



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

OMOVAST II – Operativ Model til Varsling og Styring

MUDP-rapport

Januar 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Mette Kajhøj	Krüger A/S
Steen O. Petersen	Krüger A/S
Helmer Petersen	BIOFOS
Henrik Vedel	DMI
Margit Christensen	HOFOR

ISBN: 978-87-93614-52-9

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter indenfor miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at indlægget udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	6
1. Indledning	7
2. Projekt OMOVAST	8
2.1 Opbygning af OMOVAST-værktøjet	8
2.2 Forbedringer og nye funktioner implementeret i OMOVAST II	9
3. Nye oplande til forudsigelse af oversvømmelser	10
3.1 Anvendte oplande	10
4. Hurtigere beregning af oversvømmelser	11
4.1 Muligheder for at øge beregningshastigheden	11
4.1.1 Opdeling af modellen i flere submodeller	11
4.1.2 Multicell Solver	11
4.1.3 Finite Mesh beregning	13
5. Forbedrede prognoser af regn	16
5.1 Radarnedbørsforudsigelse	16
6. Forbedret brugergrænseflade	17
7. Styring af vand på overfladen	22
8. Erfaringer med drift	25
9. Publikationer	26
10. Konklusion	27
Ordliste	28
Litteratur	29

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet OMOVAST (Operativ Model til Varsling og Styring), der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet, 2014 - 2016

Projektgruppen har bestået af:

Mette Kajhøj	Krüger A/S
Steen O. Petersen	Krüger A/S
Helmer Petersen	BIOFOS
Henrik Vedel	DMI
Claus Petersen	DMI
Margit Christensen	HOFOR
Carsten Thirsing	BIOFOS
Jacob Dyrby Petersen	Nordvand

I følgegruppen har, udover projektgruppen, også Naturstyrelsen deltaget v/Ditte Hølse

De resterende medlemmer var:

Margit Lund Christensen	HOFOR
Lone Bo Jørgensen	HOFOR. Drift
Susanne Skov- Mikkelsen	HOFOR
Arne Kristensen	Nordvand
Peter Steen Mikkelsen	DTU
Michael R. Rasmussen	AAU
Jens Nejrup	Københavns Kommune. Center for Miljø
Nils Ole Blirup	Københavns brandvæsen. Beredskabet
Georg Bergeton Larsen	DMI

Projektmedarbejdere: Vianney Courdent, Elbys J. Meneses, Roland Löwe, Daniel Brødbæk, Steen O. Petersen (alle fra Krüger) og Claus Petersen, Martin Bjært Sørensen, Thomas Bøvith, Rashpal Gill og Henrik Vedel (alle fra DMI).

Projektledelsen vil gerne takke projektgruppen, følgegruppen og projektmedarbejderne for en fantastisk indsats, som har været altafgørende for det gode resultat. Ligeledes takkes Søren Feilberg-Rasmussen (Krüger) for hans indsats som sparringspartner og kvalitetskontrol.

På Projektledelsens vegne

Mette Kajhøj
Viceafdelingschef
Krüger

Sammenfatning

OMOVAST II er et udviklings og demonstrationsprojekt med fokus på forbedrede varsler af ekstrem regn og urbane oversvømmelser. Oversvømmelsesvarsler er genereret baseret på vejprognoser og hydrauliske simulationer med 1D-2D modeller. En demonstrationsversion af systemet blev implementeret i projektet OMOVAST i 2014 og projektet OMOVAST II har udviklet dette system og gjort det operationelt.

I OMOVAST II blev der lagt fokus på implementeringen af hydrauliske modeller som tillader simulationer over større oplandsarealer indenfor begrænset tid, på forbedringer af regnprognoserne og på en operationalisering af systemet og brugergrænsefladen.

I dag er systemet implementeret i 3 oplande med varselsarealer op til 25 km². Oversvømmelsesvarsler er genereret baserende på regnprognoser fra radar- og vejrmodeller. Simulationsresultater bliver kommunikeret ved hjælp af et web interface baserende på OpenLayers. Udover en kort med varslede oversvømmelsesområder indeholder dette interface også visualiseringer af regnprognoser og sammenligninger af målte og varslede niveauer og flows i afløbssystemet. SMS og E-mail varsler bliver automatisk sendt til forskellige brugergrupper hvis der bliver varslet oversvømmelser eller hvis der opstår fejl i systemet.

Udviklingerne fra projektet OMOVAST II blev overført til produktet SURFF som på nuværende tidspunkt udgør et operationelt produkt.

Summary

OMOVAST II is a development and demonstration project, which focuses on improved warning of heavy rain and associated flood in urban areas. Flood warnings are generated in an automated manner based on numerical weather forecasts and hydraulic 1D-2D simulations. A demonstration setup was implemented in the project OMOVAST from 2014 and 2015. This setup was extended and made operational in the project OMOVAST II described in this report.

The project OMOVAST II focused on the implementation of hydraulic models that allow for the consideration of larger warning areas, on improvements of the user interface, on improving the quality of rainfall forecasts as well as on streamlining and operationalizing the warning setup.

To date, the setup is implemented in 3 catchments with warning area extents up to 25 km². Flood warnings are generated based on radar rainfall and numerical weather forecasts. Hydraulic simulation results are presented in an OpenLayers based web interface, showing not only the forecasted flood areas on a map, but also the forecasted rainfall and comparing forecasted and observed sewer levels and flows at multiple locations. Automated warnings are sent to different user groups in case of flooding or system failures.

The developments of OMOVAST were packaged into the warning product SURFF which is at this point ready to be deployed operationally in a variety of catchments.

2. Indledning

Projektet OMOVAST (**O**perativ **M**odel til **V**arsling og **S**tyring) er et udviklings- og demonstrationsprojekt - startet i 2013 - som handler om forbedret varsling af kraftig regn og skybrud i Storkøbenhavn og en dertil knyttet forudsigelse af eventuelle oversvømmelser mht. tidspunkt, placering og omfang.

En første version af et online oversvømmelsesvarsels system blev implementeret i løbet af 2014. Denne rapport omhandler følgeprojektet OMOVAST II, hvor det eksisterende system skulle udvides og forbedres.

3. Projekt OMOVAST

3.1 Opbygning af OMOVAST-værktøjet

OMOVAST-værktøjet beregner oversvømmelsesprognoser baseret på en hydraulisk model, som kan beregne strømninger i afløbssystemet og koble dette med en digital terrænmodel.

Følgende trin gennemføres en gang i timen:

- Download og konvertering af data fra regnmålere og nedbørsprognoser til input i de hydrauliske beregninger
- Simulering af den aktuelle tilstand af kloaksystemet og overfladevandstand vha. data fra regnmålere
- Prognose for vandstand i kloaksystemet og på overfladen 6 timer frem.
- Udtræk af resultater samt præsentation af forventede oversvømmelser og regnintensiteter visualiseret via en webside
- Arkivering af måle- og beregningsresultater

Den generelle arbejdsgang er illustreret i Figur 3-1.

Formålet med at modtage målinger online - og i realtid - er at holde styr på den aktuelle tilstand i hhv. kloaksystem og vandstand på overfladen. Den aktuelle tilstand beregnes i den hydrauliske model med regnmålerobservationer fra den seneste time som input. Resultaterne herfra bruges derefter til at starte en varselssimulering.

I varselssimuleringen benyttes - foruden input for aktuel tilstand i kloaksystem og på overfladen - en nedbørprognose. I stedet for nedbørsmålinger anvendes en nedbørprognose som input, kan varselssimuleringen generere oversvømmelsesprognoser 6 timer ud i fremtiden.



Figur 3-1. OMOVAST funktionsskema. Modellen genererer hver time et oversvømmelsesvarsel baseret på prognoser fra DMI. Realtidsdata (regnmålinger, havvandstande) bruges til at sikre, at modellen altid er opdateret i forhold til den aktuelle tilstand.

OMOVAST's oversvømmelsesprognoser bliver publiceret online 10 til 25 minutter efter hver hele time. Disse resultater kan tilgås på følgende webside: <http://surff.dk/>. Domænet er password-beskyttet i testfasen. Hjemmesiden bruger baggrundskort baseret på OpenLayers3 og OpenStreepMaps (OSM). Disse kan i skrivende stund kun vises i Mozilla Firefox og Google Chrome browsere.

3.2 Forbedringer og nye funktioner implementeret i OMOVAST II

Hovedformålet med projektet OMOVAST II var at overføre udviklingsprojektet til et mere standardiseret og anvendeligt system, som nemt kan implementeres i andre oplande. En række tiltag var nødvendige for at opnå dette mål og er opført herunder.

1. Varselsystemet blev i OMOVAST implementeret for oplande med en meget begrænset størrelse. Typisk ville brugere forvente at modtage varsler for et helt byområde. Beregningsområdet i København blev derfor i OMOVAST II udvidet til 22 km² og dækker nu store dele af Københavns kommune. Derudover blev varselsystemet implementeret i et nyt opland på 14 km² i Nordvands forsyningsområde.
2. For at kunne gennemføre online oversvømmelsesberegninger for større oplande var det nødvendigt at øge beregningshastigheden af modellen. Der blev testet forskellige metoder og en såkaldt "multicell solver" beregningsmetode blev implementeret for systemet i København.
3. Når oversvømmelsesvarsler er tilgængelige flere timer forud, kan informationen bruges for at forberede oplandet til den kommende hændelse. Denne mulighed blev evalueret ved at teste muligheder for at styre oversvømmelsesvand i København og i Nordvands forsyningsområde.
4. OMOVAST blev i første version implementeret med en begrænset brugergrænseflade. Grænsefladen er blevet udvidet i samarbejde med brugere i forsyningerne ved at bruge et webbaseret GIS system som gør hjemmesiden fleksibelt i forhold til den information der bliver vist og som også giver mulighed for at brugere kan interagere med systemet.
5. Dataassimilering
Det er besluttet at det ikke er muligt, i dette projekt, at gennemføre en egentlig test af en metode til assimilering af måledata i MikeUrban modellen. Det er begrundet med, at der i arbejdet under arbejdsplanen 5, er gennemgået flere forskellige metoder til assimilering af måledata. Resultatet er, at der på nuværende tidspunkt ikke findes en metode indbygget i den anvendte beregningsplatform, MikeUrban, som uden videre kan anvendes til assimilering af måledata. DTU har dog arbejdet med en metode, som vurderes brugbar, men hvori der er identificeret nogle udfordringer, som skal løses før metoden kan implementeres og testes. Det er derfor ikke muligt, inden for tidsrammen af dette udviklingsprojekt at gennemføre en egentlig test af denne metode, der bygger på en såkaldt Ensemble Kalman Filtrering.
6. Kvaliteten af nedbørsprognoser har i OMOVAST vist sig at have stor indflydelse på kvaliteten af oversvømmelsesprognosen. DMI har derfor i løbet af OMOVAST II arbejdet på at forbedre regnprognosen fra den NWP-model (NWP = numerical weather prediction) ved at forbedre behandlingen af måledata, at skaffe flere måledata, og at forbedre assimileringen af disse i NWP-modellen. Derudover blev radarbaserede regnprognoser udviklet og gjort tilgængelige online og bliver nu anvendt i SURFF til oversvømmelsesvarsler.

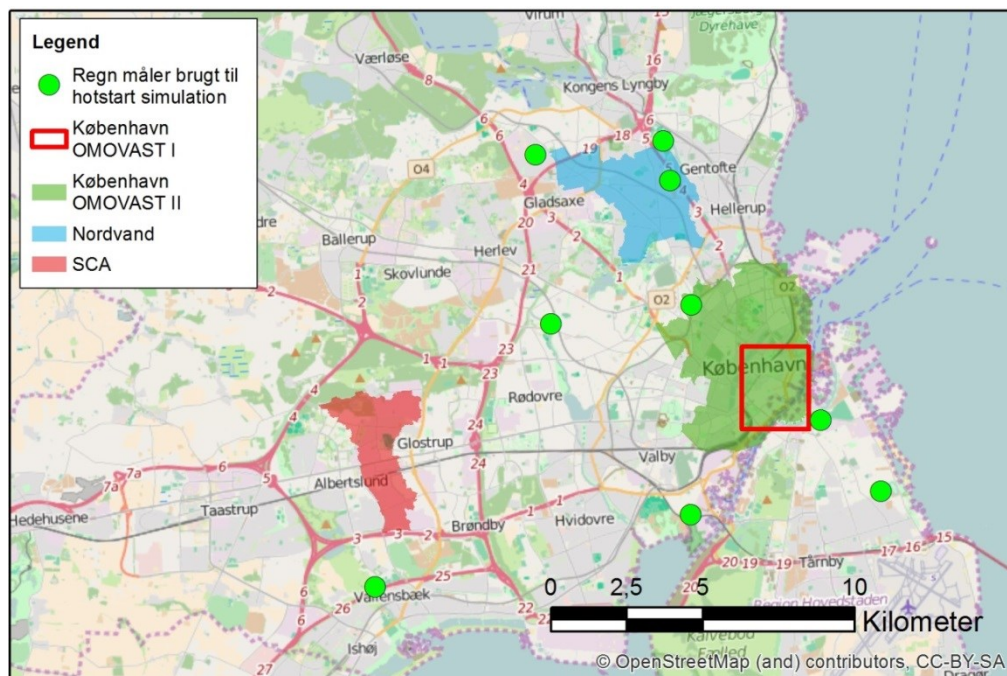
4. Nye oplande til forudsigelse af oversvømmelser

4.1 Anvendte oplande

I OMOVAST II blev oversvømmelsesvarsler beregnet for tre oplande:

- København bymidt
- Albertslund / Glostrup i Spildevandscenter Avedøres (SCA) opland
- Området omkring Vangederenden i Nordvands forsyningsområde mellem Gladsaxe og Gentofte.

Oplandene hvor 2D oversvømmelsesberegninger blev udført i OMOVAST II er vist i Figur 4-1. Der blev allerede udført oversvømmelsesberegninger i København og Albertslund som del af OMOVAST I, men beregningsområdet i København er nu væsentlig udvidet fra 6 til 22 km².



Figur 4-1. Oplande brugt til 2D oversvømmelses beregninger i OMOVAST II. Til sammenligning er oplandet brugt til København i OMOVAST I inkluderet.

5. Hurtigere beregning af oversvømmelser

5.1 Muligheder for at øge beregningshastigheden

I OMOVAST bliver oversvømmelsesvarsler genereret baserende på en 1D-2D hydraulisk simulation. Vandbevægelsen på overfladen blev i OMOVAST I simuleret med en gridbaseret metode hvor alle celler har samme størrelse på 5x5m. Denne opsætning er ikke tilstrækkelig, hvis oversvømmelsesvarsler skal generes indenfor 15-20 minutter for de større oplande beskrevet i afsnit 4. Derfor blev der evalueret flere metoder for at øge beregningshastigheden af modellerne.

5.1.1 Opdeling af modellen i flere submodeller

Hvis modellen bliver delt op i flere submodeller, kan disse køres parallelt og resultaterne kan kombineres for visning på hjemmesiden. Der er flere ulemper ved disse metoder:

- Det kan være vanskeligt at dele oplandet op på en måde hvor vand ikke bevæger sig mellem deloplandene. Hvis ikke det er sikret at deloplandene er uafhængige fra hinanden er der risiko for betydelige fejl i oversvømmelsesberegningerne.
- At simulere et opland med flere hydrauliske delmodeller kræver væsentlige ændringer i software strukturen af SURFF produktet. Især ville det være nødvendigt at udvikle nye rutiner til håndtering af inputs og resultater. Potentielt bliver opsætningen mindre robust, fordi der er flere potentielle fejlkilder.
- Det kræver flere MIKE FLOOD licenser hvis der skal bruges flere parallelle simulationer for hver delopland. Dette kan føre til betydelige omkostninger og gøre produktet mindre konkurrence dygtig.

Grundet ovenstående vanskeligheder har vi fravalgt at dele simulationen op i flere delmodeller.

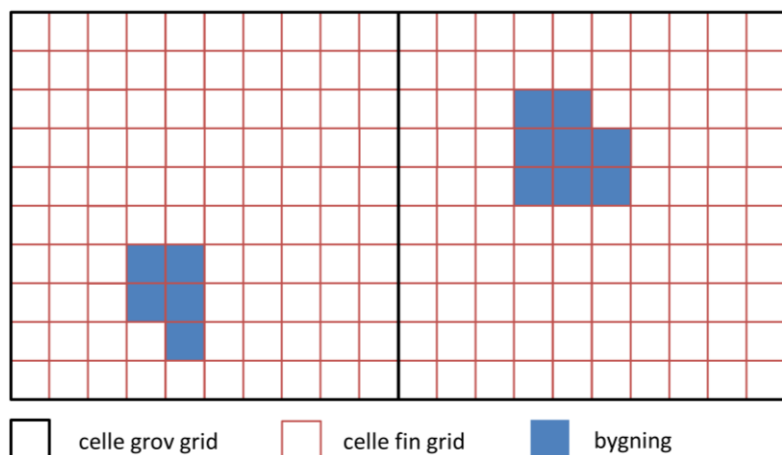
5.1.2 Multicell Solver

Denne metode er implementeret i MIKE FLOOD software pakken og er beskrevet i Henonin et al. (2015). Beregningshastigheden øges ved at bruge 2 grids med forskellige opløsninger i beregningen af vandbevægelsen på overfladen (Figur 5-1). En grid med grov opløsning bliver brugt for at simulere den overordnede vandbevægelse i oplandet. Hvis der kommer vand i en af de grove vandceller, fordeles vandet i cellen ved at bruge et andet grid med finere opløsning. Derved kan vandbevægelsen i oplandet beskrives ved at simulere forholdsvis få celler, og beregningen foregår betydeligt hurtigere end en almindelig gridbaseret simulation.

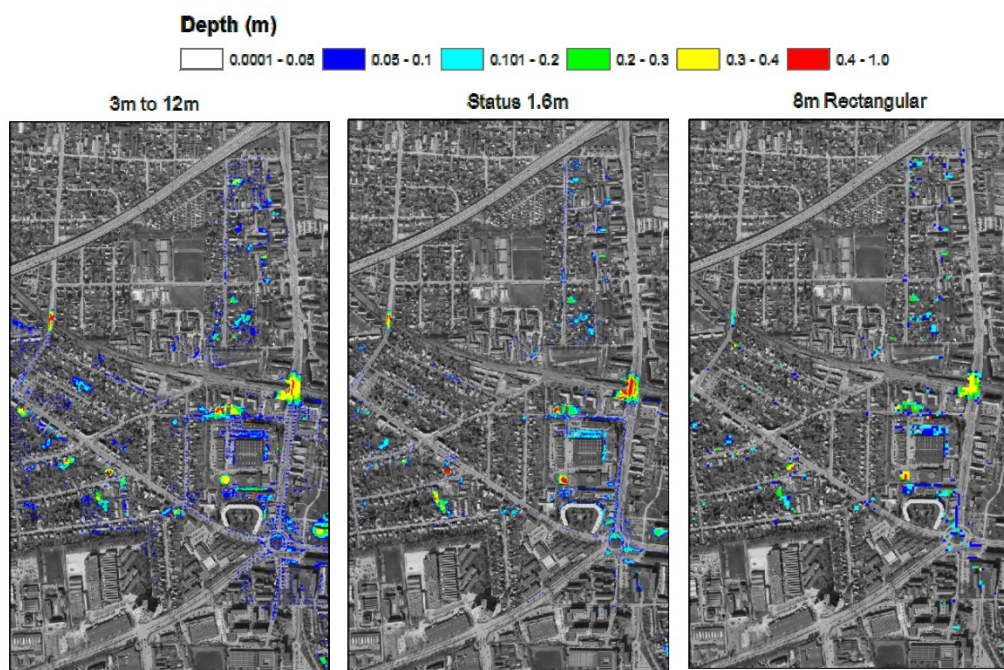
Figur 5-2 og Figur 5-3 sammenligner simulations resultater for multicell-metoden og en almindelig gridbaseret beregning i Nordvands og Københavns området. I Figur 5-2 ses at resultatet af multicell-metoden meget godt svarer til de oversvømmelsesarealer beregnet i referencen med en højopløst grid på 1,6x1,6m. Resultaterne er ikke ens, men alle områder hvor vanddybder over 30cm bliver beregnet i referencen, findes også i resultatet fra multicell-metoden. Til gengæld viser en almindelig gridbaseret beregning med en opløsning på 8m generelt færre oversvømmelsesområder og lavere vanddybder.

I Figur 5-3 sammenlignes beregningsresultatet fra multicell-metoden med resultatet fra modellen brugt i OMOVAST I (almindelig gridbaseret med 6m opløsning) ved hændelsen d. 2. juli 2011. Resultaterne ligner meget hinanden, de forskelle der eksisterer er ikke relevante for varslingsformålet. Multicell-metoden udpeger et yderligt oversvømmelsesområde vest for slottet, hvilket skyldes at det fine grid i multicell-metoden har en højere opløsning end den oprindelige model brugt i OMOVAST I. Derved kan vandfordelingen beskrives mere detaljeret.

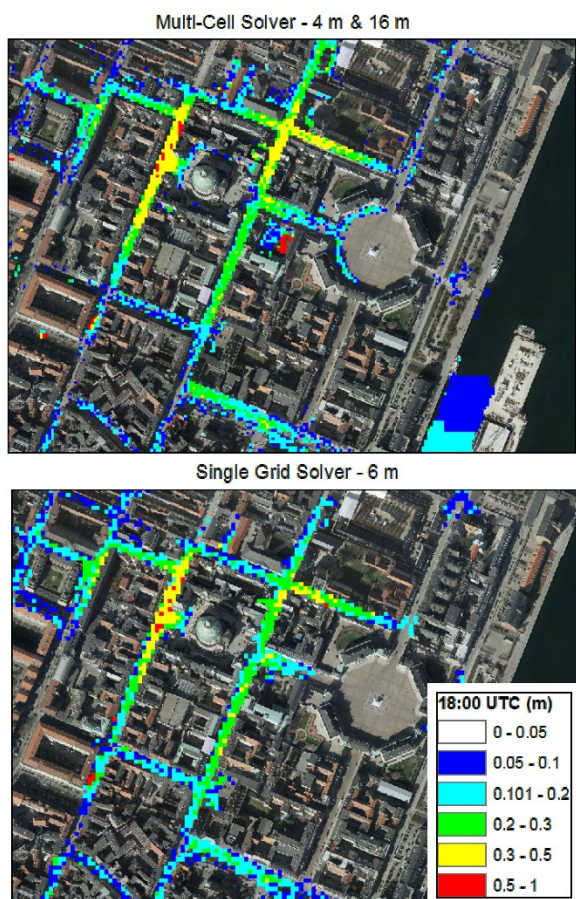
10x1m multicell grid opdeling



Figur 5-1. Skema multicell beregningsopsætning



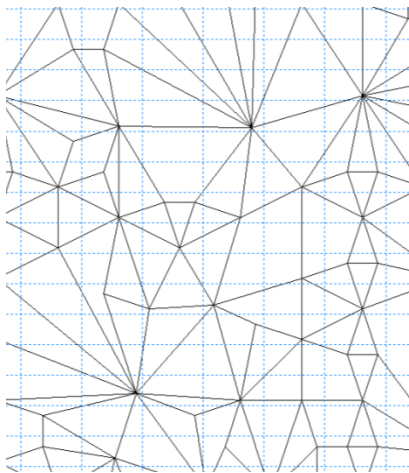
Figur 5-2. Sammenligning af beregnede oversvømmelsesarealer i området ved Buddinge St ved en CDS100 regn med klimafaktor 1,4. Fra venstre til højre: multicell-metode med grid opløsninger på 3 og 12m, almindelig gridbaseret simulation med en opløsning på 1.6m, almindelig gridbaseret simulation med en opløsning på 8m.



Figur 5-3. Sammenligning af beregnede oversvømmelsesarealer i området ved Amalienborg slot for hændelsen d. 2. juli 2011. Øverst: multicell-metode med grid opløsninger på 4 og 16m, nederst: almindelig gridbaseret simulation med en opløsning på 6m (beregningsmetoden anvendt i OMOVAST I).

5.1.3 Finite Mesh beregning

Finite Mesh (FM) metoden er også implementeret i MIKE FLOOD pakken. Ved denne metode bliver terrænet beskrevet ved hjælp af trekants- eller firekants-elementer af fleksibel størrelse og form (Figur 5-4). Det betyder at meshen kan have en højere opløsning i områder hvor terrænet ændrer sig meget, eller som er særlig relevante for oversvømmelsesberegningen, og en mindre opløsning i andre områder. Det totale antal elementer der bliver brugt til at beskrive overfladen er typisk mindre end for gridmetoden og derved kører beregningen hurtigere. Derudover er FM-metoden implementeret med mere effektive simulationsalgoritmer i MIKE FLOOD og rummer muligheden for parallel beregning med GPU.

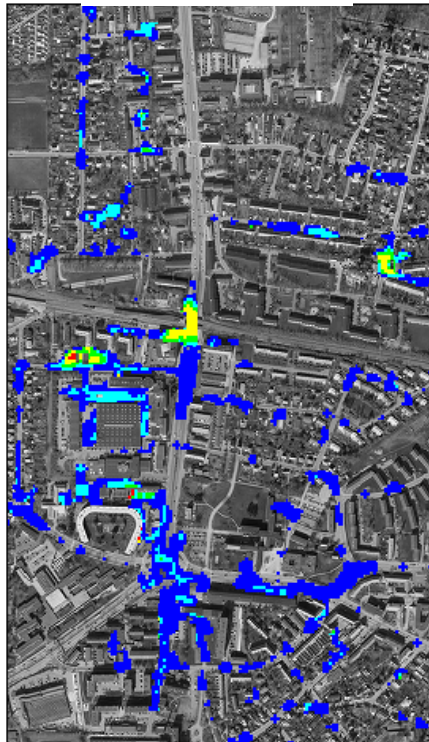
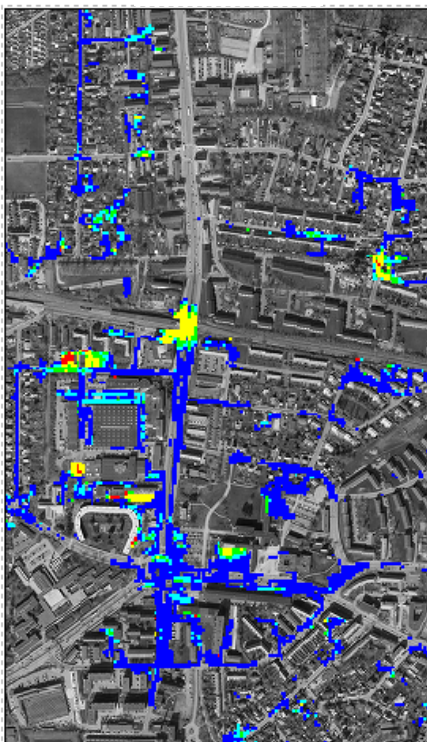


Figur 5-4. Eksempel for overfladebeskrivelse ved hjælp af en finite mesh.

Ved tests af FM-metoden i Nordvands opland blev gridbaserede højdemodeller med 3x3m og 6x6m opløsning konverteret til meshes med samme opløsning. Beregningsresultaterne i begge metoder lignede hinanden (Figur 5-5), men beregningen var 2-4 gange hurtigere ved brug af FM metoden. Beregningshastigheden kunne øges videre med faktor 2 ved brug af GPU. Den øgede beregningshastighed i testen var udelukkende et resultat af de mere effektive simulationsalgoritmer i FM metoden, mens muligheden for at beskrive overfladen ved hjælp af mesh-elementer af fleksibel størrelse ikke blev udnyttet i testen. Det betyder at beregningshastigheden i praksis kunne øges endnu mere ved at forbedre terræn beskrivelsen med FM.

Grid 6x6m

FM 6x6m



Figur 5-5. Sammenligning af simulationsresultater i området ved Buddinge St for CDS100. Venstre: gridbaseret beregning med 6x6m opløsning, højre: FM beregning med 6x6m opløsning, hvor alle mesh elementer er af samme størrelse.

Grundet fleksibiliteten i terrænbeskrivelsen og effektiviteten af beregningsalgoritmen betragtes FM metoden som den teknisk bedste metode til hurtig oversvømmelsessimulering af større oplande i et varselssystem. Ulempen ved metoden er betydeligt højere licenspriser som i øjeblikket gør anvendelsen af FM metoden uøkonomisk for projektpartnere. Da tilfredsstillende simulationsresultater også kunne opnås med multicell-metoden, blev denne metode implementeret i OMOVAST II.

6. Forbedrede prognoser af regn

DMI arbejder på tre fronter

1. Udvikling af en operationel metode til fremstilling af tidsinterpolerede radardata.
2. Nedbørsmålinger baseret på udenlandske radardata fremskaffes og assimileres i DMI's vejrmodel
3. Ekstra flydata (ModeS) fremskaffes og assimileres i DMIs vejrmodel.

Ad 1.

En metode til interpolering og ekstrapolering af 2D radar-composites er introduceret ved DMI.

Dette resulterer i at DMIs NWP-model nu assimilerer 2 min 2D radardata i stedet for 10 min, hvorved "hak" i den assimilerede radarnedbør undgås.

I assimileringen af radardata i NWP-modellen, hvor vi både assimilerer "nedbør" og "ikke-nedbør", er en zone introduceret tæt op af "nedbør", hvor vi undlader at assimilerer "ikke-nedbør". Dette for at give modellen større frihed til at indrette sig efter nedbøren - da den ikke kan opløse de koncentrerede nedbørsfelter lige så godt som radarerne.

Ad 2.

Grundet mangel på udenlandske radardata i de for OMOVAST II relevante skybrudsperiode er fokus i stedet lagt på at forbedre i filtreringen af de danske radardata og forfine anvendelsen af dem i NWP-modellen.

Ad 3.

DMI modtager nu ModeS- og andre ADD-data (ADD = aircraft derived data, ModeS er en variant af disse, der findes flere andre). Disse data assimileres i NWP-modellen.

Mængden af ADD-data for det danske område vil stige kraftigt fremover, hvilket forventes af forbedre NWP-modellen yderligere. Dette sker gennem nationalt og internationalt samarbejde mellem en lang række institutioner, og DMI har ikke kontrol over tempoet i fremdriften. Pt forventes en stigning i datamængden i løbet af 2016.

6.1 Radarnedbørsforudsigtelse

Derudover har DMI arbejdet med udvikling af rent radarbaserede nedbørsprognoser, i tilknytning til hvilket Krüger har arbejdet med anvendelse af disse i SURFF. I begge tilfælde arbejde udover det i projektet oprindeligt aftalte.

DMI producerer nu et 2D radarnedbørsprodukt til OMOVAST/SURFF, med en ny forudsigelsessekvens hvert 10 min (som den periode DMIs radarer drives med). Disse har bedre kvalitet, især hvad angår rumlig opløsning, end NWP-nedbørsdata på de helt korte forudsigelsestider.

Krüger har udviklet rutiner så disse radardata kan bruges i SURFF, hvor de anvendes til den første times forudsigelse. Derpå anvendes NWP-data.

På hvilket tidspunkt NWP-forudsigelsen i praksis bliver bedre end radarforudsigelsen afhænger af vejret. Fremtidige undersøgelser er nødvendige for at belyse om dette aspekt.

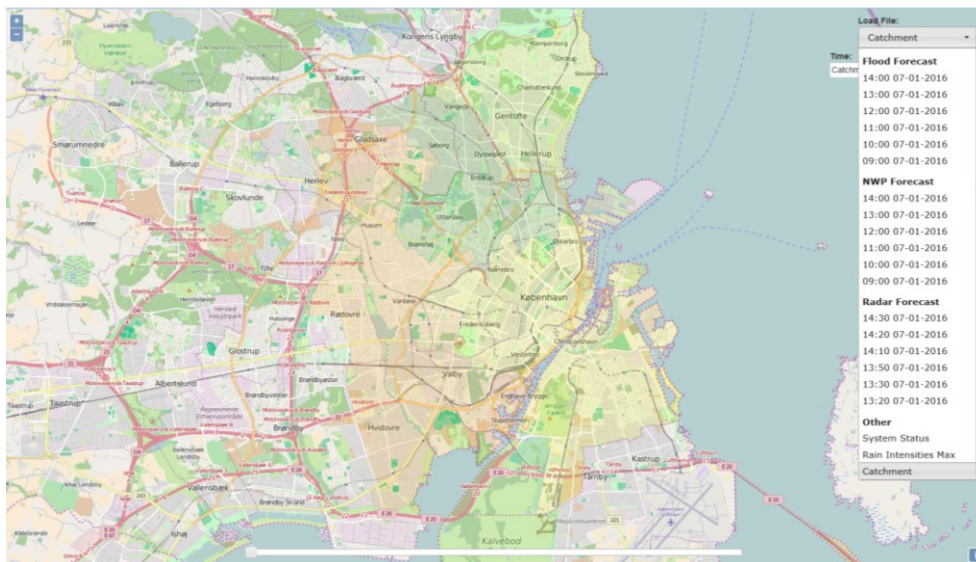
7. Forbedret brugergrænseflade

Efter erfaringerne i OMOVAST I var der et ønske om en forbedrede brugergrænseflade til varselssystemet. Dette skulle ske på baggrund af at Google havde varslet at indstille support for GoogleEarth i 2016. Derved kunne det system som blev anvendt til visualisering af oversvømmelsesresultater i OMOVAST I ikke bruges længere.

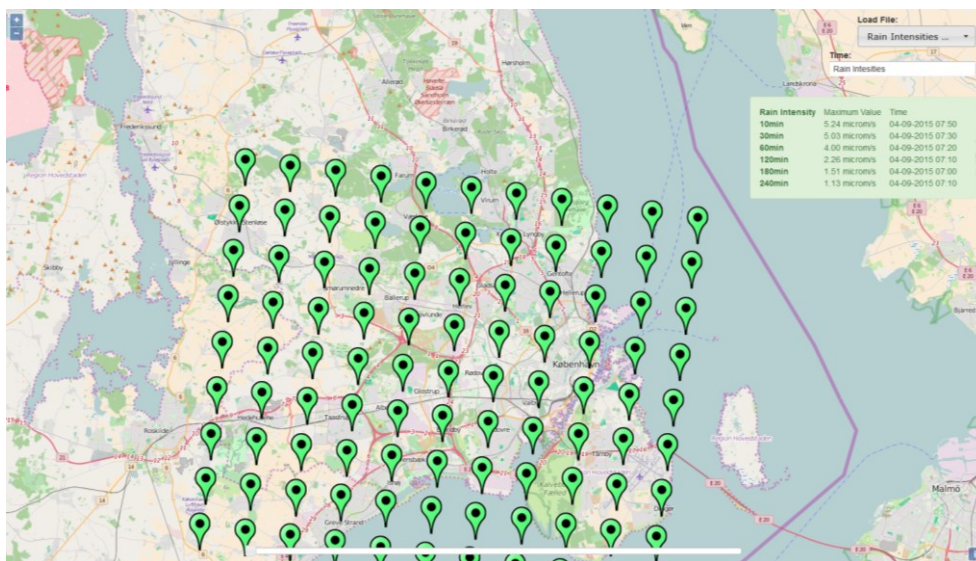
En ny brugergrænseflade blev derfor implementeret ved hjælp af biblioteket OpenLayers 3 (openlayers.org). Denne software yder GIS-lignende funktioner til webbrowseren og giver fleksible muligheder for at visualisere geografiske data som shapefiler og raster data. Derudover kan forskellige baggrundskort som OpenStreetMaps (OSM), BingMaps mv. nemt inkluderes. OpenLayers bliver distribueret open source under BSD2 licensen og kan dermed frit anvendes i OMOVAST. OSM blev valgt som baggrundskort for brugergrænsefladen i OMOVAST II. OSM er ligeledes tilgængelig som OpenData under Open Data Commons Open Database Licensen (ODbL).

Udover de generelle forbedringer af brugergrænsefladen blev følgende funktioner implementeret efter aftale med brugere:

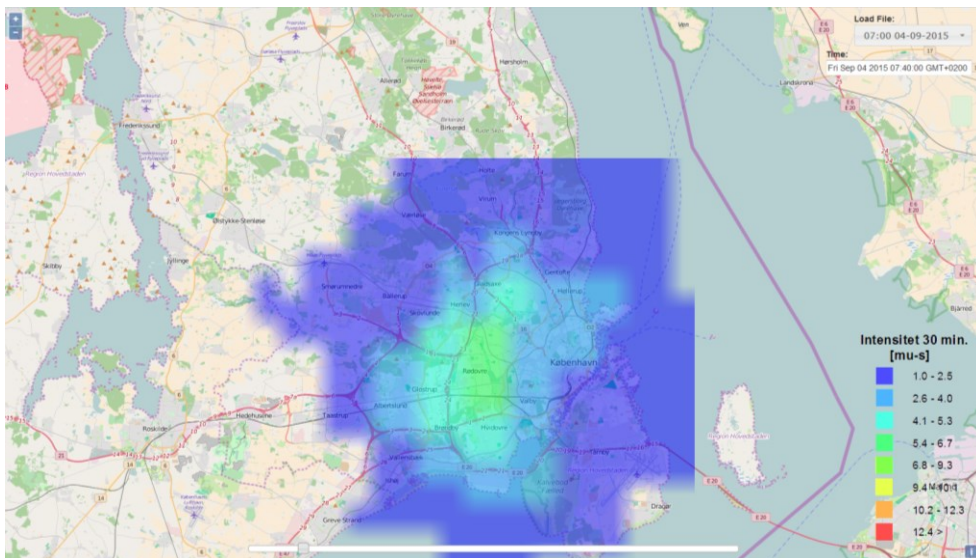
1. Visualisering af historiske oversvømmelsesprognoser – brugere ønskede en mulighed for at se udviklingen i oversvømmelsesprognosen over tiden. Dette blev implementeret ved at gemme de sidste 6 oversvømmelsesprognoser på serveren. I en menu på hjemmesiden kan brugeren vælge hvilken prognose vises på hjemmesiden (Figur 7-1 og Figur 7-4).
2. Udover en analyse af maksimale regn intensiteter varslet af vejrmodellen (implementeret i OMOVAST I - Figur 7-2) var der et ønske om at visualisere selve regnprognosen fra vejrmodellen og radar for hver pixel og i 10 minutters opløsning. Implementeringen er vist i Figur 7-3. Også her kan brugeren vælge at visualisere en af de sidste 6 regnprognoser modtaget fra DMI.
3. En sammenligning af simulationsresultater og målinger i ledningsnettet giver mulighed for at vurdere hvor god prognosen er på nuværende tidspunkt og hvor modellen generelt simulerer systemet. Derfor blev der implementeret en layer hvor brugeren kan vælge at se simulationsresultater og målinger for en række målepunkter i systemet (Figur 7-5).



Figur 7-1. Oversigtsvisning – et udvalgsmenu på højre side giver brugeren mulighed for at vælge hvilken layer skal vises



Figur 7-2. Oversigt over regnintensiteter forudsagt af vejrmodellen. Hvert punkt svarer til en pixel i vejrmodellen. Ved klik på en pixel vises de maksimale forecastede regn intensiteter fra den nyeste vejrpoggnose for forskellige tidsintervaller. Symbolet bliver rødt, hvis regn intensiteten er større en hvad der svarer til en 10 års hændelse.



Figur 7-3. Visualisering af regnprognoser fra vejrmodel og radar i 10 minutters intervaller. Brugeren kan vælge frit mellem de sidste 6 prognoser, både for radarbaseret og NWP-baseret nedbørsforudsigelse.

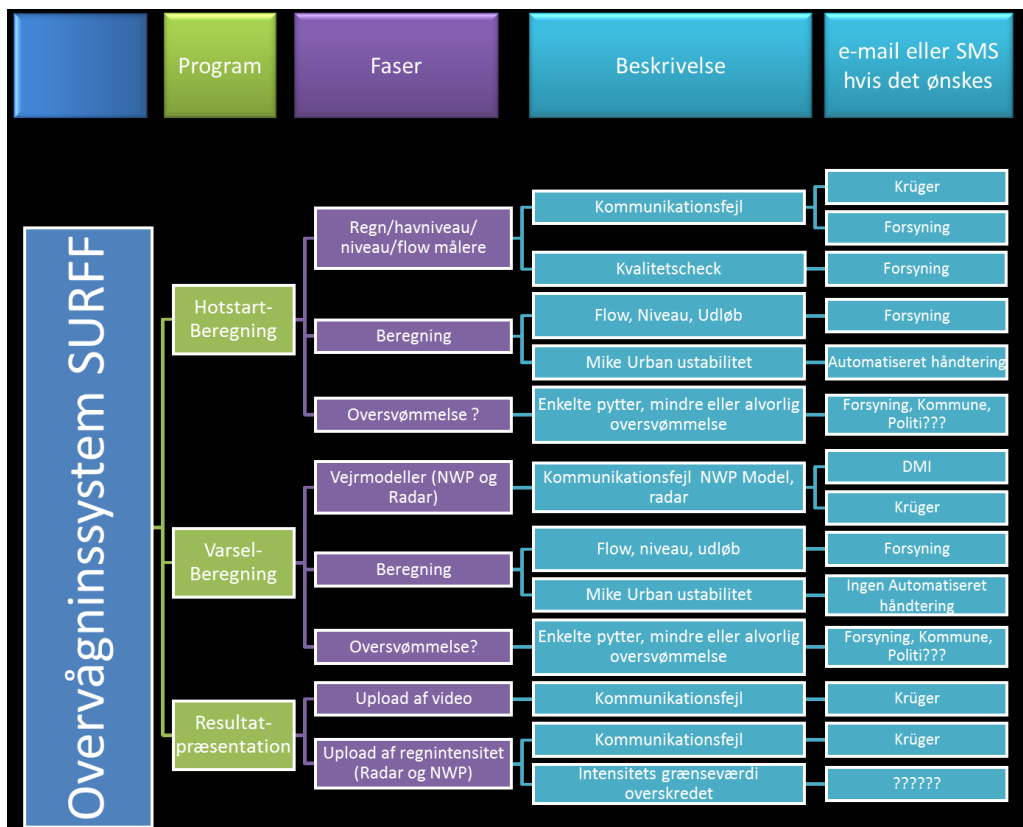


Figur 7-4. Visualisering af oversvømmelsesprognosen. Brugeren kan vælge mellem de sidste 6 oversvømmelsesprognoser.



Figur 7-5. Visualisering af målt og simuleret niveau i ledningsnettet. Ved klik på symbolet vises resultaterne som billede.

I tilfælde af at oversvømmelser bliver varslet, er det vigtigt at informationen hurtigt bliver givet til forsyningerne og beredskabet. Da det ikke kan forventes at OMOVAST's web-interfaces løbende bliver overvåget af driftspersonale, blev der implementeret et system som automatisk sender e-mails og SMS-beskeder til relevante brugere. Dette system bliver også brugt til at informere personer der har ansvar for at vedligeholde systemet om fejl der opstår i varselssystemet. Da det ikke er relevant for alle brugere at modtage alle beskeder, blev der inddelt forskellige brugergrupper som modtager beskeder i forskellige situationer. Disse grupper er vist i Figur 7-6.



Figur 7-6. Skema over brugergrupper som modtager e-mail og SMS varsler i forskellige situationer.

8. Styring af vand på overfladen

HOFOR og Lynettens oplande er gennemgået for at finde områder, hvor der er potentiale for at foretage oversvømmelsesstyring.

I HOFOR's område er der kigget på at anvende Fælledparken som forsinkelsesbassin og mulighederne for at lave en kontrolleret oversvømmelse er undersøgt. Der er konkluderet at der ikke er mange muligheder i HOFORs "OMOVAST område" for at foretage oversvømmelsesstyring. Anvendelsen af Fælledparken som forsinkelsesbassin kan ikke ske uden ret store indgreb i systemet. Anvendelsen af søerne er også problematisk.

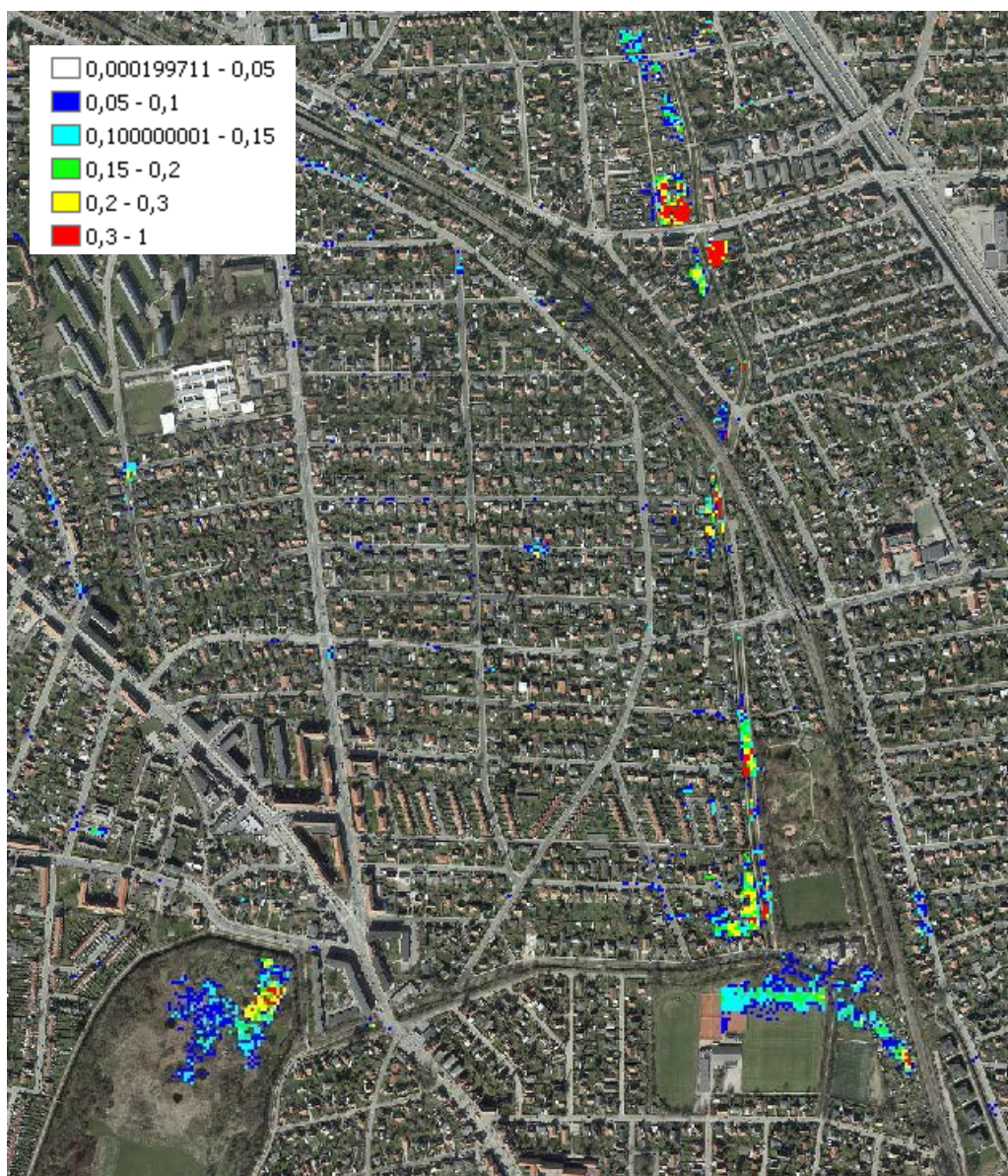
Ligeledes er Nordvands område gennemgået for at finde områder med potentiale for oversvømmelsesstyring. Der blev fundet 3 områder, hvor der kunne være et potentiale.

- Bassiner og ledninger omkring Buddinge station
- Udnyttelse af en parkeringsplads og vej syd for Buddinge station
- Udnyttelse af Emdrup idrætspark.

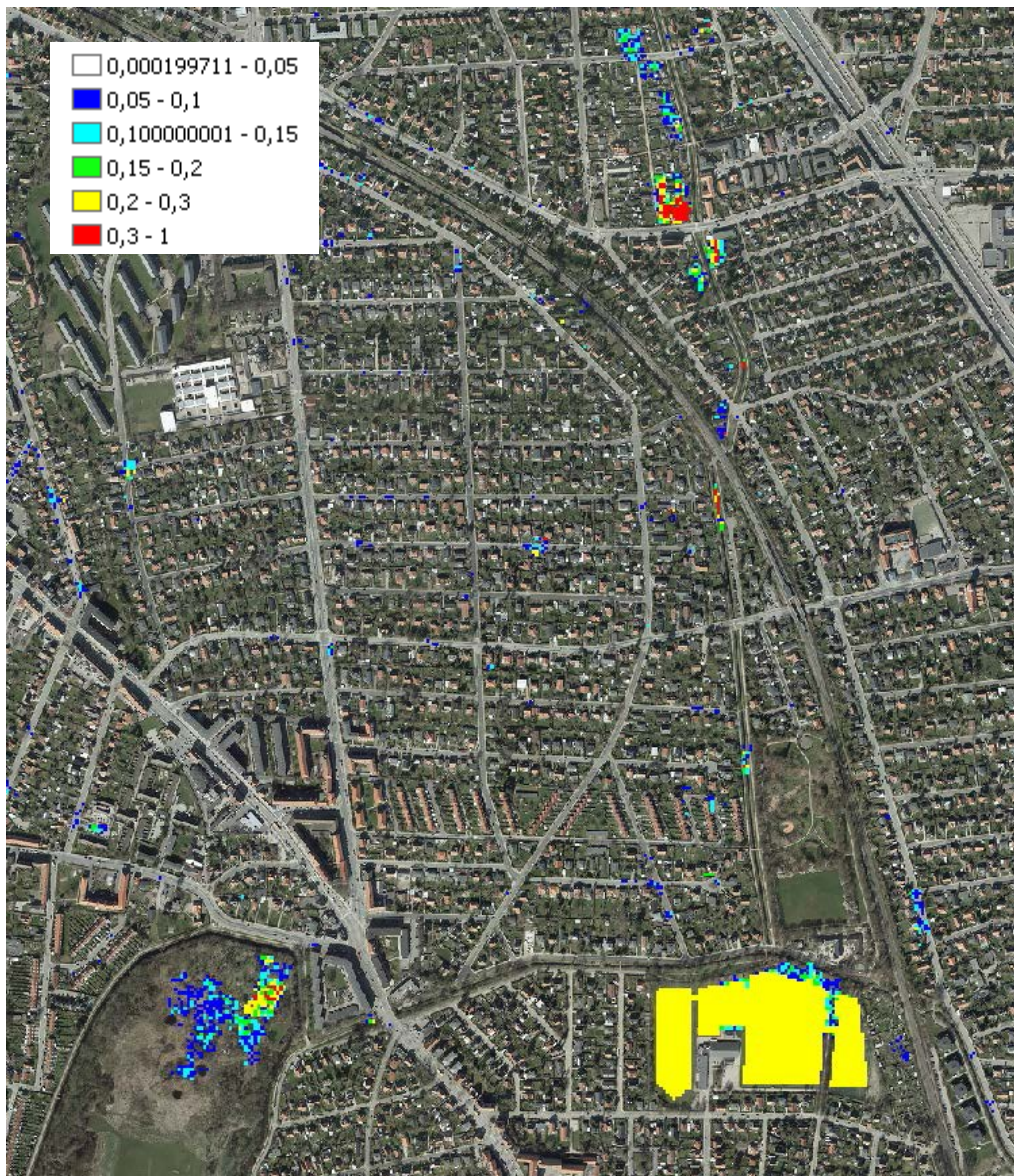
Der er implementeret en regelbaseret styring i modellen for HOFOR's område. Styringen indbefatter spjæld der anvendes til at lede vand ud til den marine recipient i skybrudssituationen. Der er blevet arbejdet på at optimere styringen af spjæld omkring Vester Voldgade og samtidig ændre lidt på ledningsførelsen. Det konkluderes at der kan opnås en reduktion af oversvømmelse og udledning af vand til kanalen, ved at lave nogle få ændringer i rørsystemet og så anvende en regelbaseret styring. Modellen blev udleveret til HOFOR.

Der blev opstillet en regelbaseret styring af bassinet ved Buddinge station, men det viste sig at det var nødvendigt med ret mange ændringer i rørsystemet for at få noget ud af styringen. Det blev derfor besluttet ikke at gå videre med dette område.

Der blev ligeledes opstillet en regelbaseret styring for et område ved en parkeringsplads syd for Buddinge station og for systemet omkring Emdrup idrætspark - i begge tilfælde for at magasinere vand på overfladen på henholdsvis parkeringsplads og på fodboldbanerne i Emdrups Idrætspark. Resultatet af modelberegninger viser i begge tilfælde at oversvømmelser i områderne omkring kan reduceres. Reduceringen af oversvømmelser i Emdrup resulterer fra aktivering af retentionsvolumen i Idrætsparken. Tilløbet til Idrætsparken fra Gentofterenden blev i modelsimulationerne implementeret gennem spjæld. I et studenterprojekt blev der implementeret en regelbaseret styring for at sikre at Idrætsparken ikke blive oversvømmet i regnhændelser med gentagelsesperioder <5 år (Cominelli, 2015).



Figur 8-1. Oversvømmelsesarealer i området ved Emdrup idrætspark ved en hændelse med gentagelsesperiode 20år (Cominelli, 2015).



Figur 8-2. Oversvømmelsesarealer i området ved Emdrup idrætspark ved en hændelse med gentagelsesperiode 20år after implementering af en overløb fra Gentofterenden til idrætspark og en regelbaseret styring af tilløbet (Cominelli, 2015).

9. Erfaringer med drift

SURFF produktet har været i drift som testversion siden maj 2014. Erfaringerne fra testperioden kan opsummeres som følger:

- 1D-2D oversvømmelsesmodellen MIKE FLOOD er robust nok til en stabil daglig drift af et oversvømmelsesvarselssystem. Numeriske ustabiliteter opstod i starten af projektet, men kunne reduceres ved hjælp af systematiske tests af modellen og en løbende forbedring af modellen. Ved dags dato opstår ustabiliteter mindre end 1 gang om måneden.
- Robuste dataforbindelser er kritiske for driften af SURFF. SURFF indeholder mekanismer der gør den robust over for manglende data, f.eks. brug af standard værdier for randbetingelser eller erstatning af regn data fra regnmåler med radar regn i tilfælde af manglende data. Disse mekanismer påvirker dog kvaliteten af simuleringerne og det er ikke muligt at generere en oversvømmelses prognose hvis der ikke er en regnprognose tilgængelig. Til drift af SURFF skal der derfor allokeres et budget til vedligeholdelse af data forbindelser mellem Krüger, forsyninger og DMI.
- Regnprognoserne har en tendens til at undervurdere den faktisk målte regn. Der forventes yderlige forbedringer af vejrmodellerne i løbet af de kommende år.

10. Publikationer

Christensen, M. L. (2014) ”OMOVAST - et værktøj til varsling af skybrud” præsentation under Dansk Vand Konference, Århus, 19/11/2014.

Sørud, M. (2015) “Implementing Operational Floode Forecasts for Cities - The OMOVAST Project Copenhagen”, poster præsentation ved European Climate Change Adaptation Conference (ECCA), 13/05/2015

Meneses, E. J., Löwe, R., Brødbæk, D., Courdent, V., and Petersen, S. O. (2015) “SURFF - Operational Flood Warnings for Cities Based on Hydraulic 1D-2D Simulations and NWP” in Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling (UDM). Québec, Canada.

“Tidligere og mere præcis varsling af ekstremregn”, artikel i DanskVand #1, Februar 2015 s.63-65,
<http://www.danva.dk/Medlemmer/Kommunikation/danskVAND/Udgivelser-danskVAND-arkiv.aspx>.

Korsholm, U.S., C. Petersen, B.H. Sass, N.W. Nielsen, D.G. Jensen, B.T. Olsen, R. Gill, and H. Vedel: Nudging of radar precipitation via divergence adjustment in the DMI operational nowcasting model, Meteorological Applications, 2014, DOI: 10.1002/met.1466

Olsen, B.T., U.S. Korsholm, C. Petersen, N.W. Nielsen, B.H. Sass, and H. Vedel: On the performance of the new NWP nowcasting system at the Danish Meteorological Institute during a heavy rain period, Meteorology and Atmospheric Physics 2015, DOI 10.1007/s00703-015-0388-y

Stener Hintz, K., The Sensitivity of Extreme Precipitation in Relation to Changing Time Step in the HIRLAM NWP Model, 2015, Speciale KU

11. Konklusion

Projektet OMOVAST (Operativ Model til Varsling og Styring) er et udviklings- og demonstrationsprojekt - startet i 2013 - som handler om forbedret varsling af kraftig regn og skybrud i Storkøbenhavn og en forudsigelse af eventuel oversvømmelse mht. placering og omfang. Projektet har resulteret i udviklingen af oversvømmelsesvarselsproduktet SURFF, som bliver brugt operationelt i forskellige oplande.

I løbet af projektet OMOVAST II blev der udviklet og implementeret en række væsentlige forbedringer af varselssystemet. Disse indeholder

- Udvikling af hurtigere hydrauliske beregningsmodeller med en beregningstid <30min for en simulationsperiode på 6 timer og oplandsstørrelser op til 25km²,
- Forbedring af brugergrænsefladen som understøtter visualiseringen af beregningsresultater og sammenligning af simulationsresultater og observations,
- Implementering af et system som sender automatiske e-mail og SMS beskeder ved simulation af oversvømmelser eller ved fejl i varselssystemet, og
- Udvikling af forbedrede NWP-modeller til mere præcise regnprognoser og anvendelse af rent radarbaserede regnprognoser til oversvømmelsesvarsler.

På nuværende tidspunkt er SURFF i drift i 3 oplande i Storkøbenhavn. Fremtidige forbedringer i systemet vil indeholde en løbende videreudvikling af vejrprognoser og inklusion af eksterne hydrologiske randbetingelser, som grundvandsniveauer, afstrømning i åer eller jordfugtigheden i den hydrauliske simulation.

Ordliste

Beregningscelle: er det punkt i en matrix, eksempelvis en digital terrænmodel, hvor den enkelte beregning udføres. Resultater overføres derefter mellem individuelle beregningsceller, for eksempelvis at simulere dybden af en oversvømmelse, der breder sig over et område.

Hotstart(fil): er den fil, der bruges til at genere de korrekte startbetingelser, når en ny simulering startes. Ved at kende systemets *tilstand* (vandføringer og vandstande) lige inden, der udsendes en ny prognose, kan denne tilstand overføres til den nye simulering, hvilket sparer beregningstid.

Hydraulisk model: betegnelsen for den matematiske model, i form af et computerprogram, der bruges til at beregne strømninger i afløbssystemet og på terrænet.

Kalibrering: er udtryk for den øvelse, hvor beregnede resultater tilpasses målte data ved at ændre en række modelparametre.

MIKE Urban 1D – 2D: er et eksempel på software, der udgør den hydrauliske model. Programmet er lavet af Danmarks Hydrologiske Institut (DHI) og bruges til at beskrive afløbssystemet (1D-delen) i sammenkobling med en terrænmodel (2D-delen). Sidstnævnte er nødvendig for at simulere oversvømmelsens udbredelse.

Realtid: anvendes i dette projekt om beregninger der kører "live", så den beregnede tilstand i afløbssystemet svarer til den aktuelle tilstand i virkeligheden.

SRO: Styring Regulering Overvågning er det samlede elektroniske system, hvorfra målte data ved alle komponenter i afløbssystemet (eksempelvis vandstandsmålere, flowmålere, pumper etc.) kan tilgås.

Validering: er udtryk for den øvelse, hvor resultaterne fra en kalibreret, hydraulisk model skal verificeres mod regnhændelser, som *ikke* har været brugt i kalibreringen.

Litteratur

Cominelli, C., *Analysis and modeling of flooding in urban drainage system: a case study in Copenhagen*, studenter projekt gennemført som del af kursus 12810 Special studies in environmental engineering, DTU, 2015.

Henonin, J., Hongtao, M., Zheng-Yu, Y., Hartnack, J., Havnø, K., Gourbesville, P., Mark, O., 2015. Citywide multi-grid urban flood modelling: the July 2012 flood in Beijing. *Urban Water J.* 12, 52–66.

Jensen, D.G., C. Petersen, M.R. Rasmussen: *Assimilation of radar-based nowcast into a HIRLAM NWP model*, Meteorological Applications, 2014, DOI: 10.1002-met.1479

Korsholm, U.S., C. Petersen, B.H. Sass, N.W. Nielsen, D.G. Jensen, B.T. Olsen, R. Gill, and H. Vedel: *Nudging of radar precipitation via divergence adjustment in the DMI operational nowcasting model*, Meteorological Applications, 2014, DOI: 10.1002/met.1466

Olsen, B.T., U.S. Korsholm, C. Petersen, N.W. Nielsen, B.H. Sass, and H. Vedel: *On the performance of the new NWP nowcasting system at the Danish Meteorological Institute during a heavy rain period*, Meteorology and Atmospheric Physics 2015, DOI 10.1007/s00703-015-0388-y

OMOVAST II – Operativ Model til Varsling og Styring

Projektet er en videreudvikling af tidligere projekt OMOVAST I. Projektets formål var at forbedre varsler af ekstrem regn og urbane oversvømmelser. Varslerne er genereret på baggrund af vejrprognoser og hydrauliske simulationer med 1D-2D modeller. Systemet kan beregne strømninger i afløbssystemet og koble dette med en digital terrænmodel, hvilket giver mulighed for at holde styr på den aktuelle tilstand i afløbssystem og vand på overfladen.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk