Digesikkerhed i Vidåens opland i fremtidigt klima

Digesikkerheden i Vidåens opland under fremtidigt klima er analyseret. Klimaændringer fra regionale klimamodeller er benyttet til projektion af fremtidig oplandsafstrømning. Endvidere er der udarbejdet projektioner af ændringer i ekstrem højvandstand ved Vidåslusen. Klimaændringer vil give en betydelig reduktion i digesikkerheden. På såvel den danske som den tyske side af grænsen er der analyseret områder, som potentielt kan aflaste Vidåsystemet i ekstreme højvandssituationer.

HENRIK MADSEN, MADS N. MADSEN, JACOB LARSEN, BO MØLLER & JØRGEN NICOLAISEN

Vidåen afvander et opland på 1342 km^2, hvoraf 260 km^2 er i Tyskland. Vidåens opland strækker sig fra Åbenrå i øst til Vadehavet i vest og løber ud i havet gennem Vidåslusen (se Figur 1). Høje vandstande i den nedre, lavtliggende del af Vidåen forekommer i tilfælde af højvande i Vadehavet hvor slusen er lukket over en længere periode og vandet hober sig op i å-systemet. Hvis der samtidig er forøget afstrømning fra oplandet, vil der være en øget risiko for oversvømmelse af å-digerne.

Fremtidens klimaændringer med forventede havspejlsstigninger, mere ekstreme stormfloder og ændringer i nedbørsmønsteret vil forøge risikoen for oversvømmelser af å-digerne. Ændringerne i digesikkerheden under fremtidigt klima er blevet analyseret i et EU INTERREG projekt (INTERREG 4A Syddanmark-Schleswig-K.E.R.N).

Metode

Til at evaluere digesikkerheden er der opsat en hydraulisk model til beskrivelse af den nedre del af å-systemet samt en hydrologisk model til beskrivelse af nedbør-afstrømningsforholdene i hele oplandet. Modellen er opsat i MIKE 11. Den hydrauliske model inkluderer den nedre del af Vidåen, Grønå, Sønderå og Dreiharder Gotteskoogstrom samt de større afvandingskanaler (se Figur 1). Sluser og bygværk er inkluderet i den hydrauliske model, herunder Vidåslusen som er lukket når vandstanden på den udvendige side (i Vadehavet) er større end vandstanden på den indvendige side. Oplandet er inddelt i 18 deloplande, hvoraf fire afvandes ved pumpning.

Til kalibrering af modellen og evaluering af den nuværende digesikkerhed er der 30 års historiske data til rådighed. Som nedbør er daglige data fra DMI's 10 km klimagrid benyttet, mens daglige data af temperatur og potentiel fordampning er taget fra målestationer i området. Vandstandsdata i Vadehavet udvendig Vidåslusen er fra Kystdirektoratets vandstandsmåler.

MIKE 11 modellen er benyttet til simulering af Vidåsystemet for de 30 år med historiske data. Tidsserier af vandstanden er udtrukket fra modellen i et antal punkter i å-systemet, og der er foretaget en statistisk analyse af de ekstreme vandstande. Den statistiske model er derefter anvendt til at estimere risikoen for oversvømmelse af å-digerne. Risikoen er beregnet som sandsynligheden for en vandstand over digekrone koten i det pågældende punkt.

Klimafremskrivninger af ændringer i vandstanden i Vadehavet ved Vidåslusen og ændringer i nedbør, temperatur og potentiel fordampning er herefter benyttet til at estimere den fremtidige digesikkerhed i Vidåsystemet. Klimafremskrivningerne er brugt til at fremskrive de historiske tidsserier, så de repræsenterer klimaet i henholdsvis 2050 og 2100. MIKE 11 simuleringer med de fremskrevne 30 års tidserier er brugt til at estimere den fremtidige risiko for oversvømmelse af å-digerne i de udvalgte punkter.

Figur 1. *MIKE 11 model setup. Vidåens opland (grøn skygge), å system (blå) og deloplande (sort).*

Fremskrivning af klimavariable

Til fremskrivning af nedbør, temperatur og potentiel fordampning er der benyttet klimaprojektioner fra regionale klimamodeller fra ENSEMBLES projektet /6/. ENSEMBLES databasen inkluderer projektioner for SRES A1B emissionsscenarie for forskellige regionale klimamodeller for Europa, hvor der er brugt randbetingelser fra forskellige globale klimamodeller.

De regionale klimamodeller fra ENSEMBLES giver forskellige projektioner, som er et udtryk for de underliggende usikkerheder forbundet med modellering af fremtidens klima. Det anbefales derfor generelt at analyser af klimaændringer ikke kun beror på resultater fra en enkelt klimamodel, men at der benyttes et ensemble af klimamodeller /2/. I dette projekt er resultater fra 15 klimamodeller benyttet i analysen.

Klimafaktorer (se Boks 1) for ændringer i nedbør og temperatur er beregnet for hver af de 15 klimamodeller baseret på 30-års tidsperioder; 1980-2009 der repræsenterer det nuværende klima, 2035-2064 der repræsenterer klimaet i 2050 og 2070-2099 der repræsenterer klimaet i 2100. Middel klimafaktorer er beregnet ved vægtning af de forskellige modellers klimafaktorer i forhold til hvor godt modellen repræsenterer det nuværende klima.

De vægtede klimafaktorer der er benyttet til fremskrivning af nedbør, temperatur og potentiel fordampning er vist i Figur 2. Stigningen i middeltemperaturen er på ca. 1-1.5 °C i 2050 og 2-2.5 °C i 2100. Generelt stiger middelnedbøren i vinterperioden (op til 10% stigning i 2050 og 17% i 2100) og falder i sommerperioden (op til 12% fald i både 2050 og 2100). Ændringerne mellem vinter- og sommernedbør er mere udpræget i 2100 end 2050. Mht. variansen af den daglige nedbør er der en generel stigning, med den største stigning i vinterperioden (op til 25% i 2050 og 40% i 2100). Stigningen i variansen er et udtryk for en større variabilitet i nedbøren og mere ekstreme nedbørshændelser. Endelig er der en generel stigning i den potentielle fordampning som følger stigningen i temperaturen.

De nedskalerede, fremskrevne klimatidsserier er benyttet som input i den hydrologiske model til fremskrivning af afstrømningen fra oplandet. Mht. de ekstreme afstrømninger sker der en stigning på ca. 8% i 2050 og 14% i 2100.

Boks 1: Statistisk nedskalering

Det er velkendt at klimamodeller har en bias og derfor ikke korrekt repræsenterer de statistiske karakteristika af klimaet på lokal skala. Klimavariable fra regionale klimamodeller kan derfor normalt ikke benyttes direkte som input til hydrologisk modellering og korrektioner er nødvendige. Disse korrektioner skal dels korrigere for bias i klimamodellen og dels nedskalere modelresultaterne til lokal skala, samlet betegnet som statistisk nedskalering.

Til statistisk nedskalering er der her benyttet en generel "change-factor" metode. I denne metode benyttes klimamodelresultater til at estimere ændringer i de statistiske karakteristika af klimavariable over tid, f.eks. ændringer i middelværdi og varians. Disse ændringer ("change factors" eller klimafaktorer) benyttes da til at fremskrive de observerede tidsserier af klimavariable. For at tage sæsonvariationer i regning, estimeres ændringer for hver måned.

Til statistisk nedskalering af temperatur korrigeres for ændringer i middelværdien (ofte benævnt "delta-change" metoden). Til fremskrivning af potentiel fordampning er der benyttet en temperatur baseret metode, hvor den relative ændring i temperaturen er brugt til skalering af den observerede tidsserie. For nedbør er der benyttet en nedskaleringsmetode der benytter klimafaktorer for både ændringer i middelværdien og den daglige variabilitet /5/.

Fremskrivning af havvandstand

Ændringer i havvandstanden er en kombination af flere faktorer:

1. Global stigning af middelvandspejl (grundet termisk udvidelse og smeltning af gletschere og iskapper)
2. Regional ændring i middelvandspejl (grundet ændringer i vandets densitet og cirkulationsmønstre)
3. Lokal isostatisk ændring (land hævning/sænkning)
4. Lokal ændring i stormfloder (grundet ændringer i ekstreme storme og ændringer i middelvandspejl)

Resultater publiceret i IPCCs 4th Assessment Report /4/ viser en global stigning i middelvandspejlet på 18-59 cm i 2100 og et regional bidrag i havet omkring Danmark på ca. 15 cm. Nyere studier viser imidlertid at estimaterne i IPCCs 4th Assessment Report sandsynligvis er i den nedre ende af det der forventes. På baggrund af de nye resultater har DMI vurderet at der for havet omkring Danmark vil være en stigning på 0.3 – 1.0 meter i middelvandspejlet i år 2100 (Klimatilpasningsportalen, http://www.klimatilpasning.dk/). Grundet de store usikkerheder i den forventede ændring af middelvandspejlet er der i analysen benyttet to scenarier svarende til en stigning på henholdsvis 0.3 m og 1.0 m i 2100. Til bestemmelse af stigningen i middelvandspejlet i 2050 er den tidslige variation i /3/ benyttet.

På grund af land- og havspejlsbevægelser sker der en stadig relativ stigning af middelvandspejlsniveauet i området. Jf. Kystdirektoratets højvandsstatistikker /1/ har der ved Vidåslusen i perioden 1891 til 1990 været en stigning på 11 cm. Denne stigning antages at kunne fremskrives frem til 2100, dvs. der regnes med en stigning i middelvandspejlet på 0.11 cm per år i forhold til det nuværende højdesystem DVR90.

Til vurdering af ændringer i stormflodsstatistikken er der benyttet resultater fra en klimasimulering med en hydrodynamisk model dækkende Nordsøen, Østersøen og de indre danske farvande. Denne model er forceret med vind- og trykfelter fra en af de regionale klimamodeller fra ENSEMBLES. Fra den hydrodynamiske modelsimulering er der udtrukket en tidsserie af vandstanden ved Vidåslusen. Baseret på denne tidsserie er der beregnet ændringer i stormflodsstatistikken i 2050 og 2100. Ændringerne i stormflodsstatistikken alene (når der ses bort fra stigningen i middelvandspejlet) er i størrelsesordenen +5 cm i 2050 og +50-80 cm i 2100 (afhængig af gentagelsesperioden).

Ændringerne i stormflodsstatistikken er sammen med stigningen i middelvandspejlet og de isostatiske ændringer benyttet til at fremskrive vandstandstidsserien ved Vidåslusen. Ændringerne giver en betydelig stigning i de ekstreme vandstande. Et havspejlsniveau på 5 m svarer i dag til en 200 års hændelse men vil i 2100 med scenariet på 1 m

stigning i middelvandspejlet svare til en hændelse der i gennemsnit forekommer en gang hvert 3. år. Denne stigning i risikoen for kystdigerne er dog ikke nærmere analyseret i dette projekt da fokus har været på sikkerheden af å-digerne.

Resultater

Der er foretaget analyser af digesikkerheden under nuværende forhold samt for fremtidigt klima for 4 forskellige scenarier som er opsummeret i Tabel 1. I Figur 3 er vist de beregnede risikoniveauer for oversvømmelse af å-digerne under nuværende forhold og fremtidigt klima i 2100 for scenariet med en stigning i middelvandspejlet på 1 m.

For nuværende forhold er risikoen generelt lille, med en årlig oversvømmelsessandsynlighed på mindre end 1% svarende til en sikkerhed med en gentagelsesperiode på 100 år eller mere. I 2050 er der en stigende risiko med oversvømmelsessandsynligheder på omkring 5% i den nedstrøms del af Sønderå og i Dreiharder Gotteskoogstrom for scenariet med den høje middelvandstand. I 2100 med scenariet på 1 m stigning i middelvandspejlet er risikoen betydeligt større. Nedstrøms del af Vidåen, Sønderå og Dreiharder Gotteskoogstrom har risikoniveauer på mere end 5%.

På såvel den danske som den tyske side af grænsen er der analyseret områder, der potentielt kan aflaste Vidåsystemet i ekstreme højvandssituationer. Det drejer sig om en kombination af kontrolleret indstrømning til udvalgte lavtliggende områder samt tilbagetrækning af vinterdiger. En modelgennemregning af udvidet magasinkapacitet i Sønderå fra Møllehus til grænseovergangen ved Sæd viser således at den maksimale vandstand under ekstreme forhold kan reduceres med op til 25 cm. Det kan ikke udelukkes at optimering af design kan resultere i yderligere reduktioner i maksimal vandstand.

Tabel 1. *Opsummering af de analyserede scenarier.*

Scenarie	Fremskrivning	Ændring i middelvandstand		Ændring i højvandsstatistik	Ændring i klimavariable for Vidåens opland
		Klima	Isostatisk		
1	2050	+10 cm	+5 cm	+5 cm	Middelnedbør: op til +10% (vinter) og -12% (sommer) Middeltemperatur: +1.0-1.5 °C
2	2050	+34 cm	+5 cm		
3	2100	+30 cm	+11 cm	+50-80 cm	Middelnedbør: op til +17% (vinter) og -12% (sommer) Middeltemperatur: +2.0-2.5 °C
4	2100	+100 cm	+11 cm		

Referencer

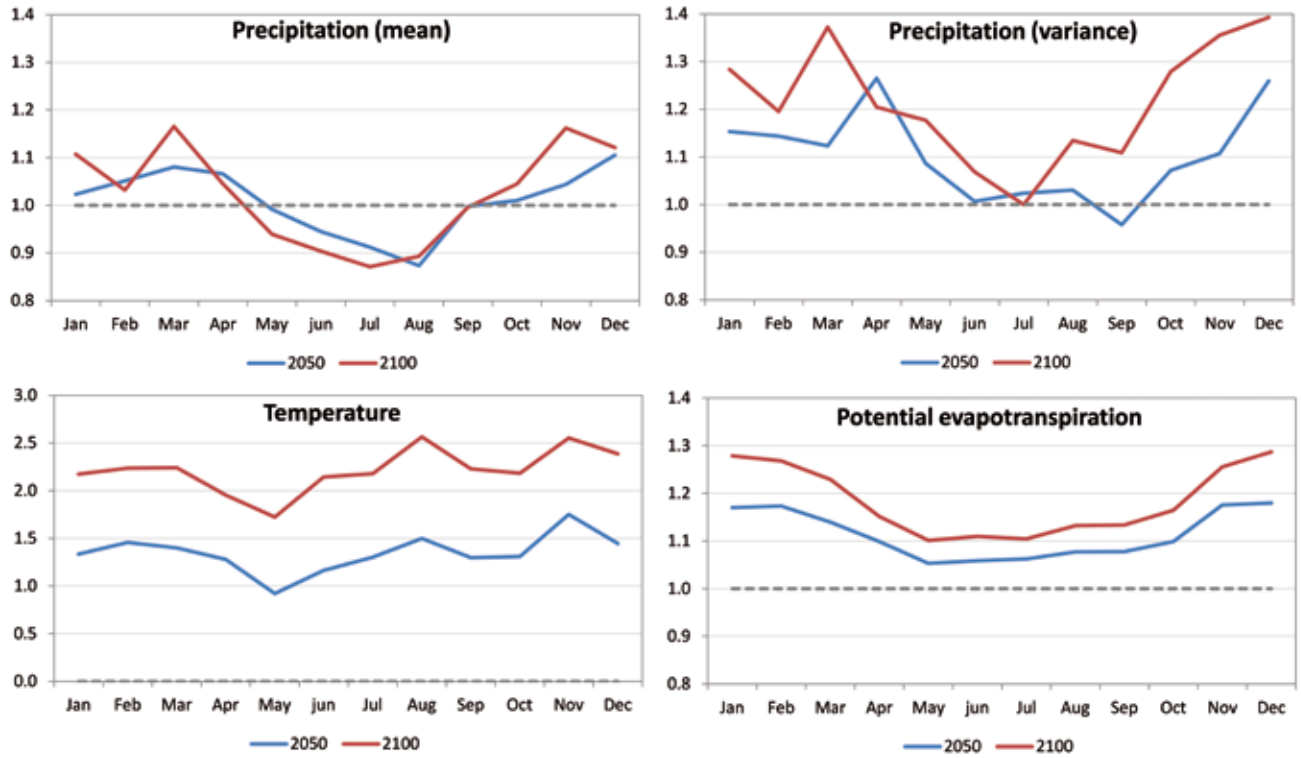
/1/ Kystdirektoratet, 2007, Højvandsstatistikker 2007.

/2/ Fowler, H.J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C., 2007, Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling, Int. J. Climatol., 27, 1547-1578.

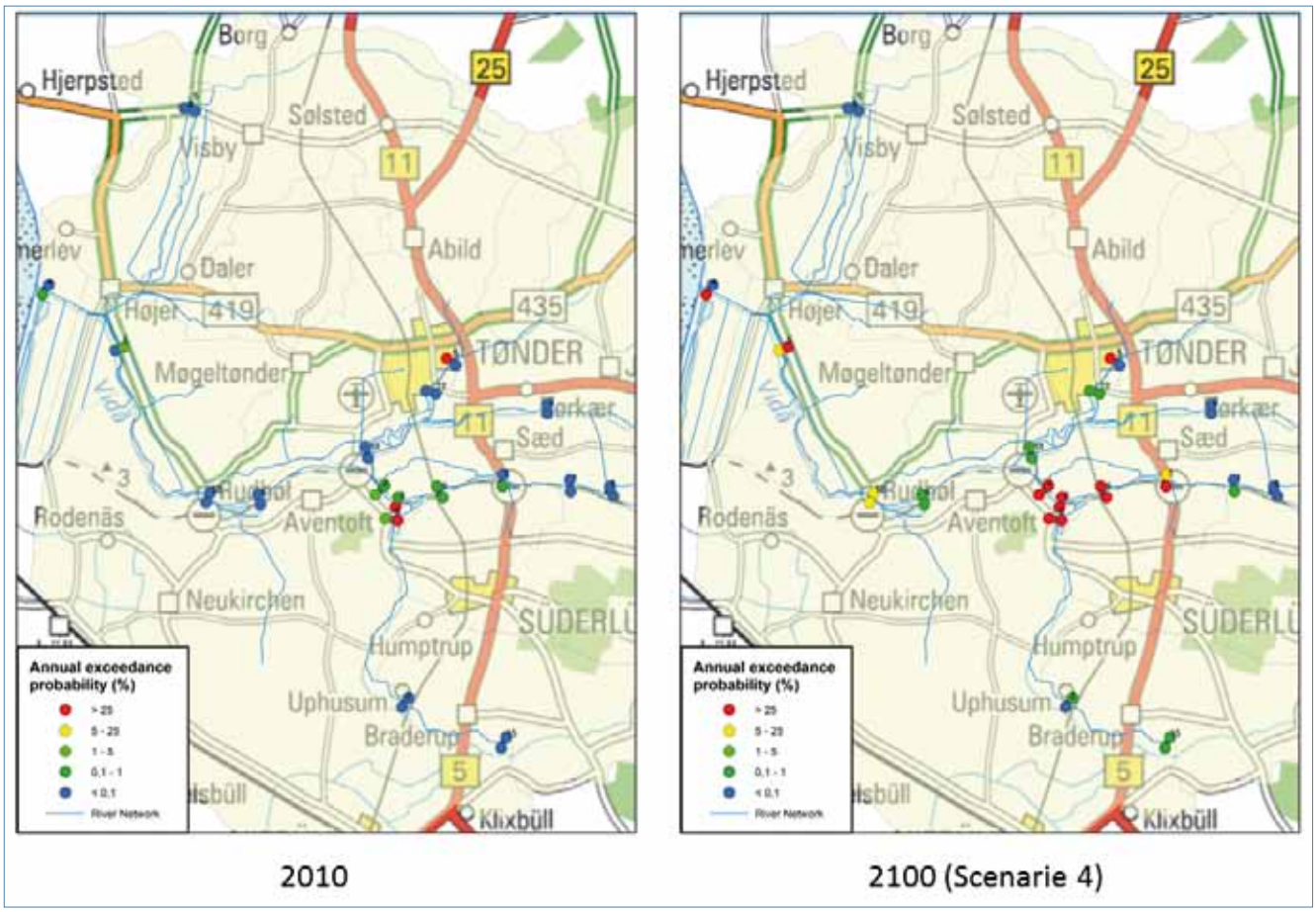
/3/ Grinsted, A., Moore, J.C. and Jevrejeva, S., 2009, Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD, Clim. Dyn., DOI 10.1007/s00382-008-0507-2.

/4/ Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin D., M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

/5/ Sunyer, M.A., Madsen, H., Ang, P.H., 2012, A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall



Figur 2. *Relativ ændring i middelnedbør, nedbør varians og potential fordampning samt absolut ændring i middeltemperatur (°C) for fremtidig klima (2050 og 2100) i Vidåens opland.*



Figur 3. *Estimeret risiko for oversvømmelse af å-digerne i udvalgte lokaliteter for nuværende (2010) og fremtidigt klima (2100) med scenarie på 1 m stigning i middelvandspejlet. For hver lokalitet er risikoen vist for oversvømmelse af både venstre og højre dige/bred.*

estimation under climate change, Atm. Res., 103, 119-128.

/6/ van der Linden, P. and Mitchell, J.F.B. (eds.), 2009, ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts. Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, 160pp.

HENRIK MADSEN er innovationschef på DHI med ansvar for forsknings- og udviklingsaktiviteter indenfor klimatilpasning. hem@dhigroup.com

MADS N. MADSEN er projektleder på DHI og har lang erfaring med modellering af vandløbssystemer. mm@dhigroup.com

JACOB LARSEN er senioringeniør på DHI, hvor han arbejder med vandløbsmodellering og realtidsvarslings- og forvaltningssystemer. jla@dhigroup.com

BO MØLLER har været ansat i Sønderjyllands Amt (1988-2006) og arbejdet med vandløbsforvaltning. Fra 2006 seniorkonsulent på en række projekter om vandløbsplaner og naturplaner.ebm@mail.tele.dk

JØRGEN NICOLAISEN er miljømedarbejder i Miljø og Natur forvaltningen i Tønder Kommune, hvor han bl.a. arbejder med vandløbsforvaltning. jn@toender.dk

Blå klip: Out of Africa – part 7

Den lokale vejmyndighed får ikke mange kokkehuer for denne skiltning