

---

# Sundhedsrisiko ved oversvømmelser

---

Siden koleraepidemien i 1853 har succesen med at adskille drikkevand fra spildevand og forhindre menneskelig kontakt til spildevand været så stor og varet så længe, at befolkningen – og i nogen grad også forsyninger og myndigheder – har tabt dette perspektiv i dagligdagen. Derfor er der i dag kun få, der tænker sundhed, når bydele oversvømmes og ved den forebyggende skybrudssikring.

---

ANDERS CHR. ERICHSEN, NINA  
DONNA STO. DOMINGO, ANN DORRIT  
ENEVOLDSEN, GERALD HEINICKE, CLAUDIUS  
JØRGENSEN & OLE MARK

---

## Introduktion

Et af de områder, hvor vi oftest mindes om klimaændringerne, er i forbindelse med oversvømmelser i byer på grund af skybrud, og netop de ekstreme nedbørshændelser er blevet mere ekstreme siden 1950 /1/. De fleste nuværende risici i forbindelse med klimaændringer er koncentreret i byområder. Sårbarheden er primært knyttet til ekstreme vejrhændelser som eksempelvis ekstremnedbør og stormfloder.

Det europæiske oversvømmelsesdirektiv og udsigten til store økonomiske tab har fået mange byer og kommuner til at arbejde med klimatilpasning – herunder skybrudssikring – men næsten al klimatilpasning drejer sig om mængder og skadesvurderinger ift. tabte (fysiske) værdier. Ved urbane oversvømmelser indeholder vandet som regel spildevand, som udgør en sygdomsrisiko ved direkte eller indirekte kontakt. Sygdomsrisiko er i dag ikke en parameter, der inddrages i forbindelse med skybrudssikring. Hvis vi ikke tænker os godt om, risikerer vi derfor at skabe forøget sygdomsrisiko med skybrudssikringen.

## Problemstilling

Med skybruddene over København i 2010

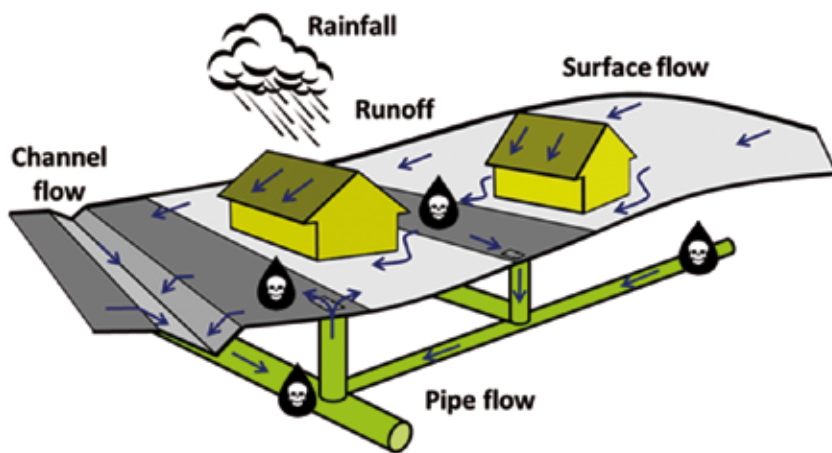


Børn som leger i oversvømmelsesvand – Er det nu også klogt? (Foto: Ole Mark).

og 2011 blev der for alvor sat fokus på skybrudssikring. Disse to skybrud er blevet vurderet til at forårsage værditab på 6 mia. hhv. 9 mia kroner. Voldsomme økonomiske tab – men de to skybrud åbnede også øjnene op for en sundhedsrisiko, som indtil da var blevet overset/undervurderet.

Dagen efter skybruddet i august 2010 blev den første internationale triatlon konkurrence "Copenhagen Challenge" skudt i gang. Selvsømmedelen blev afholdt i lagunen ved Amager Strandpark. Uheldigvis for triatleterne var der aftenen før blevet udledt fortyndet spildevand fra et kombineret overløb, og dermed var lagunen påvirket af spildevand. Ifølge /2/ var der i gennemsnit 0,13% spildevand i vandet under konkurrencen, hvilket hverken kunne ses, lugtes eller smages. Ikke desto mindre blev en stor del af triatleterne syge. Det vurderes, at 42% blev syge under konkurrencen. Året efter var der ikke registreret overløb, og her blev kun 8% syge /3/.

Efter skybruddet 2011 blev der observeret 5 tilfælde af leptospirose eller Weils sygdom, hvoraf 1 var med dødelig udgang. I alle tilfælde drejede det sig om personer, der havde



Figur 1: Skematisk beskrivelse af den urbane oversvømmelsesmodel. Modellen består af en 1D model der beskriver selve kloaksystemet og en 2D model der beskriver transporten på overfalden.

ryddet op i egen kælder efter skybruddet. Statens Serum Institut (SSI) vurderede, at personerne under rengøringen sandsynligvis var kommet i kontakt med kloakvand, der var forurenede med rotteurin. Rotteurin kan netop indeholde de bakterier, der forårsager leptospirose. Derudover foretog SSI en undersøgelse blandt professionelle, der arbejdede med at rydde op og rengøre kældre, der havde været udsat for oversvømmelse under skybruddet. Denne undersøgelse viste, at 22% af disse folk blev syge /4/.

I Holland blev 871 familier spurgt om forekomst af sygdom i ugerne efter en oversvømmelse. Undersøgelsen viste, at i oversvømmede områder havde 26% maveinfektioner, 29% influenza lignende symptomer, 21 hud-

problemer og 16% var hos lægen. Forekomsten af symptomer var 3 og 6 gange højere end i områder, der ikke var oversvømmede /5/.

Der er altså meget der tyder på, at sygdomsrisikoen ved urbane oversvømmelser er reel. For at sandsynliggøre og kvantificere denne risiko har vi kombineret to eksisterende teknologier til ét værktøj: 1) Urbane oversvømmelsesmodeller og 2) kvalitativ mikrobiel risiko analyse (QMRA).

### Oversvømmelsesmodeller

Urbane oversvømmelsesmodeller er en kobling af 1D kloakmodeller og 2D hydrodynamiske overflademodeller. Ifm. modellering af sundhedsrisiko benyttes yderligere en

advektions-dispersionsmodel MIKE Urban Transport (tidligere MOUSE Trap) og MIKE21, der her benyttes til at beregne stoftransporten i kloaksystemet og efterfølgende på overfladen for herigennem at evaluere andelen af spildevand i oversvømmelsesvandet.

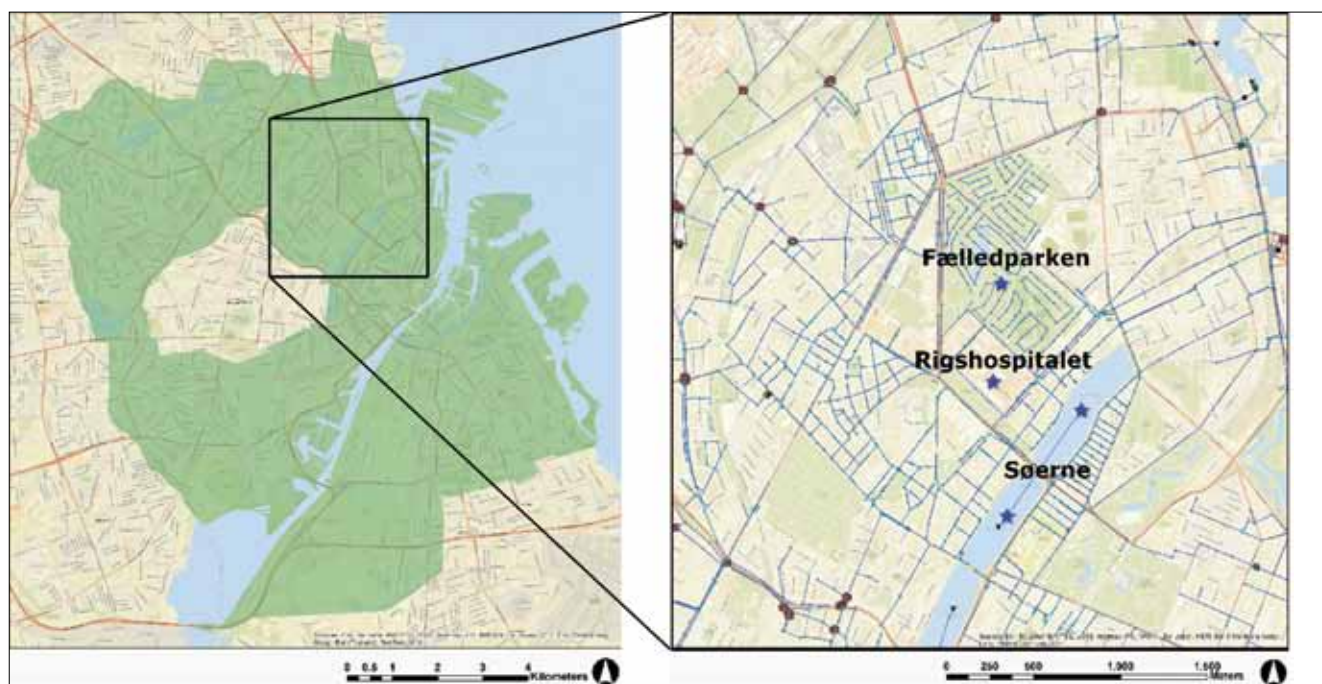
1D kloakmodellen beregner altså vandtransport og vandstand i selve kloaksystemet, mens regnvand fylder kloakken, og når kloaksystemets kapacitet overstiges, stiger vandet op gennem kloakbrønde og spredes på overfalden (2D model). Selve konceptet er illustreret i figur 1.

For at illustrere modelleringen har vi opstillet en model for en del af København svarende til godt 12 km<sup>2</sup> dækkende dele af Nørrebro og Østerbro, se Figur 2 og Figur 3. Modellen er relativt detaljeret og består af ca. 6000 kloakbrønde og 500 km rør.

Modelområdet består af et fælleskloakeret system, hvor regnvand og spildevand blandes under regn. I Danmark er disse systemer typisk designet til at kunne håndtere en 10-års regn /9/. Ved mere intens regn vil der forekomme oversvømmelser med et miks af spildevand og regnvand.

### Kvantitativ mikrobiel risikovurdering

Kvantitativ mikrobiel risikovurdering (QMRA) beregner sandsynligheden for infektion og sygdom efter eksponering af mennesker med patogenerne mikroorganismer. QMRA består af en række trin, som er vist i figur 4. QMRA tager udgangspunkt i en identifikation af den eller de patogener, der er indebærer en sundhedsrisiko i en konkret (eller tænkt) situation.



Figur 2: Modelområde (markeret med sort) dækkende dele af Nørrebro og Østerbro (venstre figur). Zoom af området og det overordnede kloaksystem (blå linjer) er vist på figuren til højre.



I vores tilfælde er det de patogener, som er tilstede i spildevand. Indholdet af patogener i spildevand afhænger af hvilke sygdomme, der forekommer hos befolkningen i kloakoplandet. En af de hyppigst forekommende diarré sygdomme er roskildesyge, som skyldes Norovirus. Den gennemsnitlige koncentration af Norovirus i ufortyndet spildevand er beregnet til  $2 \cdot 10^4$  genkopier/l, på baggrund af publicerede data om forekomst og udskilning hos befolkningen.

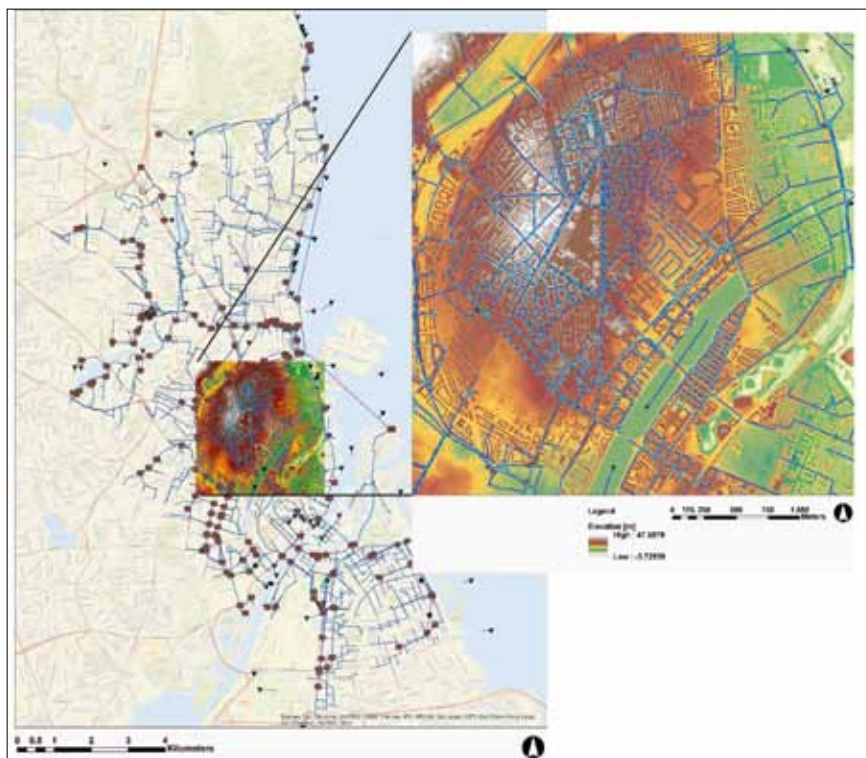
Den dosis, man udsættes for, er produktet af koncentrationen i og volumen af det vand, man indtager. Vi anvender oversvømmelsesmodellen til at bestemme andelen af spildevand i oversvømmelsesvandet. Mængden af vand man indtager afhænger af den personlige adfærd. Dette er undersøgt i en hollandsk undersøgelse ved hjælp af spørgeskemaundersøgelser. Fx. er det fundet, at børn indtager mellem 0 ml og 4,6 ml med et middel indtag på 1,7 ml /6/. I nedenstående modelvurdering anvender vi børn som eksempel.

Vi har anvendt en dosis-respons relation, der er baseret på, at "perfekt modtagelige" individer bliver inficeret, hvis de indtager 1 eller flere viruspartikler. Sandsynligheden for infektion bliver så produktet af andelen "perfekt modtagelige" individer og sandsynligheden for indtagelse af 1 eller flere viruspartikler eller virusaggregater /7/. Vi benytter følgende dosis respons funktion:

$$P_{inf}(Dosis, P) = P \cdot (1 - e^{-\frac{Dosis}{\mu}})$$

hvor P er andelen af "perfekt modtagelige" individer og  $\mu$  er det gennemsnitlige antal viruspartikler (genkopier)/aggregat. For Norovirus gælder det, at cirka 20% af befolkningen er immune. Den del indgår ikke i beregningen.

Mange af parametrene, som indgår i en QMRA, varierer meget, eller der er mangel på sikre data. Man anvender derfor Monte Carlo



Figur 3: Den koblede 1D og 2D oversvømmelsesmodel (MIKE Flood) som er benyttet til beregningen af sygdomsrisiko ved oversvømmelser i København. Bemærk at kloakmodellen (1D) beskriver det meste af det overordnede kloaksystem i København, mens overflademodellen beskriver et langt mindre område og med et mere detaljeret kloaknetværk.

(MC) simulering til beregningerne. I MC simuleringer vurderer man fordelingen af de indgående parametre og laver mange beregninger med værdier taget fra fordelingerne. Resultatet af MC simulering er derfor også en fordeling, og kan angives ved fraktiler, middelværdi eller det hyppigst forekommende resultat (mode). Der skal gøres opmærksom på, at usikkerhederne ved denne type af beregninger er store, og skal derfor anses for at være det for tiden bedste gæt.

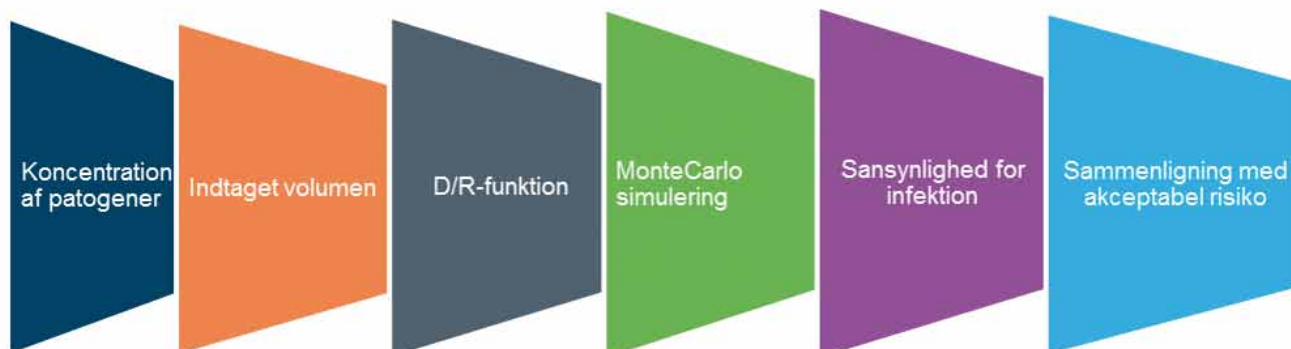
Når man skal vurdere resultatet af en QMRA sammenlignes med en acceptabel risiko. For drikkevand har US EPA fastlagt en acceptabel risiko for infektion til være 1 ud af 10.000 smit- tet pr. år. WHO anvender DALY konceptet (Disability Adjusted Life Years), som er sum-

men af antallet mistede leveår og antallet af år, man lever med en sygdom, vægtes mht. sygdommens alvor. Den acceptable risiko for drikkevand er fastlagt til  $1 \mu$ DALY pr. år.

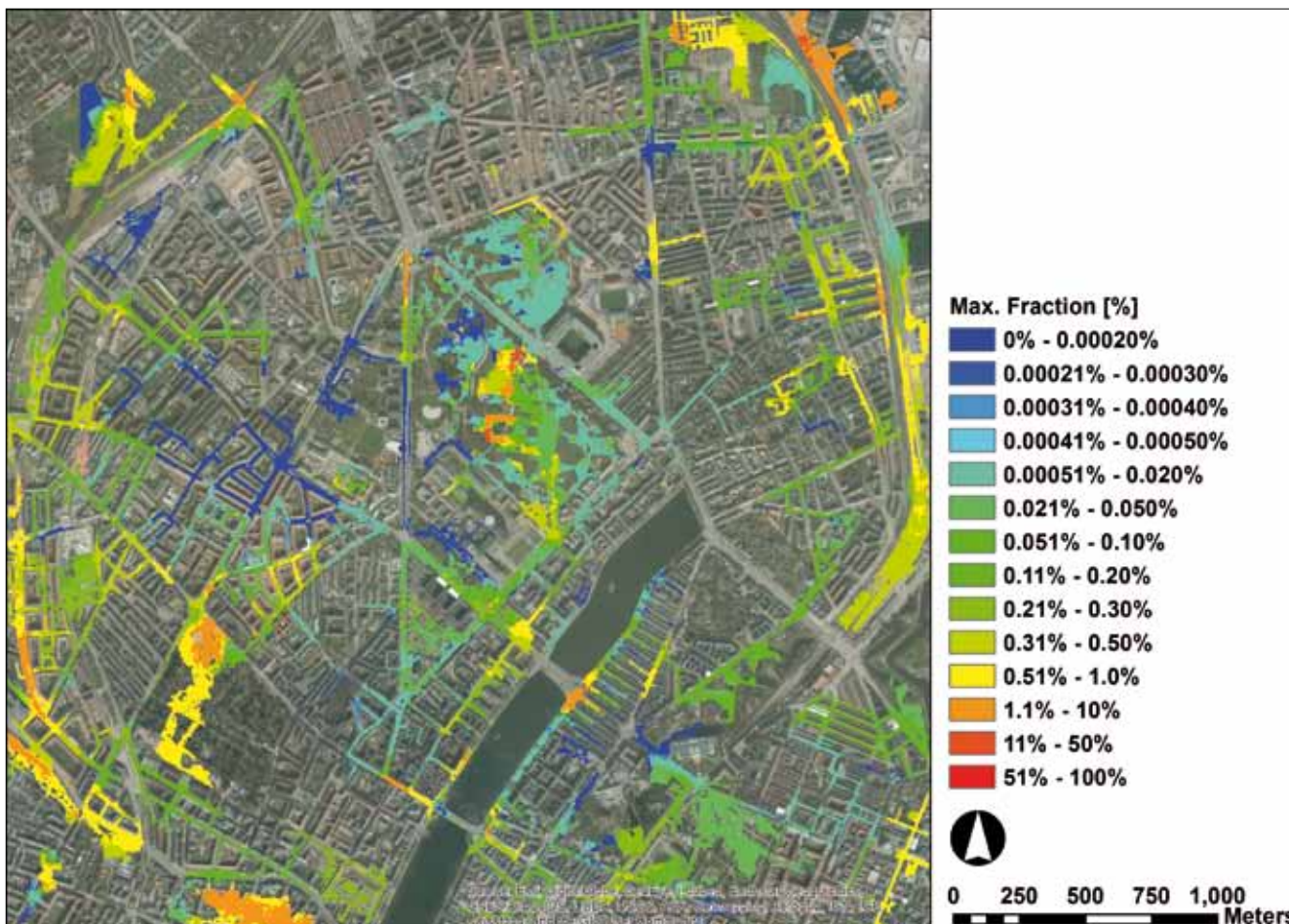
For badevand er den acceptable risiko højere. US EPA har anbefalet grænseværdier for fækale indikatorer, der tager udgangspunkt i en sygdomsrisiko ved badning på 3,6%. Ved sammenligning med WHO's badevandsanbefalinger er den acceptable risiko for maveinfektioner i det europæiske badevandsdirektiv ved god badevandskvalitet 1% til 5%.

### Dynamisk risikomodelering

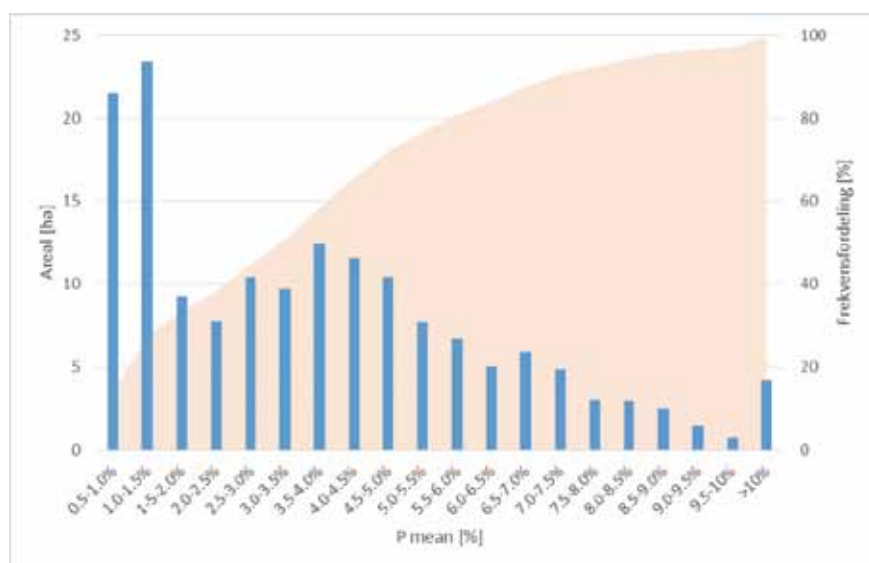
Med metoden til at modellere den dynamiske sundhedsrisiko kombinerer vi altså



Figur 4: Trin i en kvantitativ mikrobiel risikovurdering.



Figur 5: Andel af spildevand i oversvømmelsesvandet. Bemærk at søerne i den centrale del af København ikke indgår som en del af analysen.



Figur 6: Den gennemsnitlige Norovirus infektionsrisiko for det område, hvor infektionsrisikoen er > 0,5%. Søjlerne viser arealet i ha for de enkelte fraktioner af infektionsrisiko, mens det røde areal viser den akkumulerede frekvensfordeling.

de hydrauliske oversvømmelsesmodeller, stoftransport modellering og QMRA. Dermed får vi både et estimat for den tidlige variation og den arealmæssige variation af oversvømmelsesdybder, spildevandsandele og dertilhørende forureningsgrad og infektionsrisiko.

Som eksempel på et resultat har vi i figur 5 vist den maksimale spildevandskoncentration for en beregning, hvor oversvømmelsesmodellen er udsat for en 100 års design regn. Her ses dels de områder, som er oversvømmet med vand, og dels de områder, hvor der er blandet spildevand i oversvømmelsesvandet. Farverne fra gul til rød viser altså områder, hvor der er mere en 0,5% spildevand, mens grønne og blå områder viser områder, hvor der er mindre spildevand. Der er altså områder, hvor der er relativt rent vand, og andre områder hvor spildevandsandelen er betydelig.

Tilsvarende har vi beregnet risikoen for Norovirus infektion. Beregningen er foretaget for alle beregningsceller og alle tidsskridt. Vi har i figur 6 sammenfattet den gennemsnitlige maksimale risiko (P mean) for Norovirus infektion over denne samme 100-års regn. Dette er altså en situation, som er sammen-



lignelig med den 2. juli 2011, hvor store dele af netop det område, som indgår i denne analyse, var oversvømmet.

Det (modellerede) oversvømmede areal modsvarer et areal på 220 ha. Ud af de 220 ha beregner vi en  $P_{\text{mean}} < 0,5\%$  for de 58 ha, eller svarende til omkring 25% af det oversvømmede areal. De resterende 162 ha har en risiko  $> 0,5\%$ . Ud af de 162 ha har godt 30% en risiko mindre end 1.5% (svarende til 45 ha), mens der er et areal på 79 ha med en risiko på mellem 1,5%-5,0% og omkring 25%, der har en risiko større end 5%. Den beregnede sygdomsrisiko er tydeligt større end den acceptable risiko for drikkevand og i nogle områder tydeligt større end i badevand. Man kan dog ikke umiddelbart sammenligne med risikoen for badevand, da vi kun har lavet beregningerne for 1 patogen, Norovirus.

Som det fremgår af figur 5 og figur 6, er der stor variation i spildevandsandelen, og den deraf følgende infektionsrisiko. Der er store områder, hvor risikoen er lille, men også områder, hvor der er relativ stor risiko. Vi har ikke taget variationen over tid med i analysen, men udelukkende set på den maksimale oversvømmelsesudbredelse. Oversvømmelserne i København i 2010 og 2011 var en øjenåbner ift. sygdomsrisiko ift. oversvømmelser. I dag kan man på sundhedsstyrelsens hjemmeside (sst.dk) finde følgende råd til befolkningen ifm. oversvømmelser: "Hvis der har været kloakvand i oversvømmelsen, er det dog vigtigt også her at være omhyggelig med almindelige hygiejniske forholdsregler (undgå at få rester af slam/sediment på huden og i mund og øjne, håndvask, skift af fodtøj, når man går indendørs m.v.) ved og efter færdien og arbejde i områder med slam/sediment efter oversvømmelse". Vores modelberegninger indikerer dog, at det kan være svært at gennemskue, hvor dette er tilfældet, og hvor infektionsrisiko dermed er reel.

## Perspektiv

Et af formålene med det danske kloaksystem er at skabe en barriere mellem det forurenede spildevand og befolkningen. Sådan har det været i mange år, men i dag er der slået skår i denne barriere, og vi bevæger os oftere i en blanding af spildevand og regnvand. Dette giver anledning til en sygdomsrisiko, og det er netop kvantificeringen af denne risiko, som vi med kombinationen af traditionel oversvømmelsesmodellering og QMRA ønsker at adressere. Med et værktøj, hvor sygdomsrisikoen kan evalueres, kan vi

- som en del af et beredskab, sætte ind under selve oversvømmelsen i de områder, hvor

der er ekstra store sundhedsrisici, og eventuelt informere den del af befolkningen om, at de er ekstra udsat og skal være ekstra påpasselige med kontakt med oversvømmelsesvandet og efterfølgende desinfektion.

- som en del af skybrudsplaner, sikre at de løsninger, der udarbejdes til opbevaring af regnvand blandet med spildevand ikke løser problemer et sted, men skaber problemer andre steder – i form af øget sundhedsrisiko.

Vi har i dette eksempel set på infektionsrisiko i bynære områder. Værktøjerne kan imidlertid udvides til også at se på risiko ifm. med oversvømmelser på landet, hvor eksempelvis områder med afgrøder og grøntsager oversvømmes. Derudover er der et stort potentiale i udviklingslande. Her betyder dårlige sanitære faciliteter en høj sygdomsbyrde og dødsrate, især i forbindelse med oversvømmelser /10/. De alvorlige sygdomskonsekvenser af oversvømmelser kan eksempelvis illustreres ved de 6.921 tilfælde af leptospirose, som blev rapporteret under og efter oversvømmelsen i Thailand i år 2000, hvoraf der blev rapporteret 244 dødsfald. Ligeledes observeres årligt tilfælde af kolera i Dhaka, Bangladesh, og i udpræget grad i forbindelse med oversvømmelser.

## Konklusion

Både lokalt – og især globalt – er sygdomsrisiko en faktor, der bør vurderes i arbejdet med at sikre os mod oversvømmelser. Klimatilpasning kan her bruges proaktivt til at nå mål for byers robusthed, modstandskraft og bæredygtige udvikling. Her spiller et godt beredskab en central rolle - foruden at der skal planlægges med fokus på at reducere risici, så der kan tages højde for, at byer pga. klimaændringer i fremtiden både bliver mere sårbare og eksponerede. Man kan i høj grad mindske både eksponering overfor og konsekvenser af klimaforandringer ved at forbedre servicefunktioner og infrastruktur som fx. vandforsyning, kloaksystemer, elforsyning, transport og telekommunikation, sundhedsvæsen, uddannelse og beredskab. Det vil i særlig grad være en fordel for de byer, som allerede nu er meget sårbare /1/, men det er vigtigt, at vi i dette arbejde ikke løser et problem, mens vi skaber et andet, fordi vi ikke er tilstrækkeligt opmærksomme på sundhedsrisikoen.

ANDERS CHR. ERICHSEN (senioringeniør) email: aer@dihigroup.com, CLAUDS JØRGENSEN (seniorbiolog), NINA DONNA STO. DOMINGO (bygningingeniør), OLE MARK (forsknings-

chef), GERALD HEINICKE (senioringeniør) og ANN DORRIT ENEVOLDSEN (kemiingeniør) har alle gennem de sidste år arbejdet intenst med sundhed og sundhedsmodellering på DHI som en del af DHIs resultatkontrakt med Forsknings og Innovationsstyrelsen og som en del af et EU forskningsprojekt (NMP4-SL-2013-604069)

## Referencer

- 1/ Christensen, J.H., Arnbjerg-Nielsen, K., Grindsted, A., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Olesen, J.E., Porter, J.R., Refsgaard, J.C. & Olesen, M. 2014. Analyse af IPCC delrapport 2 – Effekter, klimatilpasning og sårbarhed - med særligt fokus på Danmark. Naturstyrelsen
- 2/ Andersen, S. T., Erichsen, A. C., Mark, O. & Albrecht, H.J. 2013. Effects of a 20 year rain event: a quantitative microbial risk assessment of a case of contaminated bathing water in Copenhagen, Denmark. Journal of Water and Health nr. 11 vol. 4
- 3/ Harder-Lauridsen, N.M., Kuhn, K.G., Erichsen, A.C., Mølbak, K. & Ethelberg, S. (2013). Gastrointestinal Illness among Triathletes Swimming in Non-Polluted versus Polluted Seawater Affected by Heavy Rainfall, Denmark, 2010-2011. PlosOne, vol 8, no. 11.
- 4/ Wójcik, O.P., Holt, J., Kjerulf, A., Müller, L., Ethelberg, S., Mølbak, K. (2013). Personal protective equipment, hygiene behaviours and occupational risk of illness after July 2011 flood in Copenhagen, Denmark. Epidemiology and Infection 141(8):1756-1763.
- 5/ de Man, H., Mughini-Gras, L., Schimmer, B., Friesem, I.H.M., de Roda Husman, A.M., van Pelt, W. 2015. Gastrointestinal, influenza-like illness and dermatological complaints following exposure to floodwater: a cross-sectional survey in the Netherlands. Accepted for publication in Epidemiology and Infection.
- 6/ de Man, H., van den Berg, H.H.J.L., Leenen, E.J.T.M., Schijven, J.F., Schets, F.M., Van der Vliet, J.C., de Roda Husman, A.M. (2014). Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. Water Research, 48, 90-99.
- 7/ Messner, M. J., P. Berger, et al. (2014). Fractional poisson-a simple dose-response model for human norovirus. Risk Analysis.
- 8/ Parkinson, J., Mark, O. (2005). Urban Stormwater Management in Developing Countries. A book - 225 pages published by "The International Water Association" (IWA). ISBN: 1843390574.
- 9/ IDA Spildevandskomiteen (2005). Skrift 27 - Funktionspraksis for afløbssystemer under regn. Retrieved from: <https://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/Skrift27Funktionspraksisforafl%C3%B8bssystemerunderregn.pdf>
- 10/ Mark, O., Jørgensen, C., Hammond, M., Khan, D., Tjener, R., Erichsen, A., & Helwigh, B. (2015). A new methodology for modelling of health risk from urban flooding exemplified by cholera in Case Dhaka, Bangladesh. Journal of Flood Risk Management. DOI: 10.1111/ffr3.12182