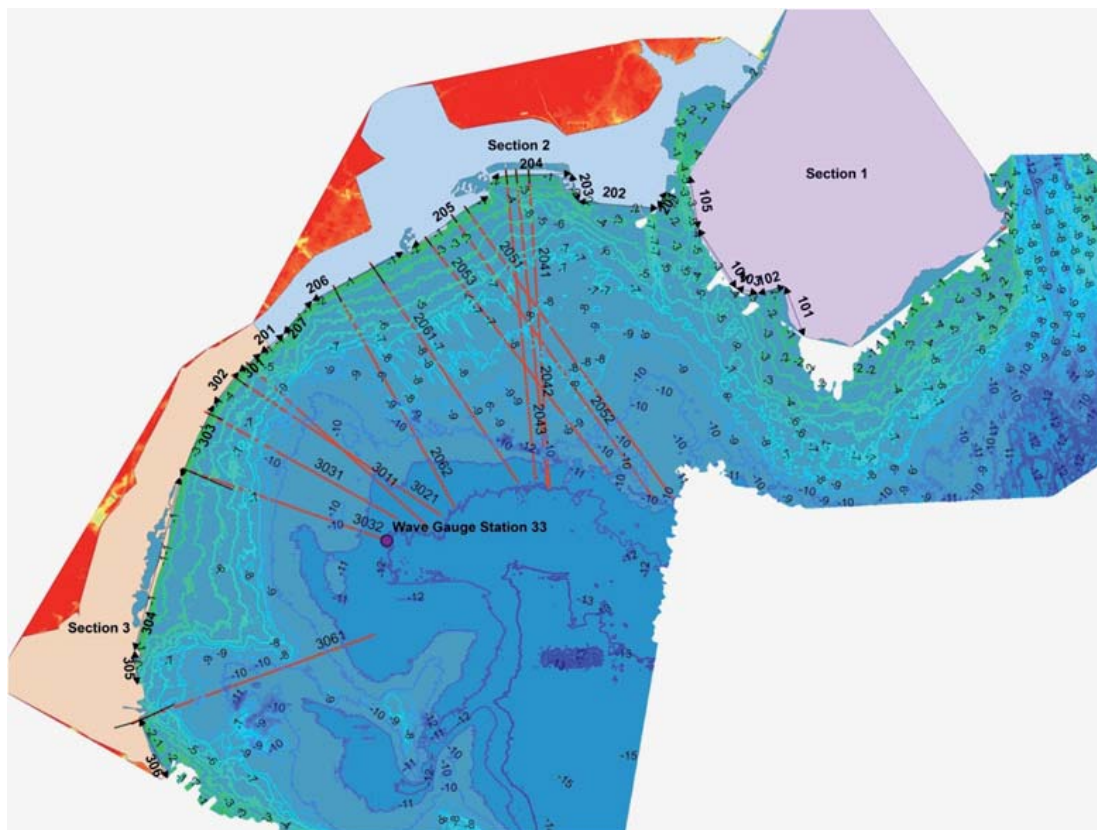
I kystområder med højvandsbeskyttelse kan fareanalysen ikke baseres på beregning af middeltidsafstanden for ekstreme vandstande som den eneste variable parameter. En række forskningsprojekter de senere år har vist, at den måde en højvandsbeskyttelse bliver delvis eller total beskadiget på under en storm ikke kun sker som følge af en ekstrembelastning af en enkelt parameter (f.eks. vandstand). Højvandsbeskyttelsens sikkerhed er snarere afhængig af en simultan påvirkning af flere parametre. Udover vandstanden er bølgenes højde, periode og retning af afgørende betydning for beskyttelseskonstruktioner i kystzonen. Oversvømmelsessandsynligheden skal derfor defineres som sandsynligheden for konstruktionens funktionstab (beskyttelse mod oversvømmelse) ved ekstreme vandstande og bølgepåvirkning.

Havdiger er den type af højvandsbeskyttelse, som er mest udbredt i Danmark. Ses der bort fra Køge Bugt risikoområdet, er havdiger den type højvandsbeskyttelse, som findes i de risikoområder, hvor der eksisterer en beskyttelse mod oversvømmelse. I indeværende projekt er det antaget, at eksisterende havdiger holder, og der er ikke fortaget en nærmere undersøgelse af, om og hvordan havdigerne kan svigte. Dette skyldes især, at en

sådan styrkevurdering kræver en ret detaljeret viden om digernes geometri og opbygning såvel som de anvendte materialer. Disse data og informationer foreligger ikke, og tidsplanen for andet plantrin har ikke tilladt først at gennemføre et omfattende opmålingsprogram i de risikoområder, som har en digebeskyttelse.

Digernes funktionstab er der således kun taget højde for i det omfang, digets højde er lavere end vandstanden, hvor vandet konstant løber over diget. Bølgeoverløb eller decideret digebrud er ikke inkluderet i den videre proces. Digernes funktionstab i form af konstant overløb er undersøgt ved hjælp af oversvømmelsesmodellen (Trin 4), hvor modelleringen undersøger, om digekronens højde er lavere end vandstanden på ydersiden af diget. Det er derfor vigtigt, at hydrauliske hindringer som f.eks. diger og vejdamninger er identificeret og lagt ind i modellen.

I Køge Bugt er en del af baglandet beskyttet af klitter eller forhøjede strandvolde. Her har det været nødvendigt at belyse klitternes styrke mod erosion ved stormfloder. Ved hjælp af softwaret 'XBeach' (Roelvink et al., 2010) et 1D/2D modelleringsværktøj, er klitstrækningerne indenfor det udpegede område undersøgt. Køge Bugt er i den forbindelse opdelt i tre delområder, jf. Figur 5.5. Analyser med XBeach er udført for delområderne Køge Bugt 2 og Køge Bugt 3, hvor der er klitter. For hver klitstrækning er tværprofil og dybdeforhold beskrevet til simulering af kliterosionen for de anvendte scenarier. Klitterne langs kysten er inddelt i sektioner ud fra deres højde, volumen og orientering. Potentielt svage sektioner i klitterne er endvidere vurderet særskilt, f.eks. på steder med et meget lille sandvolumen, eller hvor der er overgange til stranden eller andre former for åbninger.



Figur 5.5 Inddeling af risikoområde Køge Bugt i 3 delområder og de repræsentative tværprofiler til XBeach modellering.

Opdelingen indenfor de to delområder medfører således, at homogene klitsektioner repræsenteres af et tværprofil, som efterfølgende er modelleret XBeach. Kliterosionen som følge af de fysiske påvirkninger under stormflods-scenarierne er beregnet ved inddragelse af vandstande og bølgepåvirkning. XBeach beregner i hvert tidsskridt under stormflodsforløbet et nyt profil, som efterfølgende giver mulighed for beregning af bølgeoverløb, konstant overløb og gennembrud af klitten.

For yderligere oplysninger om XBeach modelleringerne og beregningerne for Køge Bugt henvises til Oumeraci et al. (2013) og Schürenkamp et al. (2013), ligesom der kan rettes henvendelse direkte til Kystdirektoratet.

5.4. Modellering af oversvømmelser

(Trin 4)

Efter undersøgelse af højvandsbeskyttelsens styrke og fastlæggelse af scenarier for mulige 'failure modes'/ konstruktionssvigt på eksisterende højvandsbeskyttelse, undersøges oversvømmelsen af baglandet. Simulering af en oversvømmelseshændelse har til formål at give et detaljeret indblik i; hvor vandet strømmer hen; med hvilken hastighed, det strømmer ind i baglandet; og om der findes tærskler, som kan tilbageholde vandet i en periode eller fuldstændigt, eller om der omvendt er vandløb og kanaler, som kan transportere vandet langt ind i landet. Simuleringen giver ligeledes et overblik over, hvor højt vandet kommer til at stå i hele oversvømmelsesområdet.

Simulering af oversvømmelse foretages ved numerisk modellering. Til modellering af oversvømmelse benyttes DHI software. I områder med oversvømmelse fra havet alene anvendes MIKE 21 FM, og i områder med kombineret oversvømmelse fra hav og vandløb eller fra større vandløb alene er der anvendt MIKE 11 koblet med MIKE 21 HD i MIKE FLOOD til beregning af oversvømmelsesudbredelsen.

MIKE 21 er et numerisk 2D modelleringsværktøj, som inkluderer de væsentligste hydrodynamiske processer i marine og kystnære områder. MIKE 21 FM tillader et fleksibelt trekants eller firkants beregningsnet, hvorimod MIKE 21 HD modellerer i et fast kvadratisk grid. MIKE 11 er en numerisk 1D model, som inkluderer de styrende hydrodynamiske processer for vandbevægelse i åbne kanaler/vandløb. I MIKE FLOOD er der mulighed for at

koble 1D og 2D modeller for således at kunne inkludere hele vandets kredsløb. MIKE FLOOD er benyttet i områder, hvor større vandløb synes at kunne bidrage væsentligt til oversvømmelse.

Tabel 5.4 Oversigt over modelopsætningerne i risikoområderne.

Risikoområde	Model	Modelansvarlig
Randers Fjord	MIKE 21 FM, MIKE FLOOD	Kystdirektoratet / NIRAS
Holstebro	MIKE FLOOD	NIRAS
Juelsminde	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet
Fredericia (Skærbækværket)	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet
Vejle	MIKE FLOOD	Vejle Spildevand
Aabenraa	MIKE 21 FM, MIKE FLOOD	NIRAS
Odense Fjord	MIKE 21 FM, MIKE FLOOD	NIRAS
Korsør	MIKE 21 FM	NIRAS
Nakskov	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet
Køge Bugt I	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet
Køge Bugt II	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet
Køge Bugt III	MIKE 21 FM	Kystdirektoratet

5.4.1. Opsætning af den numeriske model

Ved numerisk modellering af oversvømmelser er det vigtigt at kunne genskabe virkeligheden så nøjagtigt som muligt. En god og retvisende modelopsætning er derfor afgørende. Modellen opsættes med alle nødvendige data: Højdedata, dybde data, information om eksisterende højvandsbeskyttelse og vandstandsdata, der viser det tidsmæssige forløb under storm. Datakvaliteten er i den forbindelse af afgørende betydning for resultatet.

Endvidere er det vigtigt at identificere hydrauliske hindringer i landskabet, som har indflydelse på vandets

bevægelse. Hydrauliske hindringer kan være bygninger, tæt beplantede arealer eller andre former for menneskeskabt infrastruktur som f.eks. højvandsbeskyttelse. Disse hindringer har indflydelse på vandets strømhastighed og udbredelse, da jordoverfladens ruhed forøges i forhold til en overflade, som er plan og glat.

I det følgende gennemgås de mest centrale input-data og indstillinger til opsætningen af MIKE 21 modelleringerne. Alle data er klargjort i ESRI ArcGIS 10.1 (Skov og Schürrenkamp, 2013). Der har været fokus på at inddrage så megen betydende viden som muligt, og datatilgængelighed og datakvalitet har været i fokus.

Terrænmodel

Danmarks Højdemodel er, inklusive de hydrauliske tilretninger, indlæst for hvert risikoområde. Grundet de store datamængder og software begrænsninger er Danmarks Højdemodel omregnet til en punkttæthed i 10 m * 10 m grid.

Dybdeforhold

I opsætning af MIKE 21 modellen indgår dybdeforholdene i det kystnære vandområde. Grundet forskelligartet datatæthed og datakvalitet er en fladedækkende bathymetri forsøgt interpoleret. Opløsningen foreligger i 25 m * 25 m grid af ophavsretslike årsager.

Hydrauliske hindringer

Hydrauliske hindringer som f.eks. diger, sluser og vej-dæmninger er identificeret via oplysninger fra Geodatastyrelsen, ved hjælp af oplysninger fra de berørte kommuner eller ved visuel identifikation. Tilgængelige lokale data

er indlagt direkte, mens identificerede elementer uden yderligere detaljeret kendskab er beskrevet ved udtræk fra Danmarks Højdemodel i 1,6 m * 1,6 m grid.

Ved linjeelementer som f.eks. diger og vejdæmninger er der lagt en 5 m bred buffer omkring elementet for at sikre den højdemæssige repræsentation i modellen bedst muligt. Højdeinformationerne til bufferen omkring linjeelementerne er taget fra Danmarks Højdemodel. Vejdæmninger, højvandsbeskyttelse og lignende er således søgt repræsenteret bedst muligt i modellen.

Vandets vej gennem landskabet mødes af bygninger og andre elementer, som enten vil begrænse eller øge strømhastigheden. Overordnet set findes der i modelopsætningen to metoder til at tage højde for disse hydrauliske hindringer. Enten indsættes hver enkelt hindring i modellen ud fra objektets geografiske placering, eller arealanvendelsen i forskellige områder tildeles en ruhedsværdi, som repræsenterer en gennemsnitlig ruhed, der påvirker vandets hastighed og udbredelse i modelleringen.

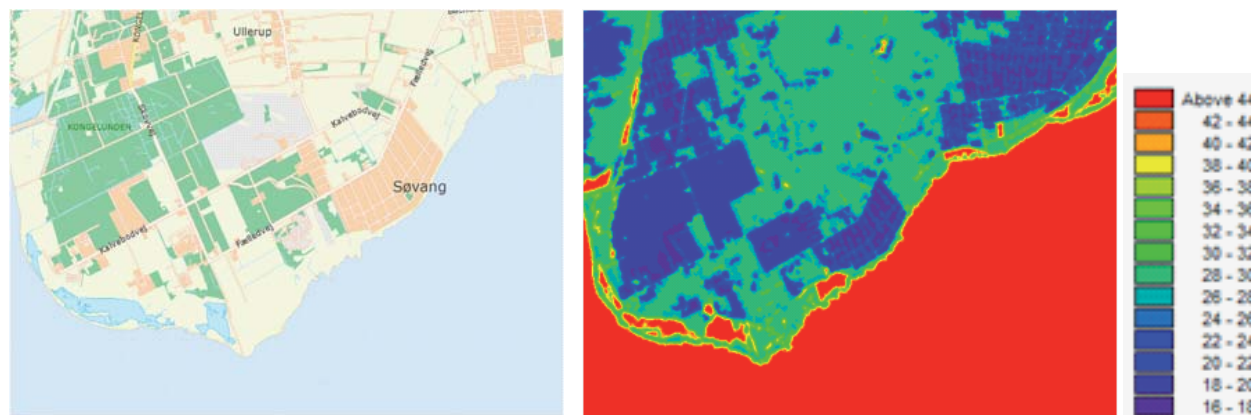
En ulempe ved den første metode er, at det for f.eks. bebyggede områder er et omfattende arbejde at lægge hver enkelt bygning ind i modellen. Idet en bygning normalt markeres med mindst 4 punkter, skabes der en meget stor punktmængde og et beregningsnet, som kan være vanskeligt at håndtere beregningsmæssigt. Fordelen er, at modelleringsresultaterne kan medvirke til at vise vandets strømhastighed og udbredelse mellem bygninger og langs med veje. Ulempen ved den anden metode er, at netop vandets strømhastighed mellem bygninger og langs veje ikke bliver beregnet, og derfor ikke kan vises. Yderligere

fastlægges der en ruhedsværdi som et gennemsnit over et større areal, og detaljerne i landskabet bliver således ikke repræsenteret i modelleringen. Til gengæld inddrages de enkelte områders arealanvendelse i højere grad, og stabiliteten af modelkørslerne forbedres betydeligt, og beregningstiden nedsættes.

I forbindelse med modellering af oversvømmelsesscenerierne i de 10 risikoområder er variable ruheder anvendt, da den maksimale oversvømmelse og sårbarhed er i fokus, og metoden er robust og stabil. Det variable ruhedskort, jf. Tabel 5.5 og Figur 5.6, er generet på baggrund af det landsdækkende TOP 10DK kort og med værdier fra Burzel et al. (2012).

Tabel 5.5 Ruhedsværdier.

Arealanvendelse	Ruhed [$m^{1/3}/s$]
Bygninger	17
Infrastruktur	32
Landbrug	28
Skov	18
Vådområder	32
Hede	28
Grønne områder	18
Strande og klitter	26
Søer	45
Vandløb	45
Hav	45
Kystbeskyttelse	26
Områder med manglende viden om arealanvendelse	28



Figur 5.6 TOP 10DK (til venstre) og ruhedskort for samme område.

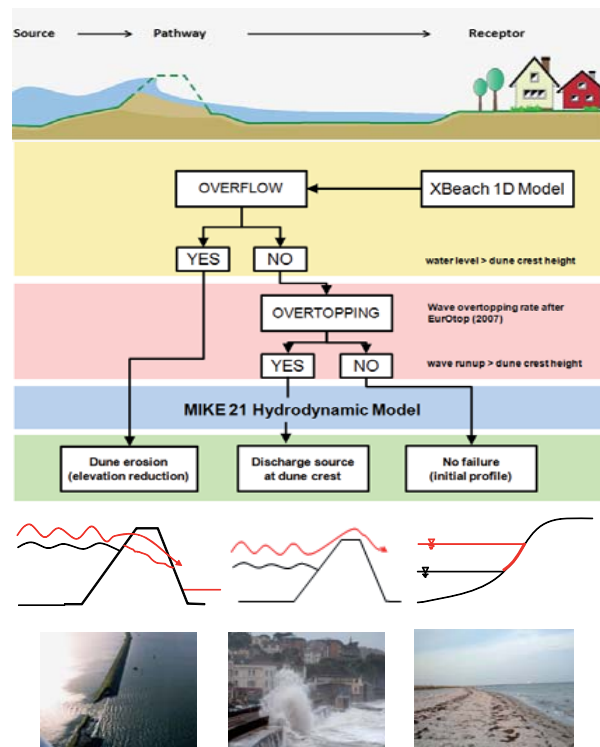
Hydrauliske randbetingelser

Stormflodsscenerierne er bestemt, som beskrevet i Kapitel 5.2. Den hydrauliske randbetingelse defineres offshore vinkelret på kysten ved åbne kyster eller i fjordmundingen ved fjordområderne. Alle simuleringer er modelleret fra et arbitrært defineret tidspunkt 1-1-2012 00:00:00 og løber afhængigt af scenarierne i 1 - 3 døgn. I risikoområder med større vandløb er der taget højde for middel vandføring i modelkørslen.

Modelopsætning

For hvert risikoområde er der opsat et 'model domain' med inddragelse af søkortdata, terrænmodel og væsentlige strukturer som højvandsbeskyttelse, vejdæmninger mv. Afhængig af modeltypen er parametrene og specifikationerne lidt forskellige. Som udgangspunkt er modellerne dog ens opsat, hvor det er muligt. I områder med tæt bebyggelse er der anvendt et finere beregningsnet (1 – 450 m²) end i det åbne land (450 – 2000 m²), hvor bebyggelsesgraden er lavere. De tekniske hydrodynamiske specifikationer i MIKE modellerne fremgår af Bilag 1.

Som beskrevet i Kapitel 5.3, er der udført en styrkevurdering af klitterne og strandvoldene med XBeach i del-risikoområderne Køge Bugt II og Køge Bugt III. Der er i samarbejde med Leichtweiß Institutet udviklet en metode, som muliggør inddragelsen af XBeach resultaterne i MIKE 21 modelopsætningen. Metoden er vist i Figur 5.7.



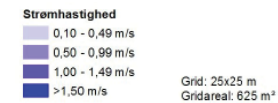
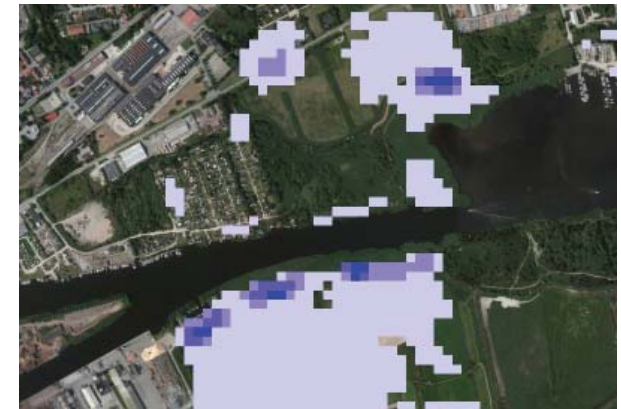
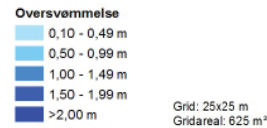
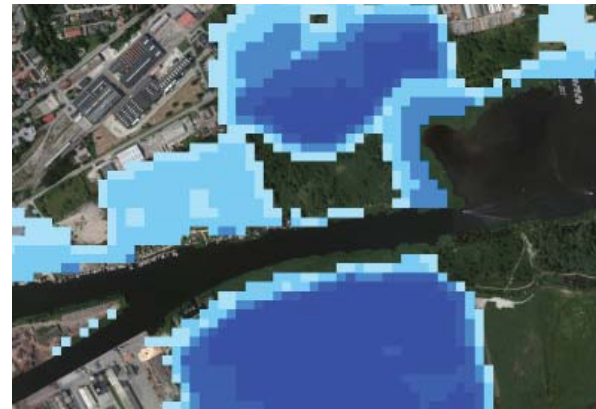
Figur 5.7 Metode til at inddrage XBeach resultater i MIKE 21 modelopsætning.

Metoden starter med at undersøge, om der er konstant overløb i det undersøgte kystprofil, jf. Kapitel 5.3. Hvis XBeach resultaterne viser konstant overløb, er vandstandens randbetingelser (stormflodskurven) sammen med profilet for kliterosion anvendt som input til MIKE 21 FM. MIKE 21 FM modelleringen tager således højde for den tidsmæssige erosionsudvikling af klitprofilen.

I tilfælde af, at der ikke konstateres konstant overløb, foretages bølgeoverløbsberegninger ved hjælp af software til overløbsberegninger. Resultater af bølgeoverløbet defineres derefter specifikt i MIKE 21 FM som punktkilder for overløbende vand for hver 100 m. Viser beregningerne, at der ikke forekommer bølgeoverløb, opretholdes beskyttelsen mod oversvømmelse af klitten under det pågældende oversvømmelsesscenarie.

5.4.2. Resultater af den numeriske modellering

Resultaterne af den numeriske oversvømmelsesmodellering foreligger i tidsskridt af 15 min som en dfsu-fil og i 10 m * 10 m som dfs2-fil. Resultatfilerne indeholder som minimum vanddybder og strømhastigheder for oversvømmelse, Figur 5.8. Ved hjælp af værktøjerne i MIKE Toolbox udtrækkes den maksimale vanddybde og strømhastighed. Filerne er dernæst konverteret til ASCII-filer. Der er genereret animationer af de individuelle scenarier som henholdsvis avi-filer og Google Earth filer.



Figur 5.8. Eksempel på resultat af oversvømmelsesmodellering, der viser oversvømmelsesdybde (midt) og strømhastighed (th).

5.5. Håndgribelige og uhåndgribelige skader (Trin 5 & 6)

Som beskrevet i Kapitel 2.2 beregnes oversvømmelsesrisikoen på grundlag af sandsynligheden for en oversvømmelse og de potentielle konsekvenser af en oversvømmelse. Omfanget af de potentielle konsekvenser af en oversvømmelse fastlægges ved en sårbarhedsanalyse, dvs. en analyse af, hvor sårbart et område er overfor en oversvømmelse af en given størrelse. Formålet med sårbarhedsanalysen er at analysere de negative følger af oversvømmelsen. De eventuelle positive konsekvenser af oversvømmelsen, som f.eks. forbedrede levevilkår for fuglearter som følge af vanddækning af arealer eller øget

indtjening for erhvervslivet i forbindelse med genopbygning efter en oversvømmelse, inddrages ikke.

Ved at samkøre et oversvømmelseskort og forud indhentede oplysninger om skadesobjekter, kan konsekvenserne af en oversvømmelse bestemmes. Det vil sige, at der kan undersøges, hvilke objekter rammes, hvor mange bliver ramt, og hvor omfattende de enkelte objekter rammes i henhold til oversvømmelsesdybden eller andre egenskaber ved oversvømmelsen. Afgørende for estimering af konsekvenserne er, at sårbarheden af hvert skadesobjekt kvantificeres.

5.5.1. Sårbarhedsanalysens omfang

Sårbarhedsanalysens omfang er vurderet ud fra fire aspekter: (i) den fysiske opløsning, (ii) analysens formål, (iii) allokering af ressourcer for gennemførelse af analysen, og (iv) omfanget og kvaliteten af de foreliggende informationer og data.

Metoden for gennemførelse af en sårbarhedsanalyse afhænger af størrelsen på området, som skal undersøges. Normalt skelnes der mellem tre typer: En sårbarhedsanalyse på nationalt eller eventuelt internationalt niveau refererer til hele landets kystlinje eller et vandområde-distrikt på tværs af landegrænser. På regionalt niveau vil sårbarhedsanalysen referere til en delstrækning af et vandløb eller til en kystregion (f.eks. den danske del af Va-

dehavet). Endelig kan en sårbarhedsanalyse gennemføres på lokalt niveau med formål at undersøge sårbarheden i en enkelt kog, indenfor en enkel kommune, eller endda for en enkelt ejendom.

Størrelsen på området påvirker ressourcebehovet og omkostningerne til gennemførelse af sårbarhedsanalysen. En detaljeret analyse af sårbarheden på objektbasis er ofte kun mulig på lokalt niveau. Analyser på regionalt eller nationalt niveau bygger derimod på metoder, som kræver et mindre ressourcebehov, men som også fører til et lavere niveau af nøjagtighed i vurdering af sårbarheden.

Spørgsmålet om den fysiske opløsning for sårbarhedsanalysen er endvidere tæt tilknyttet analysens formål. Normalt skal analysens resultater indgå i forskellige beslutningsprocesser. Makro-baserede analyser er målrettet til beslutningsunderstøttelse ved implementering af f.eks. nationale love for reduktion af oversvømmelsesrisikoen, hvorimod meso-baserede analyser kan understøtte beslutning af strategier til at reducere oversvømmelsesrisikoen for en region i det pågældende land. Mikro-baserede analyser har til formål at understøtte lokale beslutninger til reduktion af risikoen for oversvømmelse.

Sårbarhedsanalysens fysiske opløsning og metode bliver selvfølgelig også styret af de ressourcer, der står til rådighed. Ved et lavt budget og/eller begrænset tid skal analysen stadig gennemføres på valide antagelser. Gennemførelsen af en mikro-baseret sårbarhedsanalyse bliver mere realistisk, hvis tid og ressourcer er til rådighed i tilstrækkeligt omfang. Det er i den forbindelse også afgørende, om der allerede foreligger data, som kan an-

vendes. Informationer om arealanvendelse, oversvømmelsesforløbet efter f.eks. et digebrud, og værdioplysninger om f.eks. ejendomme vil være af stor betydning.

5.5.2. Sårbarhedsanalysens indhold

For at undersøge, hvor sårbart et oversvømmelsesområde er, skal det fastlægges, hvilke objekter der eventuelt kommer i kontakt med og bliver beskadiget af vandet. Undersøgelsen af hvem og/eller hvad, der bliver negativt påvirket af oversvømmelsen, omfatter to trin. I det første trin fastlægges de objekter, som skal analyseres i forhold til de negative konsekvensers omfang. Derefter omhandler andet trin indhentning af detaljeret information om disse objekters antal, placering, økonomiske værdi og sårbarhed overfor en oversvømmelse.

Fastlæggelsen af objekterne i første trin indeholder en klar afgrænsning af hvem og/eller hvad, der bliver ramt af oversvømmelse. Åbenlyst vil dette omfatte de mennesker, der opholder sig i det potentielle område og menneskenes værdier. Værdier er her defineret bredt, og omfatter både ejendomme, ejendele, affektionsobjekter og dyr – men også miljøet og økosystemer såvel som kulturarv mv. kan indgå i listen over de "modtagere" af oversvømmelse, som undersøges indenfor en sårbarhedsanalyse. I den forbindelse er det vigtigt at holde sig for øje at det, at være eksponeret for de potentielle konsekvenser, ikke betyder, at en oversvømmelse nødvendigvis har konsekvenser for modtagerne men blot, at der er en vis sandsynlighed for det.

Det afgørende spørgsmål er dog, hvilke modtagere der inkluderes i sårbarhedsanalysen. Ambitionen om at tage højde for alle eksisterende modtagere i et område er forståelig, men den vil samtidig gøre gennemførelsen af sårbarhedsanalysen meget bekostelig. Fokus bør derfor være på de modtagere, som bidrager mest til konsekvenserne af en oversvømmelse.

Modtagerne, det/de der bliver udsat for negative konsekvenser ved en oversvømmelse, kan opdeles i håndgribelige eller ikke-håndgribelige skader. For de håndgribelige skader gælder, at værdien kan prissættes i økonomiske termer, mens de uhåndgribelige skader ikke kan opgøres efter en fælles målestok, idet de ikke umiddelbart har en markedsværdi. De potentielle konsekvenser kan derfor kvantificeres som økonomiske tab og uhåndgribelige skader.

Både de håndgribelige og de uhåndgribelige skader kan endvidere underopdeles i direkte og indirekte skader. De direkte skader er de skader, der opstår som følge af kontakt med vandet, mens de indirekte skader er de følger-virkninger, som de direkte skader har.

Med opdelingerne opstår der fire kategorier af skader:

- De direkte håndgribelige skader vil typisk være forskellige former for fysiske skader på bygninger, ejendele, afgrøder, infrastruktur o.l.
- De indirekte håndgribelige skader omfatter værdier som tab af produktionsevne, tab som følge af trafikale afbrydelser, omkostninger ved iværksættelse af beredskab o.l.
- De direkte uhåndgribelige skader omfatter tab af menneskeliv, nedsat helbredsfunction, tab af økologiske og kulturelle værdier o.l.
- De indirekte uhåndgribelige skader kan være psykiske problemer for overlevende, tab af tryghed o.l.

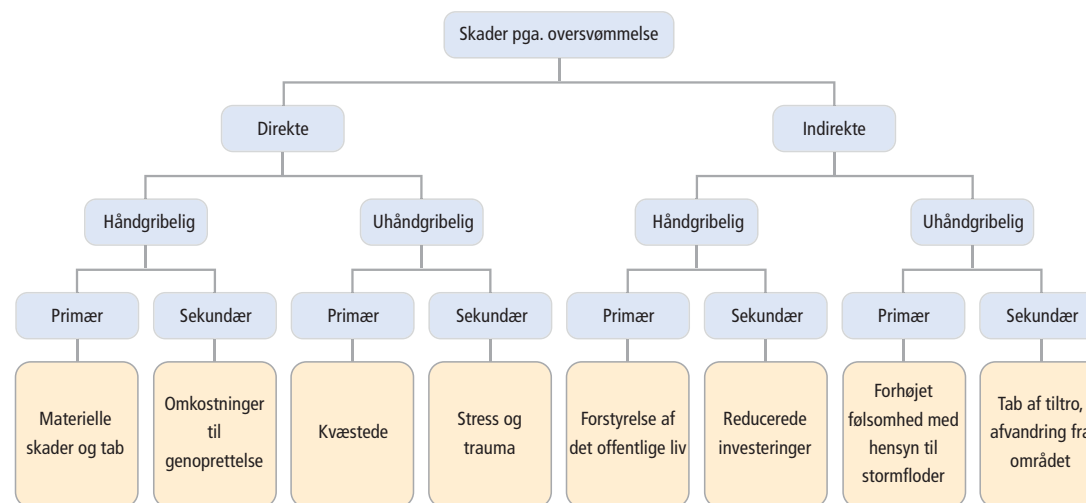
I faglitteraturen bliver de håndgribelige og uhåndgribelige skader yderligere opdelt i primære og sekundære skader, hvor en primær skade står i direkte relation til oversvømmelseshændelsen. En sekundær skade defineres som en skade, der ligger mindst et kausaltrin væk fra oversvømmelseshændelsen. Figur 5.9 viser, overordnet set, strukturen for skader i forbindelse med en oversvømmelse.

Ved gennemførelse af en sårbarhedsanalyse lægges mest fokus på direkte håndgribelige skader, som tit underopdeles i boligejendomme, erhvervs- og industrijendomme, teknisk infrastruktur, køretøjer/biler, og landbrugsprodukter. Ved oversvømmelser i bebyggede områder er skaden normalt størst ved ejendomme og indbo. Endvidere kan skader på køretøjer og biler bidrage med et større beløb til den totale skade. Her skal der dog tages højde for, at biler kan blive anvendt i forbindelse med evakuering, og derfor bliver fjernet fra det område, som oversvømmes.

De ikke-håndgribelige skader kan behandles kvalitativt, hvor mulige skadesvirkninger blot beskrives verbalt. En anden mulighed er at indføre en rangering af skaderne

ved tildeling af en værdi, som markerer den relative størrelse af skaden.

Der skal indhentes detaljerede informationer om de udvalgte skadestyper. Disse skal omfatte antal, placering, økonomisk værdi af objekter og deres sårbarhed overfor oversvømmelse. Oplysninger anskaffes principielt på to måder ved enten at gennemføre en decideret besigtigelse på stedet (primærdata) eller at anvende eksisterende data (sekundærdata). Fordelen ved primærdata er, at detaljeringsgraden for oplysningerne kan tilpasses det konkrete niveau i henhold til sårbarhedsanalysens formål. Ulempen er, at besigtigelse og registrering af informationerne på stedet er tidskrævende og bekostelig.



Figur 5.9 Skadestyper ved en oversvømmelse.

Fordelen ved sekundærdata er, at disse data allerede foreligger, og at der ikke skal bruges tid og penge for at skaffe de relevante informationer. Ulempen er, at sekundærdata ofte bliver produceret til en konkret sårbarhedsanalyse. Derved vil disse oplysninger ikke altid indeholde de informationer, som er nødvendige i en anden analyse med en anden fysisk opløsning.

Sekundærdata kan i vid udstrækning hentes fra offentlige registre. Dette gælder data som ejendoms- og grundværdier samt bygningsanvendelse. Data er geokodede, hvilket betyder, at de er forberedt til GIS-håndtering. Ejendomsoplysninger foreligger i BBR-registeret, og kommunerne kan bidrage med statistiske oplysninger om befolkningstætheden i oversvømmelsestruede områder. Gennem statens Centralt Husdyrbrugs Register kan der for hver enkelt landbrugsbedrift indhentes oplysninger om besætningsfordeling og antal dyr. Oplysning om afgrødefordeling kan erhverves gennem Danmarks Jordbrugsforskning.

Efter registrering af antal og geografisk placering, skal skadesobjekternes værdi bestemmes for at kunne pris-sætte den totale skade som følge af en oversvømmelse. Oplysninger om skadernes værdi kan indgå i sårbarhedsanalysen på to måder:

- a) Den totale værdi af alle skadeobjekter evalueres for det pågældende område. Skadesandelen af den totale værdi beregnes ved hjælp af skadesfunktioner, som for hvert skadesobjekt viser den pågældende relative skadesandel (procent af skadeobjektets værdi) i forhold til oversvømmelsesdybden (se også afsnit 3.2.2).

- b) Skaden beregnes direkte ved hjælp af skadesfunktioner, som beregner det absolutte skadesbeløb som funktion af oversvømmelsesdybden. Her behøver skadesobjekterne ikke at være værdisatte.

I tilfælde af, at skadesobjekterne skal værdisættes, er værdisætningen afhængig af sårbarhedsanalysens fysiske opløsning og formål. På et mikro-baseret niveau vil værdisætningen skulle foretages for hvert enkelt objekt (f.eks. værdien af hver ejendom). For erhvervs- og industriområder vil værdisætningen måske endog kunne foretages for de enkelte objekter på ejendommene. Store produktionsmaskiner eller -anlæg vil i sig selv udgøre så store værdier, at de værdisættes særskilt. Derimod vil en meso-baseret sårbarhedsanalyse værdisætte skadesobjekterne på grundlag af aggregerede oplysninger for områder med en ensartet arealanvendelse (f.eks. værdi for et boligområde, værdi for et erhvervsområde).

Angående vurderingen af skadeobjekternes værdi kan der skelnes mellem to forskellige vurderingskoncepter:

- a) Under antagelsen af, at et beskadiget objekt skal erstattes af et sammenligneligt objekt efter oversvømmelsen, kan prisen for nyetablering af objektet antages for objektets værdi. Dette vil betyde, at den fulde pris for fornyelse udgør objektets værdi. Ulempen er, at fornyelsesbeløbet fører til en overestimering af skadesbeløbet, fordi nedskrivning af objektet er ikke inkluderet, ligesom de reelle reparationsomkostninger for udbedring af skaden kan være betydeligt mindre end omkostningerne for nyetablering af objektet.

- b) Vurderingen baserer på objektets nedskrevne værdi, dvs. værdien på objektet inden oversvømmelsen skal beregnes og lægges til grund for skadesopgørelsen efter oversvømmelsen.

Værdisætning i forbindelse med en sårbarhedsanalyse kan derfor være meget forskellig afhængig af det anvendte vurderingskoncept. Messner et al. (2007) anbefaler at anvende en værdisætning på grundlag af objekternes nedskrevne værdi og at undgå en sammenblanding af begge koncepter indenfor en sårbarhedsanalyse.

I forbindelse med ejendomme understreges, at tilgængelige ejendoms- og grundværdier sandsynligvis vil være nogle år gamle, hvilket betyder, at de afledte værdier vil være i samme prisniveau som grunddata. Såfremt relevante prisindeks forefindes, kan værdierne fremskrives.

Oversvømmelser kan føre til tab af menneskeliv og kvæstelser som en direkte skade. I europæisk og amerikansk faglitteratur findes flere modeller og koncepter til værdisætning af menneskeliv. For Danmark anses sandsynligheden for tab af menneskeliv at være meget lav, hvilket endvidere underbygges af en gennemgang af historiske oversvømmelser, som har ramt landet. Endvidere begrundes den lave sandsynlighed for tab af liv ved den landsdækkende højvandsvarsling samt af eksisterende evakueringsplaner i de enkelte kommuner. Tab af menneskeliv vil derfor normalt ikke indgå i sårbarhedsanalyser for danske oversvømmelsestruede områder. I sårbarhedsanalysen for de 10 risikoområder redegøres der ikke yderligere for værdisætning af menneskeliv, og kun antallet af potentielt direkte berørte indbyggere oplyses.

Beregnes skaden direkte ved hjælp af skadesfunktioner, kan skadesfunktioner angive en skadesandel (relativ skadesfunktion) eller det absolutte økonomiske tab (absolut skadesfunktion) for et bestemt skadesobjekt (f.eks. bygning, inventar, infrastruktur) i forhold til størrelsen af bestemte oversvømmelsesegenskaber (f.eks. dybde, hastighed). Dybdeafhængige skadesfunktioner er normalt gældende for alle former af bygninger, inventar, maskiner og transportmidler, husdyrbesætning mv.

Ikke-dybdeafhængige skadesfunktioner er f.eks. gældende for markskader. Her er tidspunktet for oversvømmelsen og oversvømmelsens varighed af afgørende betydning, hvorimod oversvømmelsesdybden normalt ikke er det. Afhængig af årstiden for oversvømmelsen, kan denne gå ud over tilsåede arealer eller afgrøder på rod. Nysåning kan være nødvendig, og saltnedtrængning på markerne kan forringe vækstbetingelserne og betyde reduceret høstudbytte også den følgende sæson.

Indarbejdelse af uhåndgribelige skader i sårbarhedsanalysen er en stor udfordring. Disse skader kan ikke kvantificeres ved hjælp af skadesfunktioner og bygger til en vis grad på subjektive kriterier. Eksempler på uhåndgribelige skader er:

- a) Formindsket tryghedsfølelse,
- b) Tab af landskabelige værdier,
- c) Ødelæggelse af kulturarv

I stedet for at værdisætte ikke-håndgribelige skader kan der gives en verbal beskrivelse af problemstillingen og foretages en kvalitativ vurdering. Vurderingen bør indgå som en faktor sammen med prissætningen på de håndgribelige skader i den samlede analyse.

I de senere år har man dog arbejdet på at udvikle metoder, som i et vist omfang kan kvantificere de uhåndgribelige skader ved at lave et estimat over de omkostninger, der er forbundet med at føre modtagerne tilbage til tilstanden før oversvømmelsen. F.eks. kan de miljømæssige skader forårsaget af forurening kvantificeres ved de forventede udgifter til oprydning og oprensning, ligesom de helbredsmæssige skader kan opgøres som udgifter, der opstår i forbindelse med at få de ramte personer på fode igen. Estimaterne skal tage højde for, at de forhold, hvorunder genoprettelsen af tilstanden foregår, eventuelt ikke er ideelle, da oversvømmelsen kan have forringet ressourcerne i området.

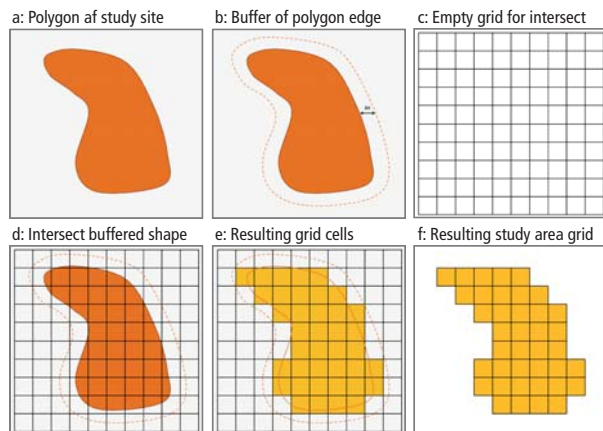
5.5.3. Sårbarhedsanalysen i risikoområderne

For den praktiske gennemførelse af sårbarhedsanalysen er der anvendt en GIS-baseret rumlig modelleringstilgang, som er udviklet af Burzel og Oumeraci (2012).

Den såkaldte Cellbased Risk Assessment (CRA)-metode er udviklet som en integreret, fleksibel og robust metode til en rumlig sårbarhedsmodellering i en integreret risikoanalyse. Det har vist sig, at egenskaberne med hensyn til sårbarhed og fare, dvs. befolkningens fordeling, baglandets topografi og vandstanden mv., varierer betydeligt inden for risikoområder.

GIS raster konceptet er førhen almindeligvis anvendt i en risikoanalyse. Den største ulempe ved raster konceptet er dog, at kun et data attribut kan opbevares i hvert raster sæt. Derfor er et polygon baseret koncept for geografiske risikoanalyser udviklet, der udnytter fordelene ved begge GIS koncepter, nemlig raster og polygon formater.

Ved en CRA baseret risikoanalyse er det pågældende risikoområde opdelt i ensartede polygoner (celler) af en given størrelse, som hovedsaglig afhænger af størrelsen af risikoområdet og af analysens omfang, se Figur 5.10. Desuden skal cellestørrelsen vælges i henhold til målestoksforholdet af risikokortet, som skal udarbejdes. Da cellerne udgør et ensartet net, betegnes dette også som grid. I den indeværende risikoanalyse er der fastlagt fem forskellige gridstørrelser på henholdsvis 500 m, 200 m, 100 m, 50 m og 25 m, jf. Figur 5.11.



Figur 5.10 Eksemplarisk opdeling af et risikoområde for en CRA baseret analyse (Burzel og Oumeraci, 2012).

I forbindelse med direktivets krav om offentliggørelse af fare- og risikokortene bliver resultaterne præsenteret i en WebGIS løsning. Interessenter og beslutningstagere kan drage fordel af at være i stand til at zoome indenfor områderne og få resultater i en meget høj opløsning. For hver celle i risikoområdet vil alle relevante oplysninger om

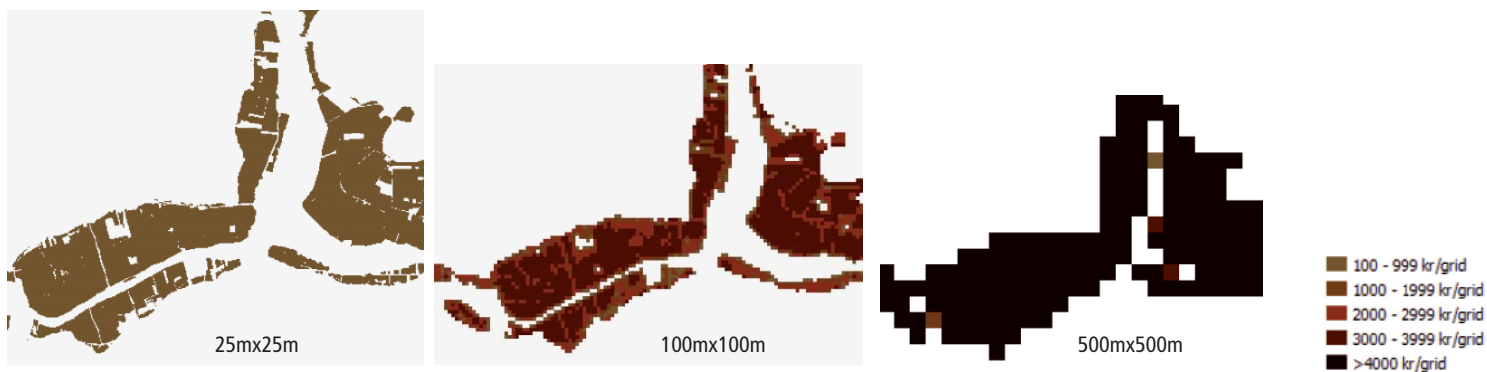
fare for oversvømmelse, konsekvenser og oversvømmelsesrisiko være belyst.

Normalt består en Cellbased Risk Assessment (CRA) af tre trin: (i) konvertering af alle uregelmæssigt formede inputdata i den valgte celleopdeling, (ii) anvendelse af de udvalgte skadesmodeller for alle celler i risikoområdet, og (iii) verifikation og visualisering af resultater.

Grundet muligheden for anvendelse af komplekse geoprocesseringsmodeller for hver skadesfunktion, er der næsten ingen begrænsning med hensyn til kompleksiteten af skadesfunktionerne. Desuden er det muligt at anvende den samme model på alle seks grid opløsninger samt på forskellige områder, da geoprocesseringsmodellerne forbliver ens fra område til område. Således er alle arbejdsopgaver til sårbarhedsanalysen udviklet i en modular struktur ved hjælp af Model Builder i ArcGIS 10. Opsætning af geoprocesseringsmodellerne i ArcGIS 10 Model Builder er nærmere beskrevet i Burzel et al. (2013).

Ved siden af skadesfunktionerne og geoprocesseringsmodellerne, er sårbarhedsanalysens nøjagtighed også afhængig af, at de anvendte inputdata er korrekte og fuldstændige. Der er mangler i en del af de anvendte data, og det formodes, at der vil kunne forefindes mangler og afvigelser i sårbarhedsanalysens resultater i nogle tilfælde. Efterhånden som de berørte kommuner adresserer disse mangler, vil sårbarhedsanalysen for de pågældende områder blive korrigeret.

Den faste inputparameter for alle sårbarhedsanalyser er vanddybden, som er fremkommet ved MIKE 21 modelleringen (Trin 4) og er importeret i ArcGIS som punkter. For hver gridcelle er den gennemsnitlige vanddybde herefter udregnet på grundlag af det antal punkter i hver enkelt gridcelle, der er fremkommet under modelleringen. Ved ikke at bruge den maksimale vanddybde tages der forbehold for, at enkelte lavninger i landskabet vægtes for højt. Den samme metode gør sig gældende ved beregning af strømhastigheden for hver gridcelle. Her er det dog den maksimale hastighed, der er præsenteret.



Figur 5.11 Eksempel på forskellige gridstørrelser og de tilhørende informationsniveauer.

5.5.3.1. Bygningsskader og skader på indbo

Skadesfunktionen, som inkluderer skader på både bygninger og indbo, er udviklet af Kystdirektoratet (Jensen et al., 2009). Modellen er lavet på baggrund af data indsamlet i forbindelse med oversvømmelser i Danmark i 1973 og 2006 i Sønderjylland, i Løgstør og på Nordfyn. Modellen bygger på en funktion af vanddybde, den offentlige ejendomsvurdering og bygningens formål.

Skaden på bygninger er beregnet som en lineær funktion af bygningsværdien (ejendomsvurderingen fratrukket grundværdien) og vanddybden. Ved at anvende bygningsværdien, bruges vurderingskonceptet, som baserer sig på objektets nedskrevne værdi. Herved er det rimeligt, at bygningsværdiens geografiske variation som følge af

objektets placering varierer. For to ens objekter, der er placeret i henholdsvis den østlige og vestlige del af landet, vil objektets nedskrevne værdi være højere i øst end ved objektet, der er beliggende i det vestlige Danmark.

Ved vurderingskoncepter, der beror på priser for nyetablering eller reparationsomkostninger, vil effekten af den geografiske placering medføre en forkert vurdering af den økonomiske skade, idet bygningsværdien for objektet i den østlige del af landet vil bevirke for høje reparationsomkostninger i forhold til den vestlige del af landet.

Den anvendte funktion for bygningsskade beskrives ved:

$$\text{Bygningsskade} = \text{Bygningsværdi} * (13,3 * \text{vanddybde} + 22) / 100$$

Skaden på indbo er beregnet som en lineær funktion, hvor en procentdel af bygningsværdien er benyttet:

Indboskade på:

Helårsboliger: (50% af bygningsværdien*4,4 + 68)/100 – 0,68)

Erhverv: (50% af bygningsværdien*4,4 + 68)/100 – 0,68)

Landbrug: (15% af bygningsværdien*4,4 + 68)/100 – 0,68)

Fritidshuse: (20% af bygningsværdien*4,4 + 68)/100 – 0,68)

Offentlige institutioner: (30% af bygningsværdien*4,4 + 68)/100 – 0,68)

For begge modeller er det antaget, at vandet først vil løbe ind i bygninger og forurette skader, når det overstiger en dybde på 20 cm. Figur 5.12 illustrerer kortlægning af bygningsskader og skader på indbo.



Bygningsskade
1000 - 249.999 kr/grid
250.000 - 499.999 kr/grid
500.000 - 749.999 kr/grid
750.000 - 999.999 kr/grid
>1.000.000 kr/grid
Grid: 25x25 m
Gridareal: 625 m²



Indbo
1.000 - 24.999 kr/grid
25.000 - 49.999 kr/grid
50.000 - 74.999 kr/grid
75.000 - 99.999 kr/grid
>100.000 kr/grid
Grid: 25x25 m
Gridareal: 625 m²

Figur 5.12 Eksempel på bygningsskade og skade på indbo.

5.5.3.2. Infrastruktur

Infrastrukturskader dækker kun de potentielle omkostninger, der er forbundet med oprydning efter en oversvømmelse. Nyetablering eller skader på infrastruktur er ikke medtaget. Baggrundsdata på veje og jernbaner er hentet fra TOP10DK, hvor temaerne i Tabel 5.6 er udvalgt. Priser for oprydning efter oversvømmelse findes ikke tilgængelige. Kvadratmeterprisen for oprydning efter oversvømmelse er derfor fastsat efter Aalborg Kommunes oprydning efter det årlige karneval i Aalborg. Herved opnås en oprydningsskvadratmeterpris på 3 kr. For at kunne anvende kvadratmeterprisen har det været nødvendigt at antage en bredde for de seks anvendte infrastrukturtemaer.

Tabel 5.6 Baggrundsdata fra TOP10DK, der er anvendt i skadesopgørelsen.

	Infrastrukturtemaer	Antaget bredde (m)
1	Jernbane	2
2	Motorvej	26
3	Motortrafikvej	12
4	Vej > 6m	6
5	Vej 3 - 6 m	5
6	Anden vej	6

Påvirkning af kritisk infrastruktur såsom daginstitutioner, sundhedsvæsen, forsyning, varmegærker, døgninstitutioner, sundhedsvæsen, forsyning, varmegærker, risiko- og IPPC-viksomheder, politi, brandvæsen er også vist på kortlægningen, jf. Figur 5.13. En forstyrrelse af den daglige drift af disse kritiske infrastrukturinstitutioner er ikke beregnet, idet der på nuværende tidspunkt ikke foreligger brugbare skadesmodeller. Skadesmodeller, der belyser de økonomiske konsekvenser af en driftsforstyrrelse ved disse institutioner, bør derfor udvikles i de kommende år frem mod anden planperiode af direktivet.



Figur 5.13 Eksempel på infrastrukturskader.



5.5.3.3. Skader på afgrøder

Skadesmodellen for afgrøder er udviklet af Landbrugsrådgivning Syd. Modellen er anvendt ved COMRISK projektet (Kystdirektoratet, 2004). Modellen er en funktion af vanddybden og tidspunktet på året, samt af ændring i udbytte og pris på gødning over et givent areal. Endelig indregnes eventuel omsåning samt en udbyttenedgang det efterfølgende år, jf. Figur 5.14.

I forbindelse med skadesudregningen er der taget to forbehold:

1. Det antages, at vandet bliver i området mere end 1 måned på grund af overløb over diger.
2. Det antages, at oversvømmelsen finder sted i perioden mellem oktober og marts.



Grid: 25x25 m
Gridareal: 625 m²

Afgrøder

- 100 - 149 kr/grid
- 150 - 199 kr/grid
- 200 - 249 kr/grid
- 250 - 299 kr/grid
- >300 kr/grid

Figur 5.14 Eksempel på skadesmodellen for afgrøder.

5.5.3.4. Tab af husdyrbesætning

Skadesmodellen for husdyr er ligeledes udviklet af Landbrugsrådgivning Syd (Kystdirektoratet, 2004). Modellen er en funktion af vanddybde, typen af husdyr (i dette tilfælde kun kvæg og svin), prisen på anskaffelse af nye individer samt tab af produktion.

Skadesmodellen differentierer mellem forskellige typer af svin, herunder søer, slagtesvin og smågrise, mens kvæg er inddelt i kødkvæg, slagtekalve, økologisk kødkvæg og malkekvæg. Imidlertid differentierer modtagne data ikke mellem disse undergrupper. Derfor er skaden pr. individ beregnet som en gennemsnitlig værdi af de forskellige undergrupper. Tabet er sammensat af et umiddelbart tab, udregnet som den pris et dyr vil kunne forvente at opnå ved slagtning, og det produktionstab, som vil opstå i den efterfølgende periode, Tabel 5.7 og Tabel 5.8.

Inputdata, med besætningsantal og typeangivelse, knyttes op på matriklen for at sikre spredningen over et større areal. Dog kan det forekomme, at dyrene befinder sig på andre arealer, som ikke oversvømmes, hvorfor skadesbeløbet kan være overestimeret.

Tabel 5.7 Produktionstab og priser for nyanskaffelse af kvæg i forbindelse med oversvømmelse.

Art	Dyr	Pris pr. dyr (kr)	Produktionstab pr. dyr (kr)	Vandstand (m)
Kødkvægsbesætning	Ammekøer	3500	2000	0,8
	Opdræt	2000	1000	0,8
Slagtekalvebesætning				
	Slagtekalve	3750	1000	0,8
Økologisk kødkvægsbesætning	Ammekøer	3500	6000	0,8
	Opdræt	2700	1000	0,8
Malkekvægsbesætning, traditionel	Malkekøer	3500	6000	0,8
	Kvier	2700	1000	0,8
Gennemsnitspris		3092	2571	

Tabel 5.8 Produktionstab og priser for nyanskaffelse af svin i forbindelse med oversvømmelse.

Art	Dyr	Pris pr. dyr (kr)	Produktionstab pr. dyr (kr)	Vandstand (m)
Svin, produktionsbesætning	Søer	1970	3500	0,1
	Slagtesvin (30-100 kg)	460	70	0,1
	Slagtesvin (30-100 kg)	460	70	0,1
	Smågrise (7.5-30 kg)	260	25	0,1
Gennemsnitspris		787	916	

5.5.3.5. Natur

I henhold til EU's oversvømmelsesdirektiv skal der ske en kortlægning af, om oversvømmelser potentielt set har indflydelse på Ramsar områder, EF-Habitatområder og EF-Fuglebeskyttelsesområder. Endvidere er der bedt om en vurdering af indflydelse på grundvand. Særlige grundvandsinteresser samt drikkevandsboringer er derfor angivet på kortene sammen med naturbeskyttelsesområder.

5.5.3.6. Kulturarv

Kulturarv, en betegnelse for kulturelle elementer, som anses for at være med til at danne en fælles erindring om fortiden. Vurderingen af tab af kulturarv består i elementets kulturelle værdi, i form af den kulturelle betydning, kombineret med elementets sårbarhed, som fastsættes på baggrund af oversvømmelsens omfang og den opståede skade (NIRAS og Kystdirektoratet, 2013).

Kystdirektoratet, Kulturstyrelsen og NIRAS har i samarbejde udviklet en kvalitativ analyse af sårbarheden af de enkelte kulturarvselementer og strukturer, som varierer afhængigt af oversvømmelsens karakter (NIRAS og Kystdirektoratet, 2013). Vurdering af sårbarheden af kulturarv tager udgangspunkt i en række databaser om materialer, beliggenhed mv. og oversvømmelsens skadeseffekt.

Kulturarvens betydning er inddelt i 5 kategorier, Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Kulturarvens betydning i rammen af oversvømmelsedirektivet.

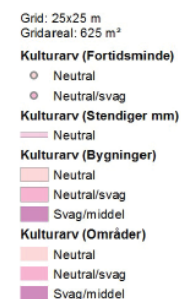
Skala	Trin	Kulturel betydning
Meget høj	4	Verdensarvssteder (og tentative) Andre værdier af anerkendt international betydning Værdier af anerkendt betydning for international forskning
Høj	3	Fredede bygninger Fredede fortidsminder Nationale kulturarvsarealer Nationale industriminder Nationale kulturinstitutioner Andre værdier af anerkendt national betydning – f.eks statslige museer, biblioteker, arkiver og medier Værdier af anerkendt betydning for national forskning Kirker og kirkegårde
Middel	2	Værdifulde kulturmiljøer Bevaringsværdige bygninger Beskyttede sten- og jorddiger Regionale kulturarvsarealer Statsanerkendte museer med filialer Kommunale biblioteker, arkiver m.v. Værdier af betydning for regional forskning Karaktergivende elementer udpeget i bevarende lokalplaner
Lav	1	Andre værdier af lokal betydning – f.eks. private museer, biblioteker og arkiver Kulturhistoriske sammenhænge fra Kommuneatlas Egnskaraktéristiske træk der ikke er beskyttet Værdier af betydning for lokal forskning
Ubetydelig	0	Kulturhistoriske værdier med meget lille eller ingen interesse.

Kulturarvens skadesværdi er ligeledes inddelt i 5 kategorier, som funktion af vanddybden og strømhastigheden, Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Skala for skader på kulturarv som følge af oversvømmelse.

Skala	Trin	Oversvømmelsestype	Skadens effekt
Stor	4	Flow over 2m/s	Total/stor ødelæggelse af materiale Total/stor ændring af kontekst
Middel	3	Over 20 cm ved sokkel	Ændring af bærende værdier så den kulturelle ressource fremstår tydeligt modificeret Betydelig ændring af kontekst som påvirker ressourcens karakter
Lille	2	Under 20 cm ved sokkel	Ændring af værdier så den aktuelle ressource fremstår noget modificeret Svag ændring af kontekst
Ubetydelig	1	Under 20 cm ved sokkel	Meget små ændringer af den kulturelle ressource og kontekst
Ingen	0	Under 20 cm ved sokkel	Ingen ændringer.

Kulturarvens værdi er således kategoriseret efter kulturel betydning, vurdering af sårbarheden af de kulturelle elementer og strukturer på baggrund af materialer mv., samt vurderingen af skaden. Dette er omsat til et vægтет GIS-lag, hvori en tabsanalyse gennemføres i relation til oversvømmelsestypen, jf. Figur 5.15.



Figur 5.15 Eksempel på den kvalitative skadesvurdering for kulturarv.

5.6 Risiko for oversvømmelse (Trin 7)

Oversvømmelsesrisikoen beregnes ved at multiplicere sandsynligheden for oversvømmelse og de totale potentielle skadebeløb for hvert oversvømmelsesscenarie.

Oversvømmelsesrisikoen er dermed produktet af sandsynlighed for oversvømmelse og det totale økonomiske tab for de enkelte scenarier, der præsenteres som et beløb per år (kr./år) og benævnes "forventet årlig skade" (FÅS).

Oversvømmelsessandsynligheden er beregnet indenfor fareanalysen. Det totale økonomiske tab er beregnet ved hjælp af sårbarhedsanalysen, hvori først det totale tab for en skadestype beregnes, og der bagefter foretages en opsummering for alle tilgodesete skadestyper. Afhængig af den valgte metode for inddragelse af skadernes værdi i sårbarhedsanalysen (relativ skadesværdi, absolut skadesværdi), angives de generelle formler som følgende:

Relativ skadesværdi: $Skade_{type\ i} = Værdi_{type\ i} * Skadesandel\ f\ (sårbarhed\ af\ i, oversvømmelsesdybde)$

Absolut skadesværdi: $Skade_{type\ i} = f\ (sårbarhed\ af\ i, oversvømmelsesdybde)$

Den totale skade for et oversvømmelsesscenarie beregnes ved at opsummere skadesbeløbene for alle tilgodesete skadestyper:

$$Skade_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (værdi_{i,j} * sårbarhed_{i,j})$$

med:

$Sårbarhed_{i,j} = f\ (egenskaber\ for\ typen_{i,j},\ oversvømmelsesegenskaber_k,\ socioøkonomiske\ egenskaber_l)$

i = type af direkte håndgribelige skader (n potentielle typer)

j = objekt indenfor en type af direkte håndgribelige skader (m potentielle objekter)

k = specifikt oversvømmelsesscenarie

l = type af socioøkonomisk system

(Sårbarhed målt i %)

Opsummering af risikoen over alle scenarier fastlægger den totale oversvømmelsesrisiko for området:

$$Risiko_{total} = \sum_{k=1}^o (P_{fk} * Skade_{total\ k})$$

k = specifikt oversvømmelsesscenarie

Den totale risiko for oversvømmelse kan anvendes til at sammenligne oversvømmelsesrisikoen for to forskellige kystområder. Endvidere kan den totale oversvømmelsesrisiko bruges til at følge udviklingen af oversvømmelsesrisikoen over tid; f.eks. med 10 års mellemrum. Det er dog vigtigt, at grundlaget for beregning af oversvømmelsessandsynligheden og sårbarheden i så fald er det samme.

I mange tilfælde er det, udover at kende den totale oversvømmelsesrisiko, også vigtigt at kende den arealmæssige risikofordeling indenfor området. Oversvømmelsesrisikoen præsenteres derfor i form af risikokort, som giver et over-

blik over risikoen i det pågældende område differentieret på delområder.

Ved siden af beregningen af den totale oversvømmelsesrisiko kan den beregnede oversvømmelsessandsynlighed og det beregnede tab anvendes som selvstændige resultater i en undersøgelse eller i en beslutningsproces. Resultaterne giver i sig selv mange oplysninger omkring muligheden for oversvømmelse i et bestemt område og tegner et klart billede af de mulige konsekvenser.

6. Resultatdata og kortlægning

Direktivets andet plantrin forpligter medlemslandene til at udarbejde kort over faren for oversvømmelse og kort over risikoen for oversvømmelse i en passende skala for de områder, der er udpeget i henhold til direktivets plantrin 1. Kortlægningen af oversvømmelsesfaren og oversvømmelsesrisikoen er således det endelige produkt i plantrin 2, som skal præsentere resultaterne af risikoanalyserne visuelt på kort.

Som beskrevet i Kapitel 5, er der for hvert risikoområde som udgangspunkt modelleret oversvømmelsesudbredelse for seks scenarier: tre nutidsscenarier med henholdsvis stor, middelstor og ringe sandsynlighed: 20MT2012, 100MT2012, 1000MT2012 samt tre klimascenarier: 20MT2050, 100MT2050, 100MT2100, jf. Tabel 5.2 og 5.3. For hvert scenarie er udarbejdet farekort, skadeskort og risikokort i fem gridstørrelser: 25 * 25 m, 50 * 50 m, 100 * 100 m, 200 * 200 m og 500 * 500 m. Den store mængde resultatdata er tilrettelagt i 3 kortgrupper med en konsekvent navngivning.

De tre kortgrupper indeholder henholdsvis farekort, skadeskort og risikokort. Kortgruppen med farekortene benævnes "Kortgruppe A" og omfatter to kort; et som viser oversvømmelsen samt antallet af berørte indbyggere og et med strømhastigheden:

Kortgruppe A: Farekort

A1: Oversvømmelsens udbredelse og dybde + Indbyggere

A2: Strømhastighed

Sårbarhedsanalysen er udført på følgende elementer: Bygningskade, indbo, infrastruktur, kritisk infrastruktur, kulturarv, risikovirksomheder, vandboringer, EU beskyttede naturområder, grundvand, afgrøder og husdyr. Sårbarhedsanalysens resultater præsenteres i "Kortgruppe B" og indeholder skadeskortene for hvert af de 6 scenarier:

Kortgruppe B: Skadeskort

B1: Bygningskade

B2: Indbo

B3: Infrastruktur

B4: Afgrøder

B5: Husdyr

B6: Natur og forurening

B7: Kulturarv

Tredje kortgruppe benævnes "Kortgruppe C" og indeholder kortene over den totale økonomiske skade, det vil sige en opsummering af alle håndgribelige skader, såvel som risikokortene for hvert af de 6 scenarier.

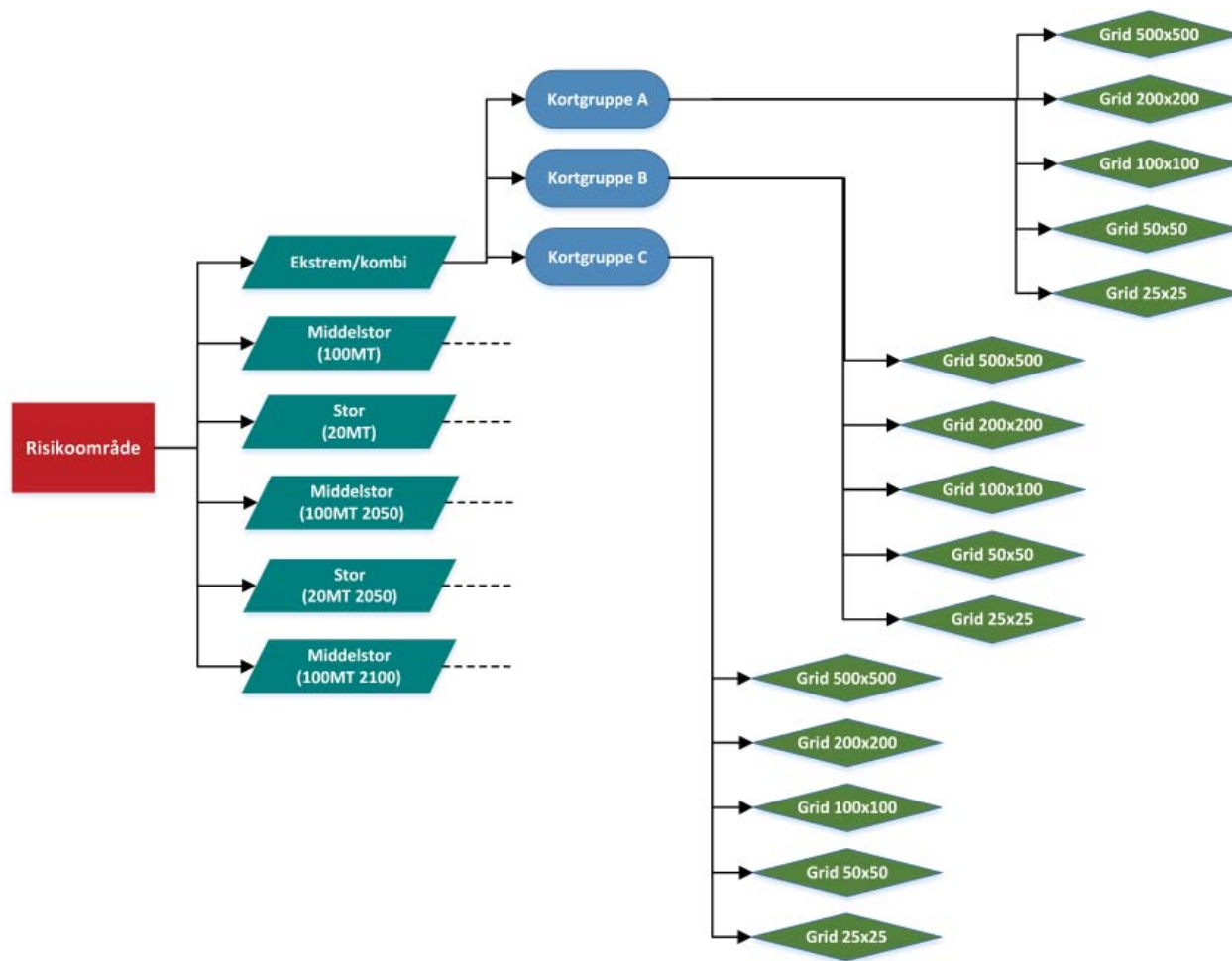
Kortgruppe C: Risikokort

C1: Total økonomisk skade

C2: Risiko

Alle kortdata leveres som ESRI ArcGIS shapefiler. Koordinatsystem: UTM32/ETRS89 DVR90.

For hvert risikoområde foreligger der således resultatdata i 11 tematiske kort for hvert scenarie i fem forskellige gridstørrelser. Dette medfører et maksimalt antal kort på 330 for hvert risikoområde. Figur 6.1 giver et overblik over resultatdata til hvert risikoområde.



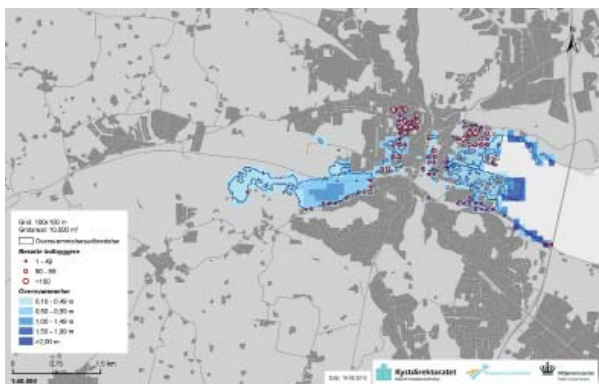
Af tids- og ressourcemæssige årsager er ikke alle 330 kort udarbejdet for hvert risikoområde. Det er valgt at udarbejde kort i Kortgruppe A og Kortgruppe B til scenariet for middelstor sandsynlighed (100-års hændelsen) i gridstørrelsen 100 * 100 m. Kortene i Kortgruppe C er derimod udarbejdet til alle seks scenarier i gridstørrelsen 100 * 100 m, Tabel 6.1. Disse kort foreligger tillige som pdf-filer. Layoutformateringerne af de færdigudarbejdede fare- og risikokort er beskrevet i Bilag 2.

Tabel 6.1 Oversigt over færdigudarbejdede fare- og risikokort.

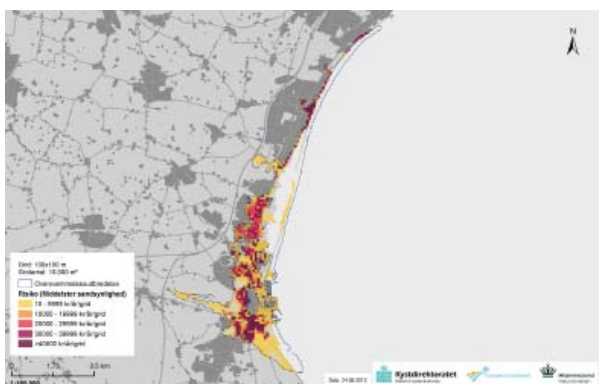
Kort-gruppe	Kort	Scenarie	Grid-størrelse
A	A1: Oversvømmelsens udbredelse og dybde + Indbyggere	100 års MT	100x100 m
	A2: Strømhastighed	100 års MT	100x100 m
B	B1: Bygningskade	100 års MT	100x100 m
	B2: Indbo	100 års MT	100x100 m
	B3: Infrastruktur	100 års MT	100x100 m
	B4: Afgrøder	100 års MT	100x100 m
	B5: Husdyr	100 års MT	100x100 m
	B6: Natur og forurening	100 års MT	100x100 m
	B7: Kulturarv	100 års MT	100x100 m
C	C1: Total økonomisk skade	Alle	100x100 m
	C2: Oversvømmelsesrisiko	Alle	100x100 m

Som eksempel vises oversvømmelsesudbredelsen for en 100-års hændelse i risikoområdet Vejle Fjord, Figur 6.2, mens Figur 6.3 præsenterer oversvømmelsesrisikoen for klimascenariet for en 100-års hændelse i 2100 i delområdet Køge Bugt 3.

Figur 6.1 Overblik over resultatdata for hvert risikoområde.



Figur 6.2 Oversvømmelsesudbredelsen i risikoområde Vejle for en 100-års hændelse.



Figur 6.3 Oversvømmelsesrisikoen i risikoområde Køge Bugt 3 for en 100-års hændelse i 2100 (klimascenariet).

I tilfælde af, at der ønskes kort over andre resultater end vist i de færdigudarbejdede kort, er navngivning af filer afgørende for at vise de ønskede resultater. Opbygning af filnavnet er defineret som følgende: Først beskrives temaet, dernæst grid størrelse og sidst scenariet. F.eks. indeholder filen med navn "Oversvømmelse_100m_100MT2012" oversvømmelsen ved en 100-års hændelse i år 2012 i et 100 * 100 m grid.

Som tidligere nævnt danner resultatfiler og kort grundlaget for EU oversvømmelsesdirektivets plantrin 3, som omfatter kommunernes udarbejdelse af risikostyringsplaner. Kommunernes risikostyringsplaner skal tage udgangspunkt i risikoanalyserne og kortene over faren for oversvømmelse og kortene over risiko for oversvømmelse. Planerne skal have særlig vægt på forebyggelse, sikring og beredskab. I det videre forløb vil Kystdirektoratet og Naturstyrelsen indlede plantrin 3 med en opstartsfasen primo 2014. I januar 2014 vil alle berørte kommuner modtage en vejledning om gennemførelsen af direktivets plantrin 3. I februar 2014 vil Kystdirektoratet og Naturstyrelsen gennemføre orienteringsmøder i hvert risikoområde, som skal give mulighed for at drøfte opstarten af plantrin 3 og konkrete problemstillinger i hvert område, såvel som at give kommunerne et mere uddybende overblik over alle resultatdata og kort.

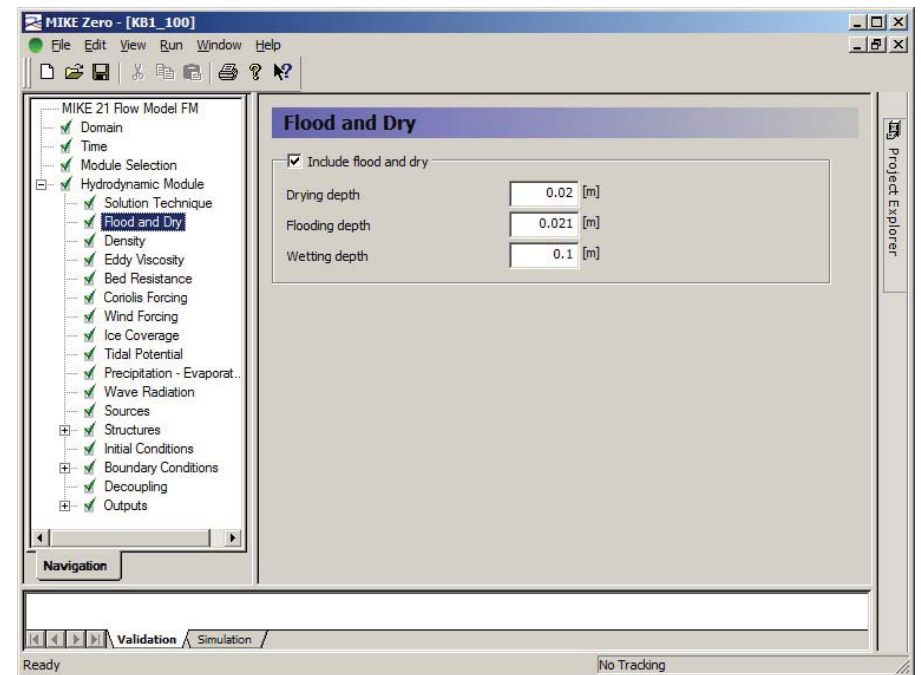
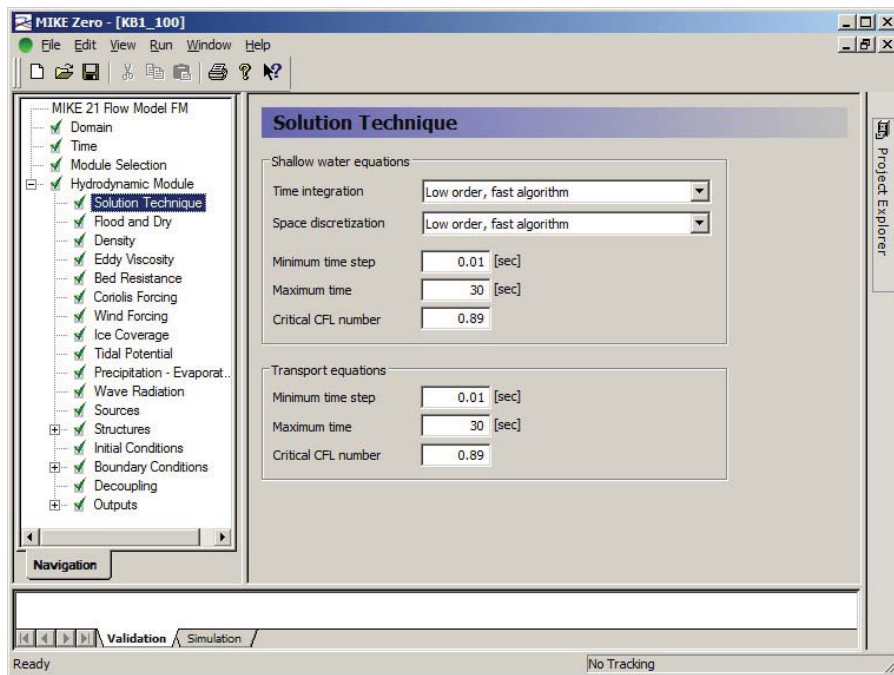
Alle færdigudarbejdede kort er tilgængelige som GIS-lag via, www.kyst.dk henholdsvis www.naturstyrelsen.dk.

Litteraturhenvisninger

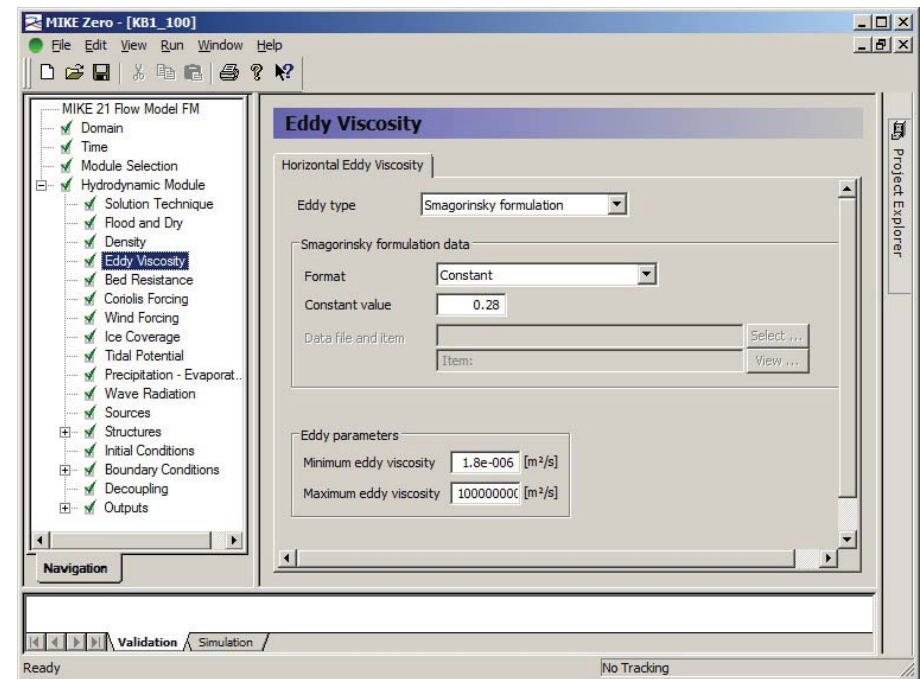
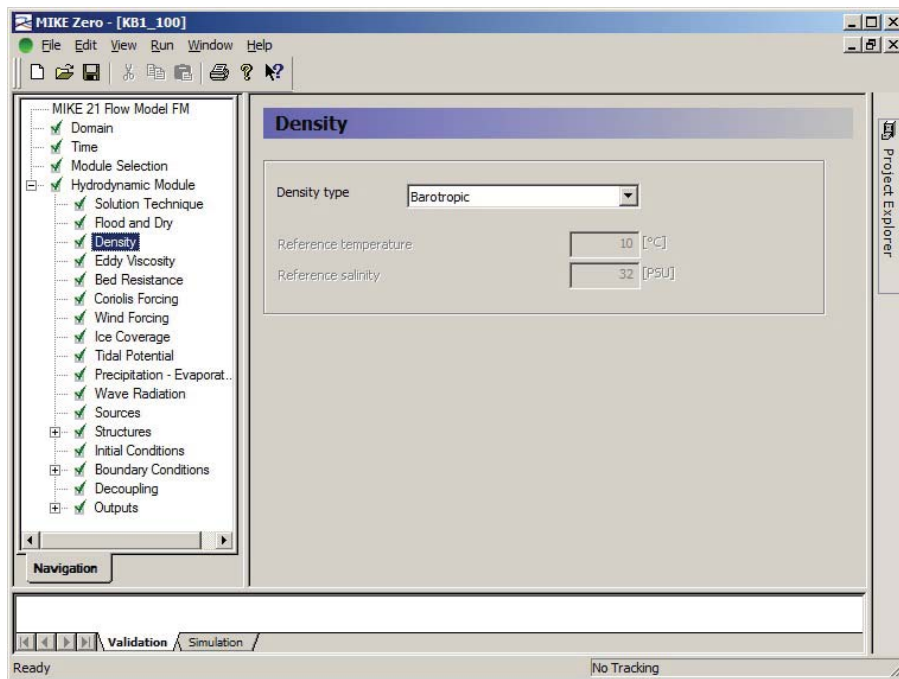
- Burzel, A.; Oumeraci, H. (2012): Development of a Framework for the Spatial Modelling of Extreme Risks and the Consideration of Risk Acceptance: Progress Report 1: Cellbased Risk Assessment (CRA) Approach. Braunschweig.
- Burzel, A.; Naulin, M.; Kortenhaus, A.; Oumeraci, H. (2012): XtremRisk. Modellierung der Überflutung durch Extremsturmfluten in Hörnum (Sylt). Technische Dokumentation des MIKE21-Modells.
- Burzel, A.; Oumeraci, H.; Jebens, M.; Piontkowitz, T. (2013): Hazard and Risk Mapping for the Implementation of the EU Flood Risk Management Directive in Denmark using the CRA Approach. Case Study Randers and Holstebro, Denmark. Leicht-Weiß Institut, Technical University of Braunschweig, Braunschweig and Danish Coastal Authority, Lemvig. (In preparation).
- Earnshaw, M.; Schürenkamp, D.; Streicher, M. (2013): XBeach Implementation and results for Køge Bugt. Danish Coastal Authority, Lemvig, and Technical University, Braunschweig.
- FLOODsite (2009): Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded Integrated Project). Deltares | Delft Hydraulics, Delft, the Netherlands.
- Jensen, J.; Jørgensen J.B.; Klagenberg, P. (2009): Manual for udarbejdelse af bestemmelser knyttet til den samfundsøkonomiske analyse samt Oversvømmelsesdirektivet. Kystdirektoratet.
- Kystdirektoratet (2004): Risk assessment for the Wadden Sea. COMRISK – Common Strategies for Storm Flood Risk, Subproject 7, Lemvig.
- Kystdirektoratet (2011): Forslag til udpegning af risikoområder på baggrund af en foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Teknisk baggrundsrapport. Kystdirektoratet, Lemvig.
- Kystdirektoratet (2012). Bølgeklimateatlas. <http://kysterne.kyst.dk/boelgeklimateatlas.html>.
- Messner, F.; Penning-Rowsell, E.; Green, C.; Meyer, V.; Tunstall, S.; van der Veen, A. (2007): Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. FLOODsite Report T09-06-01. FLOODsite. www.floodsite.net.
- Miljøministeriet og Transportministeriet (2011): Endelig udpegning af risikoområder for oversvømmelse fra vandløb, søer, havet og fjord. EU's oversvømmelsesdirektiv (2007/60/EF), Plantrin I. Miljøministeriet, Naturstyrelsen og Transportministeriet, Kystdirektoratet. 101 s.
- National Survey and Cadastre (2011): Technical report series number 12: Quality Assessment of the Danish Elevation Model. Danish Ministry of the Environment, Denmark. ISBN 978-78-92107-38-1.
- NIRAS og Kystdirektoratet (2013): Oversvømmelsesrisiko. Metodeudvikling af værdi- og sårbarhedsvurdering af Kulturarv.
- Oumeraci, H.; Gönner, G.; Jensen, J.; Kortenhaus, A.; Fröhle, P.; Gerkensmeier, B.; Wahl, T.; Mudersbach, C.; Naulin, M.; Ujeyl, G.; Pasche, E.; Dassanayake, D.R.; Burzel, A. (2012): Extremsturmfluten an offenen Küsten und Ästuargebieten – Risikoeermittlung und –beherrschung im Klimawandel (XtremRisk). Abschlussbericht, Forschungsverbundprojekt XtremRisk, Braunschweig, 132 s.
- Oumeraci, H.; Kortenhaus, A.; Schürenkamp, D.; Streicher, M. (2013): Transfer of XBeach Results to MIKE21 - Generation of Boundary Conditions. Leichtweiß Institut, Technische Universität, Braunschweig. LWI-report.
- Roelvink, D.; Reniers, A.; van Dongeren, A.; van Thiel de Vries, J.; Le-scinski, J.; McCall, R. (2010): XBeach Model Description and Manual. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology.
- Schürenkamp, D.; Streicher, M.; Earnshaw, M. (2013): XBeach Manual - Exemplary Application of the XBeach Model. Leichtweiß Institut, Technical University, Braunschweig, and Danish Coastal Authority, Lemvig. LWI-report.
- Skov, M.; Schürenkamp, D. (2013): Inundation modelling using DHI MIKE products. Data preparation using ArcGIS 10.1. Methodology and guidelines developed in relation to the implementation of the EU Floods Directive, Phase II, in Denmark. Danish Coastal Authority and LWI Braunschweig. Technical Note.
- Sørensen, C.; Madsen, H.T.; Knudsen, S.B. (2013): Højvandsstatistikker 2012. Kystdirektoratet. 160 sider.

Bilag 1

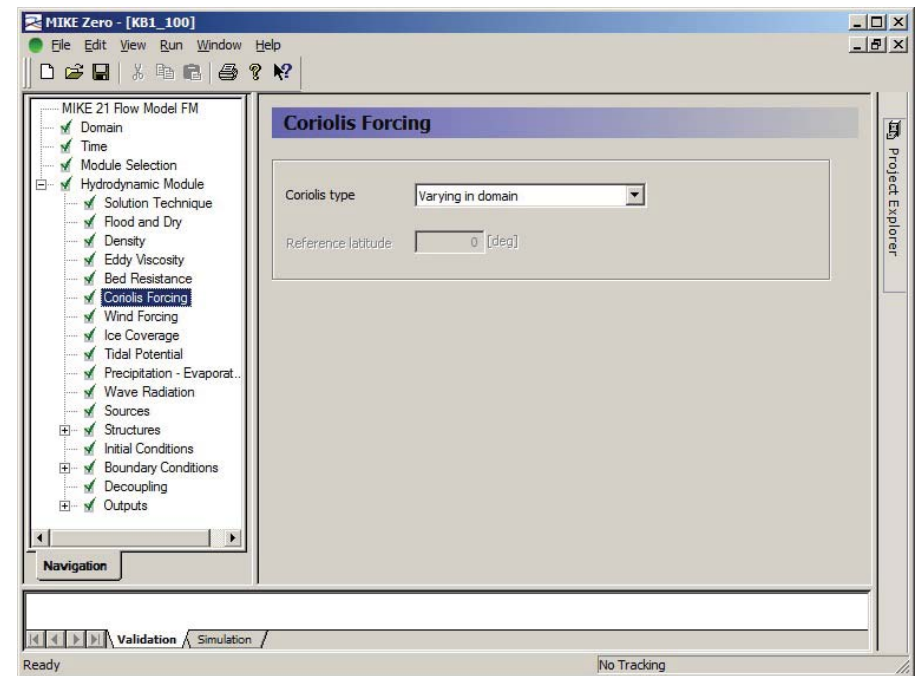
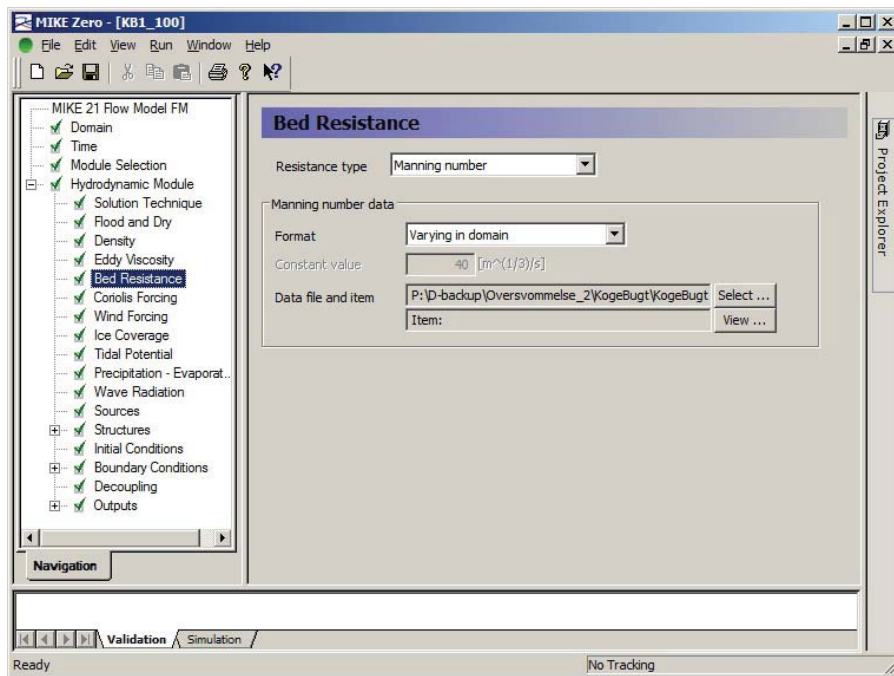
Bilag 1 lister de tekniske hydrodynamiske specifikationer i MIKE 21 opsætningen. De viste screen-dumps viser opsætningen under programmets menu Hydrodynamic Module.



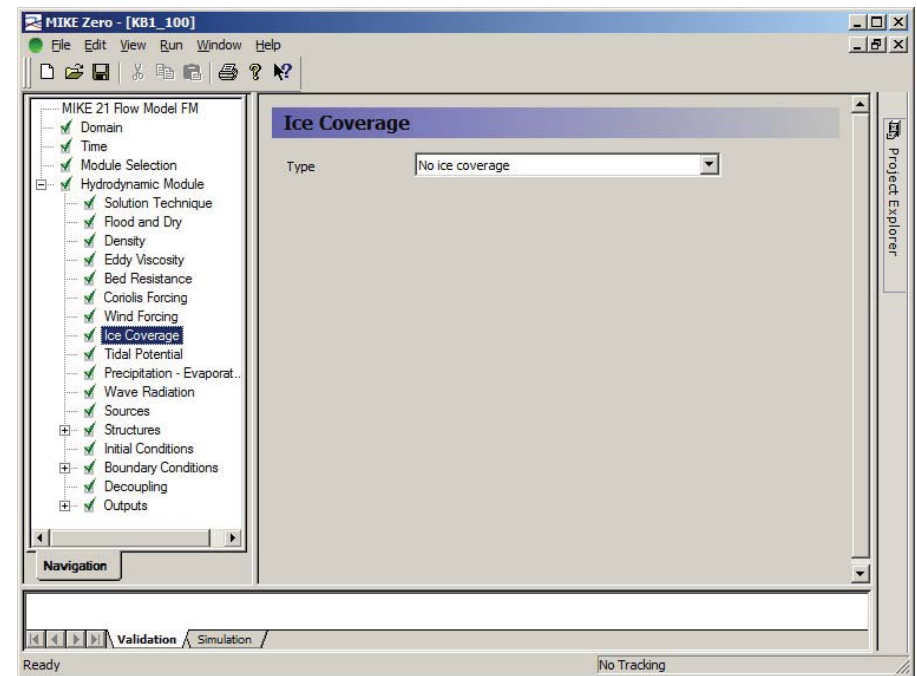
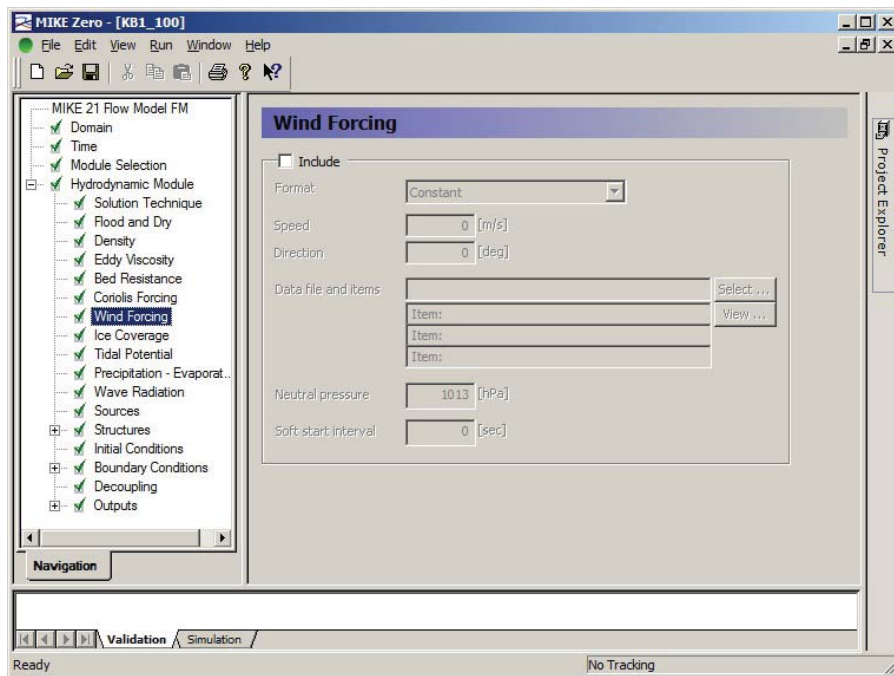
Bilag 1



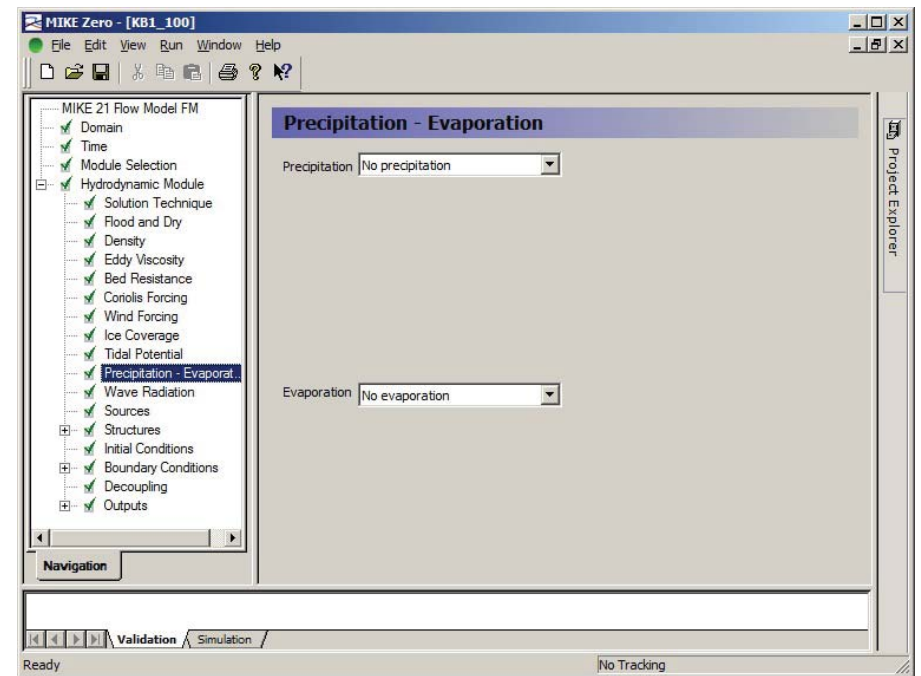
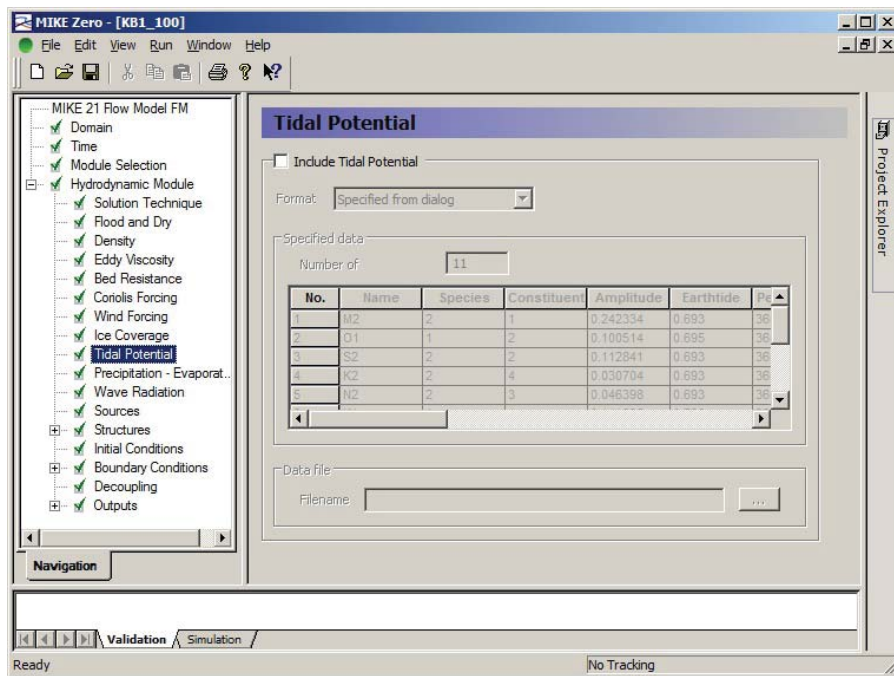
Bilag 1



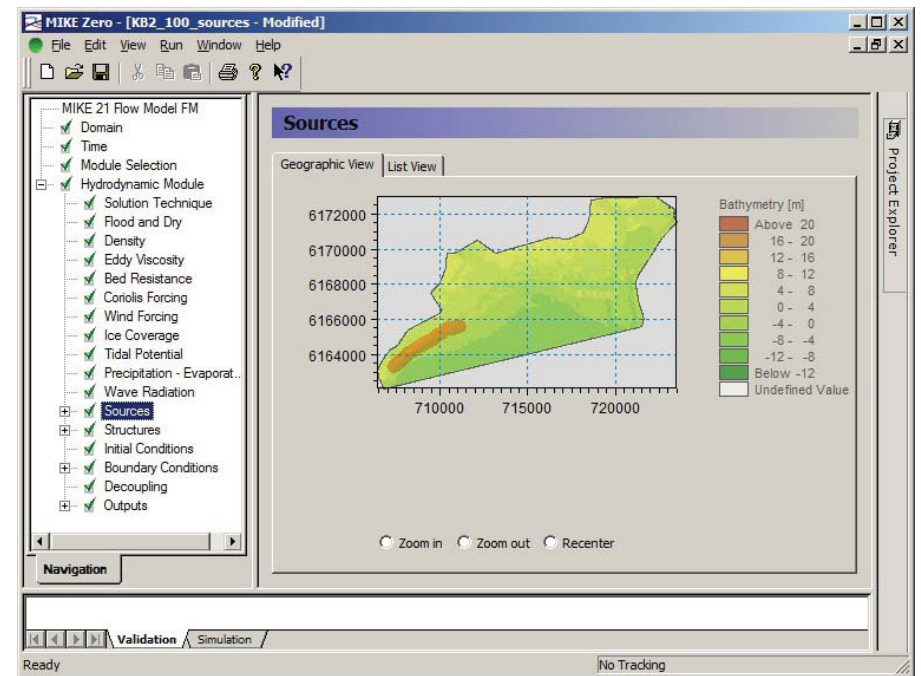
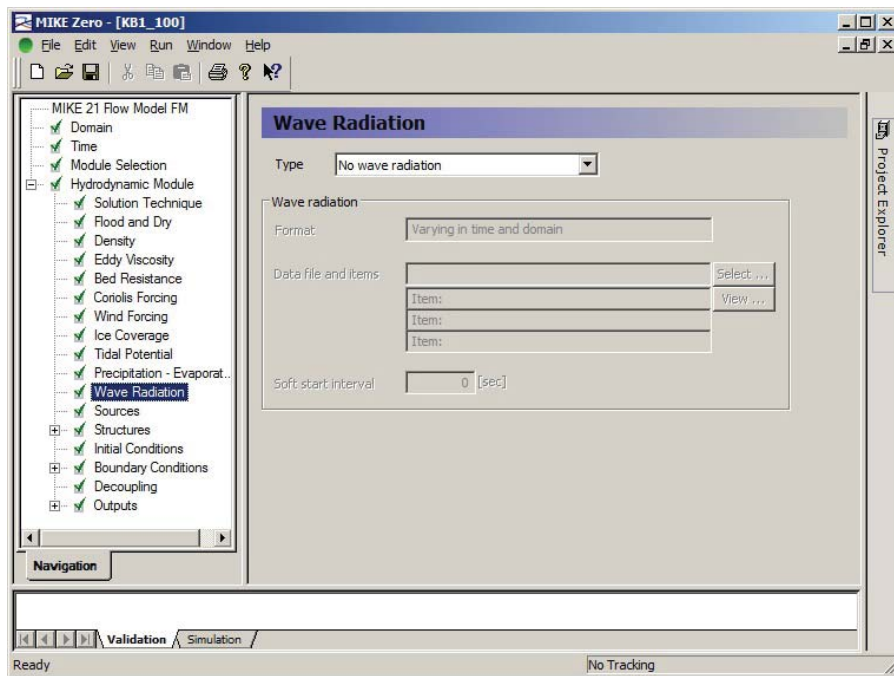
Bilag 1



Bilag 1



Bilag 1



Ved inddragelse af XBeach bølgeoverløb resultater, er "sources" indsat som punktkilder hver 100m.

Bilag 2

Farveskala

Til hver enkelt tema er der lavet en farveskala og intervalinddeling, som er gemt som en ArcGIS lyr fil.

Kortgruppe A

Oversvømmelse	CMYK	Enhed
0,10 - 0,49 m	C:35 M:9 Y:0 K:0	Meter
0,50 - 0,99 m	C:55 M:19 Y:0 K:0	Meter
1,00 - 1,49 m	C:89 M:43 Y:0 K:0	Meter
1,50 - 1,99 m	C:100 M:66 Y:0 K:2	Meter
>2,00 m	C:100 M:68 Y:0 K:12	Meter

Oversvømmelse er defineret ved 0.1m.

Berørte indbyggere	CMYK
1 - 49	C:0 M:100 Y:64 K:33
50 - 99	
>100	

Strømhastighed	CMYK	Enhed
0,10 - 0,49 m/s	C:10 M:14 Y:0 K:0	Meter/sekund
0,50 - 0,99 m/s	C:26 M:28 Y:0 K:0	Meter/sekund
1,00 - 1,49 m/s	C:54 M:56 Y:0 K:0	Meter/sekund
>1,50 m/s	C:79 M:90 Y:0 K:0	Meter/sekund

Strømhastigheder under 0.1m/s vurderes uden betydning.

Kortgruppe B

Bygningskade	CMYK	Enhed
1000 - 249.999 kr/grid	C:6 M:10 Y:33 K:0	Danske kroner/gridareal
250.000 - 499.999 kr/grid	C:0 M:33 Y:67 K:0	Danske kroner/gridareal
500.000 - 749.999 kr/grid	C:0 M:42 Y:77 K:5	Danske kroner/gridareal
750.000 - 999.999 kr/grid	C:0 M:53 Y:100 K:4	Danske kroner/gridareal
>1.000.000 kr/grid	C:0 M:58 Y:100 K:10	Danske kroner/gridareal







Bygningskade under 1000kr vurderes ikke interessant og inden for usikkerheden.

Indbo	CMYK	Enhed
1.000 - 24.999 kr/grid	C:0 M:7 Y:66 K:0	Danske kroner/gridareal
25.000 - 49.999 kr/grid	C:0 M:16 Y:100 K:0	Danske kroner/gridareal
50.000 - 74.999 kr/grid	C:0 M:29 Y:91 K:0	Danske kroner/gridareal
75.000 - 99.999 kr/grid	C:0 M:40 Y:90 K:0	Danske kroner/gridareal
>100.000 kr/grid	C:0 M:48 Y:100 K:0	Danske kroner/gridareal

Indbo under 1000kr vurderes ikke interessant og inden for usikkerheden.






Infrastruktur	CMYK	Enhed
100 - 249 kr/grid	C:50 M:0 Y:25 K:0	Danske kroner/gridareal
250 - 499 kr/grid	C:70 M:0 Y:23 K:0	Danske kroner/gridareal
500 - 749 kr/grid	C:95 M:0 Y:25 K:0	Danske kroner/gridareal
750 - 999 kr/grid	C:100 M:10 Y:0 K:28	Danske kroner/gridareal
>1000 kr/grid	C:100 M:20 Y:0 K:40	Danske kroner/gridareal

Infrastrukturelle skader under 100kr vurderes ikke interessant og inden for usikkerheden.






Kritisk infrastruktur	CMYK
 Sundhedsvæsen	C:34 M:56 Y:100 K:0
 Daginstitution	C:55 M:85 Y:100 K:0
 Døgninstitution	C:10 M:70 Y:100 K:0
 Forsyning	C:100 M:100 U:0 K:0
 Politi	C:34 M:100 Y:100 K:0
 Brandvæsen	C:10 M:100 Y:34 K:0

Bilag 2





Kortgruppe B

Afgrøder	CMYK	Enhed
 100 - 149 kr/grid	C:12 M:26 Y:43 K:40	Danske kroner/gridareal
 150 - 199 kr/grid	C:20 M:43 Y:58 K:34	Danske kroner/gridareal
 200 - 249 kr/grid	C:10 M:49 Y:100 K:35	Danske kroner/gridareal
 250 - 299 kr/grid	C:30 M:56 Y:100 K:37	Danske kroner/gridareal
 >300 kr/grid	C:40 M:58 Y:100 K:45	Danske kroner/gridareal

Tab af afgrøder under 100kr vurderes ikke interessant og inden for usikkerheden.






Husdyr	CMYK	Enhed
 100 - 999 kr/grid	C:18 M:22 Y:45 K:0	Danske kroner/gridareal
 1000 - 1999 kr/grid	C:29 M:36 Y:55 K:0	Danske kroner/gridareal
 2000 - 2999 kr/grid	C:40 M:49 Y:65 K:0	Danske kroner/gridareal
 3000 - 3999 kr/grid	C:50 M:61 Y:73 K:0	Danske kroner/gridareal
 >4000 kr/grid	C:60 M:72 Y:81 K:0	Danske kroner/gridareal

Tab af husdyr under 100kr vurderes ikke interessant og inden for usikkerheden.






Natur og forurening	CMYK
 Risiko-IPPC Virksomheder	C:0 M:0 Y:0 K:100
 Vandboringer	C:92 M:5 Y:1 K: 5
 Særlige grundvandsinteresser	C:41 M:14 Y:5 K:10
 Natura 2000	C:78 M:34 Y:100 K:0

Kulturarv	CMYK	Legende
Kulturarv (Fortidsminde)		
○ Neutral	C:0 M:20 Y:20 K:0	Neutral
○ Neutral/svag	C:0 M:38 Y:21 K:0	Neutral/svag
Kulturarv (Stendiger mm)		
— Neutral	C:0 M:34 Y:0 K:0	Svag
Kulturarv (Bygninger)		
— Neutral	C:3 M:67 Y:0 K:0	Svag/middel
— Neutral/svag	C:3 M:89 Y:0 K:0	Middel/stor
— Svag/middel	C:27 M:100 Y:0 K:2	Stor/meget stor
Kulturarv (Områder)		
— Neutral	C:10 M:100 Y:0 K:49	Meget stor
— Neutral/svag		
— Svag/middel		

Kortgruppe C

Total økonomisk skade	CMYK
 1.000 - 499.999 kr/grid	C:0 M:8 Y:16 K:0
 500.000 - 999.999 kr/grid	C:6 M:26 Y:39 K:0
 1.000.000 - 1.499.999 kr/grid	C:12 M:48 Y:60 K:0
 1.500.000 - 1.999.999 kr/grid	C:18 M:72 Y:80 K:0
 >2.000.000 kr/grid	C:23 M:96 Y:96 K:0

Intervalinddelingen kan variere iht. risikoområdet og scenariet.

Risiko	CMYK	Enhed
 10 - 4999 kr/år/grid	C:0 M:20 Y:80 K:0	Danske kroner/år/gridareal
 5000 - 9999 kr/år/grid	C:0 M:45 Y:85 K:0	Danske kroner/år/gridareal
 10000 - 14999 kr/år/grid	C:0 M:84 Y:76 K:0	Danske kroner/år/gridareal
 15000 - 19999 kr/år/grid	C:8 M:90 Y:50 K:28	Danske kroner/år/gridareal
 >20000 kr/år/grid	C:16 M:100 Y:35 K:45	Danske kroner/år/gridareal

Intervalinddelingen kan variere iht. risikoområdet og scenariet.

Højbovej 1 • DK 7620 Lemvig
+45 9963 6363 • www.kyst.dk



Kystdirektoratet
Danish Coastal Authority