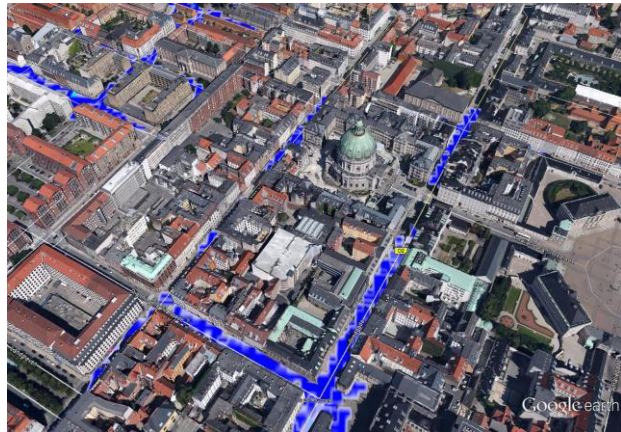




Miljøministeriet
Naturstyrelsen

OMOVAST

Operativ Model til Varsling og Styring



2015

Titel: OMOVAST -

Operativ Model til Varsling og Styring

Projektgruppe:

Mette Kajhøj	Krüger A/S
Steen O. Petersen	Krüger A/S
Helmer Petersen	BIOFOS
Henrik Vedel	DMI
Henrik Feddersen	DMI
Dines Thornberg	BIOFOS
Theis Gadegaard	Krüger A/S
Margit Christensen	HOFOR
Jesper Thyme	HOFOR
Carsten Thirsing	BIOFOS

Forfattere:

Daniel Brødbæk	Krüger A/S
Vianney Courdent	Krüger A/S
Roland Löwe	Krüger A/S
Elbys José Meneses	Krüger A/S
Steen O. Petersen	Krüger A/S

Redaktion:

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

ISBN nr.

978-87-7091-988-3

Ansvarsfraskrivelse:

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for vandteknologi medfinansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	6
1. Indledning	7
2. Projekt OMOVAST	8
2.1 Opbygningen af OMOVAST-værktøjet	8
2.1.1 Håndtering af fejl	10
3. Anvendte modeller og nedbørsdata	11
3.1 Anvendte oplande	11
3.2 Nedbørsprognose.....	12
4. Generel modelopsætning	14
4.1 Modelsoftware.....	14
4.2 Opsætning af 2D overflademodel.....	15
5. Demonstrationsopland Indre By – Lynettens opland	16
5.1 Eksterne randbetingelser	16
5.2 Kalibrering og validering af hydrauliske beregninger	17
5.2.1 Kalibreringsresultater	19
5.3 Oversvømmelsesvalidering.....	19
5.3.1 Nyhavn og Skt. Annæ Plads.....	20
5.3.2 Tolbodgade	22
6. Demonstrationsopland Avedøre	23
6.1.1 Oversigt over modifikationer af modellen	24
6.2 Modelkalibrering	24
6.2.1 Data.....	24
6.2.2 Målestationer	25
6.2.3 Resultater	26
7. Erfaringen med drift af OMOVAST	27
8. Konklusion	30
Ordliste	31
Litteratur	32
Bilag 1	33

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet OMOVAST (Operativ Model til Varsling og Styring), der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet, 2013 - 2014

Projektgruppen har bestået af:

Mette Kajhøj	Krüger A/S
Steen O. Petersen	Krüger A/S
Helmer Petersen	BIOFOS
Henrik Vedel	DMI
Henrik Feddersen	DMI
Dines Thornberg	BIOFOS
Theis Gadegaard	Krüger A/S
Margit Christensen	HOFOR
Jesper Thyme	HOFOR
Carsten Thirsing	BIOFOS

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

De resterende medlemmer var:

Else Vad	Krüger A/S
Jesper Thyme	HOFOR. Plan
Lars Thiesson	HOFOR. Teknologi og udvikling
Lone Bo Jørgensen	HOFOR. Drift
Thomas Larsen	BIOFOS
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 Bøwith, 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 er et 2-årigt udviklings- og demonstrationsprojekt, som handler om forbedret varsling af kraftig regn og skybrud i Storkøbenhavn og en forudsigelse af eventuel oversvømmelse mht. placering og omfang. Projektet er gennemført med henblik på, at kunne agere tidligere og mere præcist på den oversvømmelse, der kan opstå som følge af intensiv regn. Den forbedrede varsling vil bl.a. supplere den langsigtede klimasikring af Storkøbenhavn og give direkte hjælp til det fungerende beredskab.

OMOVAST havde følgende mål:

- Længere og mere præcist varsel af regn
- Varsel af oversvømmelse og estimat på omfanget heraf
- Et værktøj, der kan anvendes ved simulering af klimatilpasningstiltag
- Demonstrere oversvømmelsesværktøjet på to oplande

Der er udviklet et prognoseværktøj, som leverer en 6 timers oversvømmelsesprognose, baseret på en nedbørforudsigelse fra DMI. Denne nedbørsprognose konverteres til regndata, der kan anvendes som input til en hydraulisk model, hvor både strømninger i afløbssystemet og på overfladen simuleres. Denne model beregner en oversvømmelsesprognose og holdes opdateret med hensyn til vand i afløbssystemet og på overfladen ved hjælp af regndata fra online regnmålere, som er en del af Spildevandskomiteens regnmålersystem. Resultatet af prognoseberegningen konverteres til en animation, der viser udbredelse og dybde af eventuelle oversvømmelser. Denne animation publiceres på en hjemmeside, som er tilgængelig for bl.a. beredskabet, og såfremt der beregnes vand på terræn, sendes en sms til vagthavende.

Systemet er sat op til at køre automatisk 24 timer i døgnet 365 dage om året. Såfremt der sker fejl i datakommunikation og/eller beregninger, adviseres en operatør automatisk via en sms fra systemet.

Ovennævnte prognoseværktøj er implementeret for to områder i henholdsvis Renseanlæg Lynettens og Spildevandscenter Avedøres opland. De to hydrauliske modeller, der er opstillet for disse områder, er kalibreret og verificeret med et godt resultat. Derudover er de optimeret med hensyn til beregningstid og stabilitet. I nærværende rapport er udvalgte resultater præsenteret. For yderligere dokumentation af modeludvikling og -resultater kan rettes henvendelse til Krüger A/S.

Prognoseværktøjet har været i testdrift siden slutningen af juni 2014, og modellerne har fungeret yderst tilfredsstillende. Der har været nogle fejl på kommunikationslinjerne til DMI og til HOFOR, men generelt har systemet kørt godt. I testperioden har der dog ikke været mange større regnhændelser, som kunne bruges til at teste funktionen af systemet.

Der har været udfordringer i testperioden med at lave tilstrækkeligt præcise nedbørsprognoser, og DMI har arbejdet på disse problemer siden starten af projektet. Der foreligger planer om yderligere tiltag til forbedring af nedbørsprognoserne.

Der har været afholdt workshops og informationsmøder for brugerne af systemet, hvor præsentationsmetoder af prognoser og varsling samt prognosernes usikkerhed har været diskuteret. Både Københavns Kommune- og politi, brandvæsen og beredskab har deltaget i disse.

Prognoseværktøjet kører stadig i testdrift hos Krüger. Naturstyrelsen har, ultimo 2014, bevilliget tilskud til et OMOVAST II projekt, hvilket betyder, at beslutning omkring fremtidig driftshåndtering er udskudt.

Summary

OMOVAST is a 2 year development and demonstration project, which focus on improved warning of heavy rain and torrential rain in the greater Copenhagen area and a prediction of the possible flood in terms of location and extent. The project was carried out with an aim to be able to act earlier and more precisely, when flooding can occur as a result of intensive rainfall. This will complement the long-term climate protection of greater Copenhagen and give direct help to the performance of the Emergency Management.

OMOVAST had the following objectives:

- Longer and more precise forecast of the rain.
- Warning of flood and estimate on the extent of the flooding.
- A tool that may be used in the simulation of future climate adaptation measures.
- Demonstrate the developed flood forecast tool on two areas.

Within the project is developed a forecasting tool that can deliver a 6-hour flood forecast, based on a forecast of precipitation generated by DMI's forecast model for extreme weather. The Mike Urban model is kept up-to-date, with regard to the water in the drainage system and on the surface, by means of rain data from online rain gauges. The result of the calculation is then converted to a forecast animation that shows the extent and depth of the resulting flooding. This animation is published on a website which is available for the emergency response team and if the forecast shows water on the ground a sms is sent to the emergency response team.

The flood forecast Systems is set up to run automatically 24 hours a day 365 days a year. If an error occurs in the data communications and/or calculations an operator are notified automatically via a sms from the system.

The forecast tool is implemented for the two areas located in the catchments of respectively Lynetten and Spildevandscenter Avedøre Treatment Plant. The two Mike Urban models that are set up for these areas are calibrated and verified with a good result. In addition, they are optimized with regard to processing time and stability. In this report some of the results are presented. Further documentation of the model development and the model results can be provided by contacting Krüger A/S.

The forecast tool has been in test operation since the end of June 2014 and the Mike Urban models have performed highly satisfactory. There has been some errors regarding data communication to DMI and to HOFOR but overall, the system has been running well. In the test period there has not been many bigger rain events that could be used to test the functionality of the system.

There have been some difficulties with making precise precipitation forecasts during the test period. DMI has worked on these issues and there have been significant improvements and there are plans for further actions that will improve the precipitation forecasts.

There have been held workshops and information meetings for users of the system, where methods for presentation of forecasts, forecasts uncertainty and methods of warning have been discussed. Copenhagen police, the Fire Department and the emergency response team have participated in these. The Forecast tool is still running in test operation with Krüger. The Nature Agency and the Danish Ministry of the Environment has allocated grants for an OMOVAST II project which means that the decision regarding the future operation of the system has been postponed.

1. Indledning

Projektet OMOVAST (**O**perativ **M**odel til **V**arsling og **S**tyring) er et 2-årigt 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.

Gennemførelsen af projektet var med henblik på at kunne agere tidligere og mere præcist, når oversvømmelser opstår som følge af intensiv regn. Dette vil supplere den langsigtede klimasikring af Storkøbenhavn og give direkte hjælp til det fungerende beredskab.

OMOVAST havde følgende mål:

- Længere og mere præcist varsel af regn, herunder identifikation og skelnen mellem kraftig regn og skybrud
- Varsel af oversvømmelse og estimat på omfanget heraf, så det kan anvendes af beredskab og drift
- Et værktøj, der kan anvendes ved simulering af klimatilpasningstiltag fremad, og dermed optimere økonomi og effekt
- Demonstrere det udviklede oversvømmelsesværktøj på to oplande i henholdsvis Lynettens og Spildevandscenter Avedøres (SCA) oplande.

Udviklingsprojektet OMOVAST er gennemført i et samarbejde mellem DMI, HOFOR, BIOFOS og Krüger A/S. Demonstrationen foregår for oplandene i Københavns Indre By og omkring St. Vejle Å, der er henholdsvis hårdt befæstet og mere åbent. OMOVAST forventes at sikre politi, beredskab og forsyning et varsel på op til 6 timer med opdateringer hver time.

Vejrudsigter leveres af DMI hver time. Disse bruges til at generere prognoser for vandføring og vandstand i afløbssystemet for 6 timer frem i tiden. Vandmængder, som overstiger kapaciteten af afløbssystemet, vil forårsage oversvømmelser på overfladen. Udbredelsen af disse oversvømmelser simuleres med en 2-dimensional model af overfladen og vises for brugeren via online oversvømmelseskort.

2. Projekt OMOVAST

2.1 Opbygningen 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 ud i fremtiden
- 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 2-1.

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 aktuell tilstand i kloaksystem og på overfladen - en nedbørprognose. Idet der i stedet for nedbørmålinger anvendes en nedbørsprognose som input, kan varselssimuleringen generere oversvømmelsesprognoser for 6 timer ud i fremtiden.



Figur 2-1. 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://omovastweb.sw.kruger.dk/>. Domænet er password-beskyttet i testfasen. Websiden bruger Google Earth til at vise resultaterne af oversvømmelses-simuleringerne. Disse kan kun vises med en Google Earth plugin i enten en Google Chrome 32bit- eller Firefox-browser.

Google Earth API (avanceret programmerings-interface) bruges til at kommunikere med google-tjenesten og til at skræddersy anvendelsen af Google Earth til kravene i OMOVAST.

Fordele ved at bruge API er:

- Færdig og gratis brugsret og kode jf. vilkår for anvendelse af Google Earth.
- Alle funktionerne i Google Earth kan benyttes

Websiden viser den vandstand, der forventes på overfladen i et videoformat. Endvidere vises nedbør som maksimalintensiteter.

I Figur 2-2 er websidens grænseflade og videokontrolindstillingerne vist. I toppen af siden ses titlen med tidspunktet for begyndelsen af prognosen.

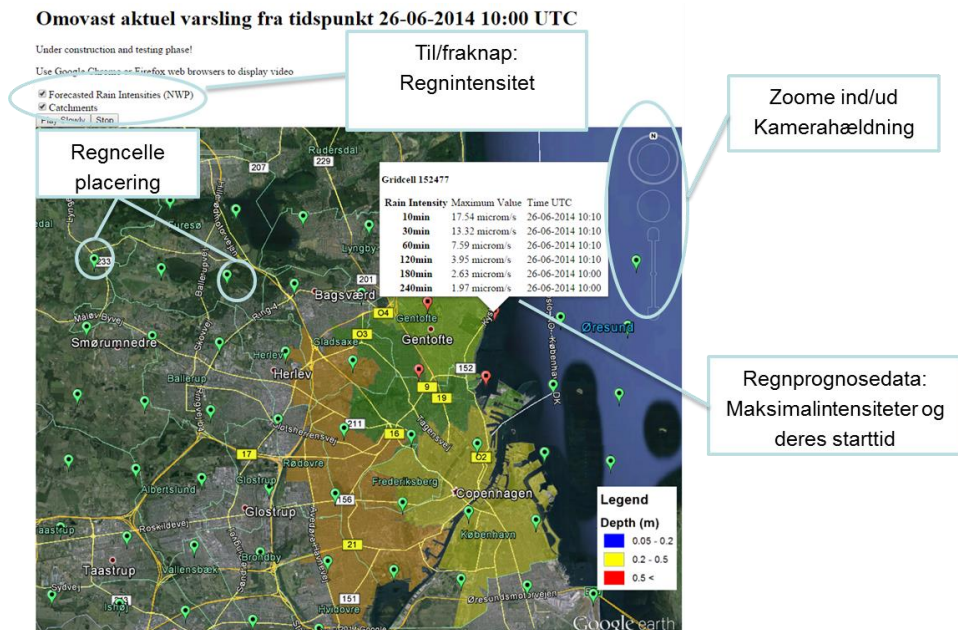


Figur 2-2. Web-interface-funktionerne for oversvømmelsesprognoser.


Indstillingerne for langsom afspilning af video og stop er blevet tilføjet. Videoen startes ved tryk på "Play slowly" eller en af de andre "Play" knapper. Videoafspilleren tillader også, at stoppe og starte afspilningen for hvert minut af oversvømmelsesprognosen for nærmere studie af resultaterne.


Den anvendte signaturforklaring for vanddybde (angivet i meter) ses nederst til højre. Vanddybder under 0,05 m (5 cm) er udeladt. Hver gang en ny video er leveret, skal brugeren opdatere websiden for at indlæse de nye prognoserresultater.

Regnintensiteter i nedbørsprognosen vises på samme webside ved at afklikke afkrydsningsfeltet, der kan findes over "Play"-knappen (Figur 2-3).



Figur 2-3. Web-grænseflade for visning af nedbørsprognosens regnintensiteter.

Nedbørprognosen genereres med en geografisk opløsning på ca. 3 x 3 km. Markeringerne  i figur 2-3 angiver centrum for hver af disse 3 x 3 km store områder. Hvis prognosens regnintensitet i et af disse områder er højere end ved en regn med en gentagelsesperiode på 5 år skifter markeringens farve fra grøn til gul. Er regnintensiteten højere end ved en regn med en gentagelsesperiode på 10 år bliver markeringen i stedet rød.

På figur 2-3 er vist et eksempel på en nedbørsprognose, hvor der i en del af området forudses regnintensiteter højere end ved en regn med en gentagelsesperiode på 10 år, . De beregnede, maksimale regnintensiteter kan ses ved at klikke på den relevante markering.

2.1.1 Håndtering af fejl

For at kunne udføre en varselsimulering er der en række betingelser, der skal være opfyldt. Hvis en eller flere af disse betingelser ikke er opfyldt er det ikke muligt at udføre en beregning. Det kunne eksempelvis være indhentning af regndata, som mislykkes, eller hvis der opstår en fejl i modelberegningerne.

For at minimere risikoen for, at en varselsimulering ikke kan gennemføres og genere en oversvømmelsesprognose, er der udviklet et online overvågningssystem, som hele tiden viser status på modelafviklingen og eventuelle fejl. Videre er der indarbejdet forskellige fejlhåndteringssystemer i OMOVAST-værktøjet. Disse sikrer, at der ved visse fejltypen alligevel gennemføres en varselsimulering og genereres en oversvømmelsesprognose, selvom alle betingelser for en ideel modelafvikling ikke er opfyldt.

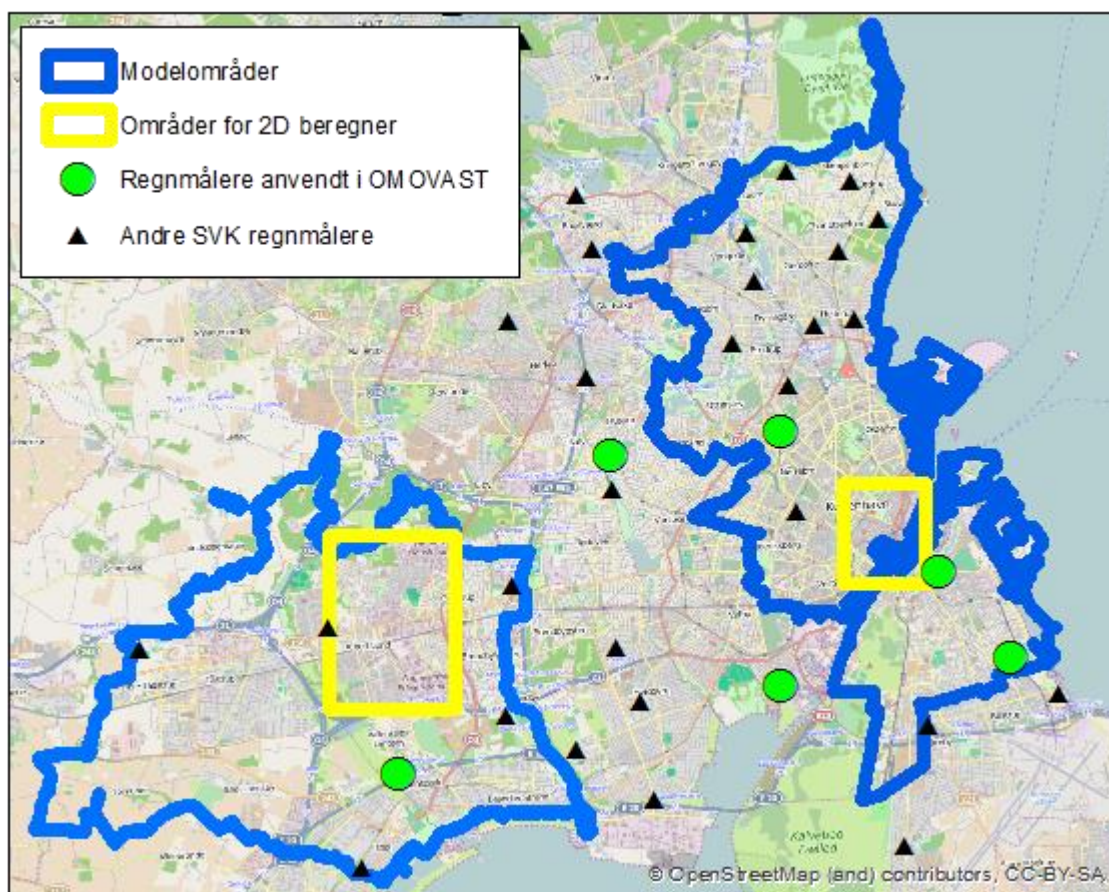
Endelig er OMOVAST sat op på en måde, så nedbørsprognose - såfremt den er tilgængelig - analyseres og præsenteres for brugeren på websiden, selvom generering af en oversvømmelsesprognose er fejlet.

En oversigt over OMOVAST-beregningerne, i form af et flowdiagram, kan ses i bilag 1.

3. Anvendte modeller og nedbørsdata

3.1 Anvendte oplande

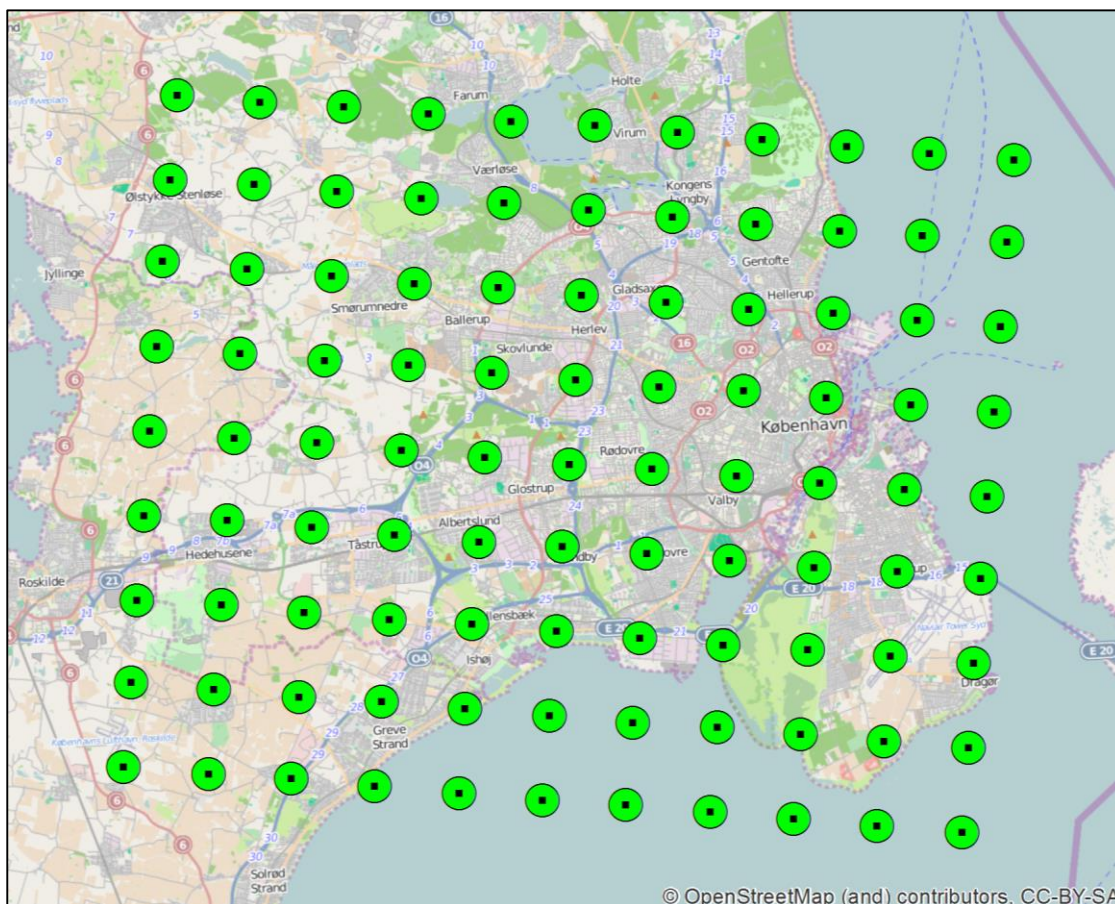
Det nye, online oversvømmelsesprognoseværktøj er implementeret i to oplande i København. Disse er vist med blåt i Figur 3-1 og omfatter oplandene til Renseanlæg Lynetten og til Spildevandscenter Avedøre (SCA). De samlede oplande til hhv. Lynetten og SCA medtages ved simuleringer af afløbssystemerne, men kun den Indre By af København og Albertslund/Glostrup (markeret med gult i Figur 3-1) er medtaget i oversvømmelsessimuleringen. Det skyldes de store mængder af data og det beregningstidsforbrug, der medgår ved denne type simuleringer. Områderne, for hvilke der beregnes oversvømmelsesprognoser, omfatter 6 km² (København) og 16 km² (Albertslund/Glostrup).



Figur 3-1. Modelområder og regnmålere, der benyttes i OMOFAST, samt andre regnmålere i SVK-systemet. Baggrund OpenStreetMap.

3.2 Nedbørsprognose

Nedbørsprognoser er genereret af DMI vha. en såkaldt NWP HIRLAM-model til kortidsforudsigelse af ekstrem nedbør. Der laves en ny prognose hver time. Data genereres, som tidligere nævnt, med en geografisk opløsning på ca. 3 x 3 km, og de leveres for området udgjort af punkterne vist i Figur 3-2. Den tidsmæssige opløsning for de beregnede regnintensiteter i hver prognose er på 10 minutter.

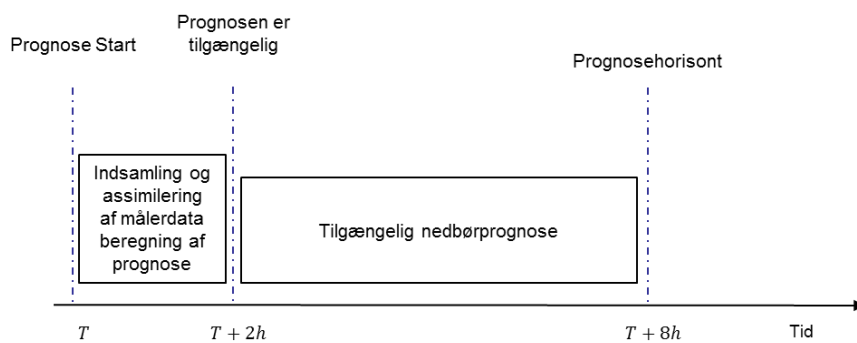


Figur 3-2. Punkter for hvilke der leveres data fra den nedbørsprognose, der anvendes i OMOVAST (baggrund OpenStreetMap).

Generering af nedbørsprognoserne kan overordnet beskrives ved to trin. Først indsamles og bearbejdes målte meteorologiske data fra den seneste 1,5 time. Med disse data startes en beregning af nedbørsprognosen i vejrmodellen. Nedbørsprognosen har det samme begyndelsestidspunkt, som de data der er indsamlet og bearbejdet i modellen. Således er den første 1,5 time i nedbørsprognosen baseret på målte data.

I det andet trin benyttes de seneste skyobservationer og radardata, som ankommer til DMI hhv. hvert 15. og 10. min. Ved hjælp af disse data tilpasses den første halve time af vejrmodellens prognose, som ikke er baseret på målte data (dvs. fra 1,5 time til 2 timer inde i nedbørsprognosen). Det tager således samlet 2 timer at genere nedbørsprognosen, hvorefter en prognose med en samlet længde på 8 timer sendes til OMOVAST-værktøjet. Idet de første 2 timer i denne prognose er gået til generering af nedbørsprognosen, bliver længden af den tilgængelige nedbørsprognose for varselssimuleringen i OMOVAST på 6 timer (Figur 3-3).

Med den omfattende dataindsamling og –behandling, som foretages i den anvendte vejrmodel, og som videre resulterer i en nedbørsprognose med høj geografisk opløsning (3 x 3 km), øges chancerne for at forudsige de kraftige, lokale regnhændelser, der typisk forekommer i Danmark i sommerperioden.



Figur 3-3. Tidsskema for online nedbørsprognoser med forventet start på tidspunkt T.

DMI har i projektperioden gennemført flere forbedringer i forhold til anvendelsen af radardata i beregning af nedbørsprognosen. Dette gælder både behandling af radardata før de præsenteres for modellen, og den måde hvorpå modellen bruger dem. Der arbejdes fortsat på modellen. Se Korsholm et al. (2014), Olsen et al. (2014) og Jensen et al. (2014) for yderligere information om DMI's prognosemodel og de forbedringer, der er opnået undervejs.

4. Generel modelopsætning

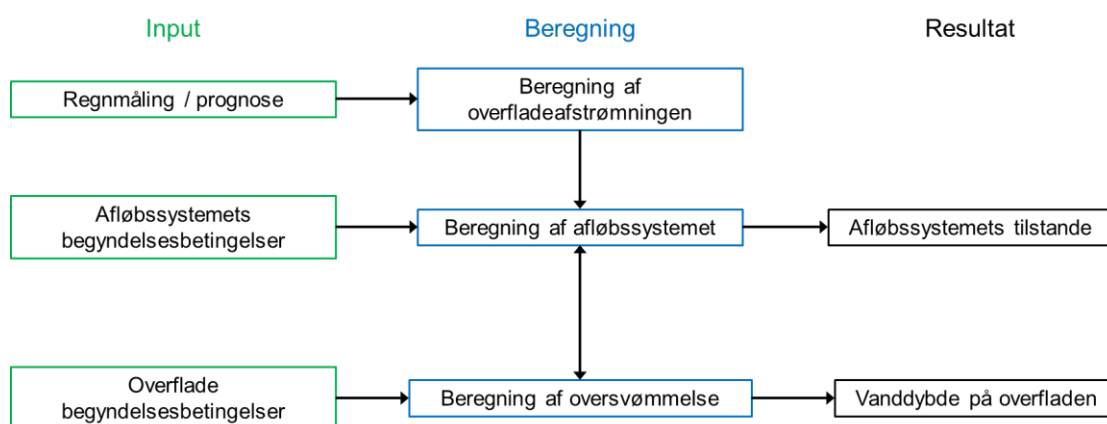
4.1 Modelsoftware

MIKE Urban blev valgt til OMOVAST-projektet, fordi det traditionelt anvendes i Danmark til beregninger af strømninger i afløbssystemer, hvorfor der også allerede var tilgængelige modeller i MIKE Urban for de aktuelle oplande. Dermed var det ikke nødvendigt at bruge tid på at oprette nye modeller.

DHI-MIKE Urban- og MIKE21-software anvendes til kombineret simulering af overfladeafstrømning, flow i afløbssystemet og strømning på overfladen/oversvømmelser. I OMOVAST anvendes MIKE Urban (MOUSE motoren) til simulering af overfladeafstrømning og afstrømning i afløbssystemet, mens programmet MIKE21 er brugt til simulering af strømning på overfladen ved eventuelle oversvømmelser.

Figur 4-1 viser en oversigt over opsætningen af modellerne. Simulering af overfladeafstrømningen udføres i en separat beregning over hele simuleringsperioden med regnmåling/prognose som input. Resultaterne fra denne simulering bruges derefter som input til simulering af hhv. flow i afløbssystemet og en eventuel oversvømmelse.

En vigtig komponent i input til beregningerne er begyndelsesbetingelserne (den aktuelle tilstand) i afløbssystemet og på overfladen hver gang en ny beregning startes. Disse betingelser genereres ud fra modellens resultater fra den forudgående beregning.



Figur 4-1. Beregningssetup og interaktion mellem de forskellige beregningsmotorer i OMOVAST.

Simuleringen af strømning/oversvømmelse på overfladen udføres i øjeblikket ved anvendelse af kvadratiske beregningsceller i beskrivelsen af modelområdet. Med denne metode er der ikke mulighed for en varierende detaljeringsgrad i forskellige dele af oplandet. Således bliver områder af mindre interesse for oversvømmelsesanalysen beregnet med den samme detaljeringsgrad som kritiske områder. Dermed kan metoden blive beregningsmæssigt ineffektiv. I OMOVAST er dette håndteret ved at ekskludere de beregningsceller i modelområdet, hvor det er usandsynligt, at der vil forekomme oversvømmelse - f.eks. på toppen af en bakke.

4.2 Opsætning af 2D overflademodel

2D-overflademodellen er baseret på de nyeste digitale terrænkort (DTM) leveret af Miljøministeriet, Geodatastyrelsen. Disse kort foreligger i den højeste tilgængelige opløsning, med cellestørrelse på 1,6 m x 1,6 m. Relevante infrastrukturelementer (f.eks. huse), der påvirker vandets strømning på overfladen, er tilføjet kortet. Yderligere databehandling er udført for at fjerne enhver form for flow-blokeringer som f.eks. forhøjede strukturer, der forbinder bygninger. 2D-overflademodellen indeholder ikke private områder (f.eks. baggårde, kældre eller underjordiske parkeringspladser). Detaljerede oplysninger om disse elementer var ikke tilgængelig under opsætningen af 2D-overflademodellen.

Den mest tidskrævende del af den samlede model er 2D-overflademodellen på grund af mængden af celler (1,6 x 1,6 m), som indgår i beregningen af det betragtede opland. Det begrænser anvendelsen af metoden i realtid, hvor kort beregningstid er nødvendig (Heinonen et al, 2013).

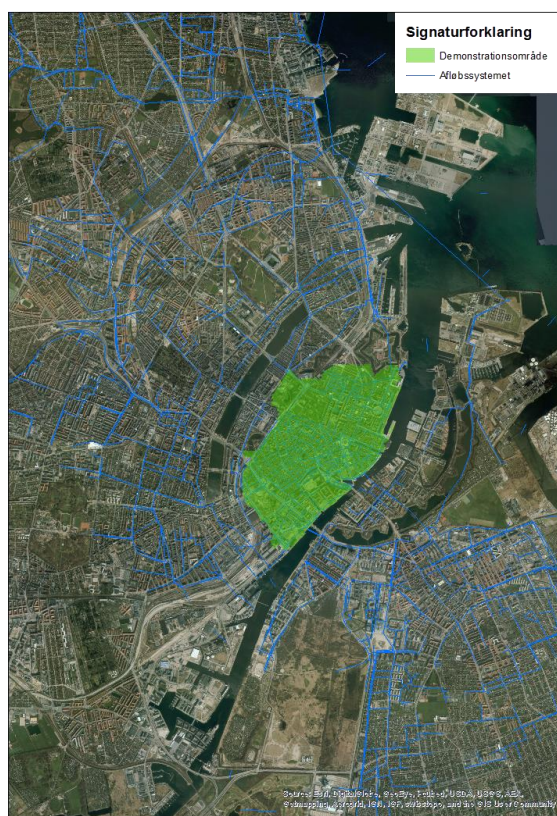
For at kunne levere varselsresultater i tide blev det digitale terrænkort modificeret til en lavere opløsning på 6 x 6 m. Med en 2D-overflademodel baseret på dette modificerede terrænkort kan OMOVAST simulere 6 timers høj regnintensitet på mindre end 20 minutter. Inden terrænkortet blev modificeret var beregningstiden ca. 2 timer.

En sådan lavere opløsning har naturligvis indflydelse på kvaliteten af simuleringresultaterne. Det medfører en vis usikkerhed i beregningen af vanddybder og omfang af en oversvømmelse, men ikke mere end at det er acceptabelt i denne sammenhæng.

5. Demonstrationsopland Indre By – Lynettens opland

Den afløbsmodel, der er anvendt for demonstrationsoplandet i Lynettens opland blev leveret af HOFOR i november 2013. Der er lavet adskillige ændringer i den udleverede model for at forbedre stabiliteten og kalibreringen.

Oversvømmelsesprognosen leveres, i Lynettens opland, for den Indre By i København, som fremhævet i Figur 5-1. Området er udvalgt i samarbejde med HOFOR, med udgangspunkt i at det er det område, der forventeligt har de største skader og skadeomkostninger ved en oversvømmelse. Det forholdsvis lille demonstrationsområde er valgt, fordi formålet med projektet var at vise et ”proof of concept” for varslingsystemet.



Figur 5-1. Området i Indre By, som er inkluderet i varslingsmodellen.

5.1 Eksterne randbetingelser

Københavns kommune har etableret en såkaldt ”skybrudsknap”, som åbner udvalgte udløb til havnen og kanalerne for at undgå/reducere oversvømmelse i byen. Skybrudsknappen aktiveres manuelt via HOFOR’s SRO-system. Det er vurderet, at denne ”skybrudsknap” har stor indflydelse på vandstanden i den Indre By, og derfor er funktionen af ”skybrudsknappen” inkluderet i modellen.

Kapaciteten af overløbsbygværkerne, der aflaster til havnen, er afhængig af havvandstanden. Online målinger af havvandstand anvendes derfor også som randbetingelse i modellen.

Informationen om aktivering af ”skybrudsknappen” og om havvandstand hentes online fra HOFOR’s SRO-system og gives som input til modellen.

5.2 Kalibrering og validering af hydrauliske beregninger

Få begivenheder, såsom den 2. juli 2011, har resulteret i væsentlige oversvømmelser, og der er derfor ikke mange tilgængelige historiske data fra oversvømmelser i Indre By i København. På grund af manglende egnede kalibreringsdata, er der til modelkalibreringen anvendt regnhændelser, som indeholdt store vandmængder, men som ikke resulterede i oversvømmelser i den Indre By. Selvom regnhændelserne ikke medførte oversvømmelser, giver de mulighed for at bestemme både spidsbelastninger og det nøjagtige tidspunkt for disse i afløbssystemet, hvilket er det centrale med henblik på at kunne forudsige en oversvømmelse.

I modelkalibrering er der kigget detaljeret på flow- og niveaumålinger i de mest relevante områder. Det er de områder, der direkte påvirker Københavns Indre By.

Modellen er alene kalibreret/valideret ved hjælp af 8 regnmålere, installeret inden for modelområdet, som er en del af SVK-regnmålnettet. Det skyldes, at prognosedata endnu ikke var tilgængelige ved projektets begyndelse.

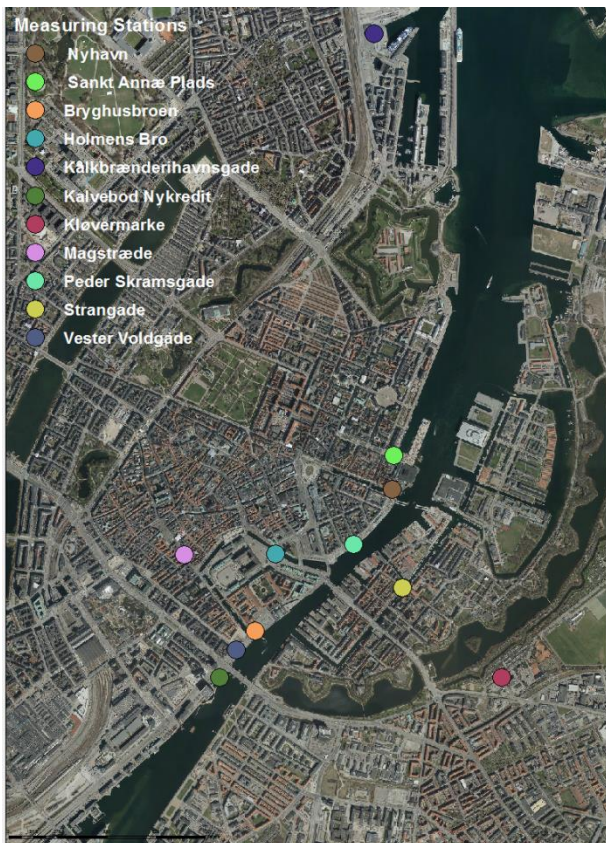
De regnhændelser, der er anvendt til kalibrering og validering af modellen, er vist i Tabel 5-1. Tabellen angiver den akkumulerede nedbør, maksimumsintensiteten pr. hændelse, hændelsesdato samt formålet hvortil hændelserne er anvendt.

Til validering af modellen er anvendt hændelsen fra 2. juli, 2011. Denne hændelse er en af de mest ekstreme hændelser, der har fundet sted i København.

Tabel 5-1. Historiske regnhændelser anvendt til kalibrering og validering af modellen for den Indre By. Maksimumintensiteten er den maksimalt observerede 1 min. intensitet ved en af målerne.

Dato for regnhændelsen	Akkumuleret nedbør (mm)	Maksimal 1 min. nedbørsintensitet ($\mu\text{m/s}$)	Formål
18/09/2013	23,3	46,2	Kalibrering
25/09/2012	45	23,3	Kalibrering
11-05-2012	21	3,3	Kalibrering
24-06-2012	49,6	16,6	Kalibrering
2011/02/07	118	50	Oversvømmelse og validering

For validering og kalibrering af modellen blev historiske måledata (flow, niveau) hentet fra HOFOR’s SRO-system og sammenlignet med modelresultater. De målestationer, der er anvendt til denne analyse, er flow- og niveaumålestationer i den Indre By. Placeringen af målestationerne er vist i Figur 5-2.



Figur 5-2. Placering af målestationer der anvendes til kalibrering og validering af den hydrauliske model for den indre by.

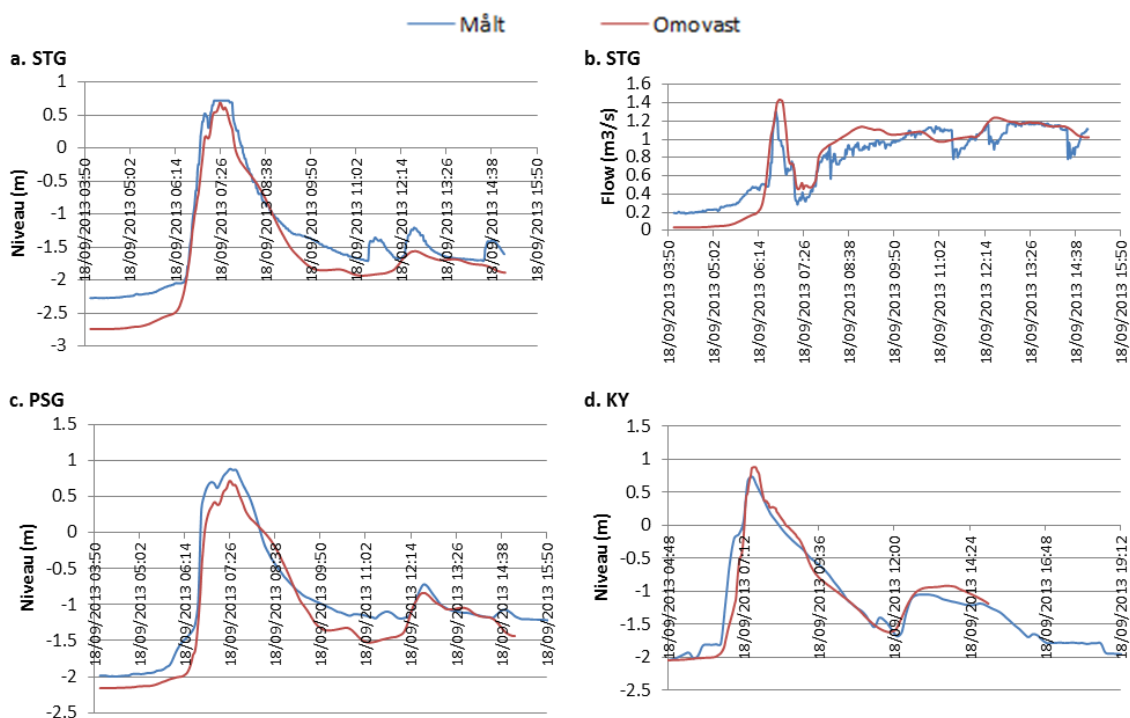
Navn og forkortelse for de pågældende målestationer findes i Tabel 5-2, sammen med typen af måling, der foretages ved den enkelte station. Målestationerne PSG, NYH, SKT, VVG, BB, and KY er beliggende i Indre By (demonstrationsoplandet), mens målestationer før og efter demonstrationsoplandet, KG, KK3 og STG, er inkluderet i analysen for at sikre, at de simulerede vandmængder ind til og ud fra området er korrekte.

Tabel 5-2. Navne på de forskellige målestationer, der er anvendt til mode kalibrering/-validering

Navn	Forkortelse	Type
Peder Skramsgade	PSG	Niveau
Nyhavn	NYH	Niveau
Kalvebod, Nykredit	KY	Niveau
Bryghusbroen	BB	Niveau
Vester Voldgade	VVG	Niveau
Kalkbrænderihavns-gade	KG	Niveau og flow
Kløvermarkens pumpest.	KK3	Flow
Sankt Annæ Plads	AP	Niveau
Magstræde	NYG	Niveau
Strandgade	STG	Niveau og flow

5.2.1 Kalibreringsresultater

Generelt giver modellen efter kalibrering en beskrivelse, som er i god overensstemmelse med den observerede vandstand og vandføring i afløbssystemet. I Figur 5-3, er vist en oversigt over udvalgte kalibreringsresultater.



Figur 5-3. Sammenligning af målt vandføring og vandstand for regnhændelsen d. 18/09/2013. (a) Strandgade, STG, vandstand; (b) Strandgade, STG, vandføring; (c) Peder Skramsgade, PSG, vandstand; (d) Kalvebod Nykredit, KY, vandstand.

Som vist i Figur 5-3 (a og b), er den beregnede vandstand og vandføring tæt på det målte ved målestationen i Strandgade (STG). Den akkumulerede målte vandføring er her 31.500 m³ imod en modelleret, akkumuleret vandføring på 33.000 m³. Betragtes Figur 5-3 (c) og Figur 5-3 (d) ses videre, at der er god overensstemmelse mellem målt og modelleret vandstand ved Peder Skramsgade (PSG) og Kalvebod, Nykredit (KY).

5.3 Oversvømmelsesvalidering

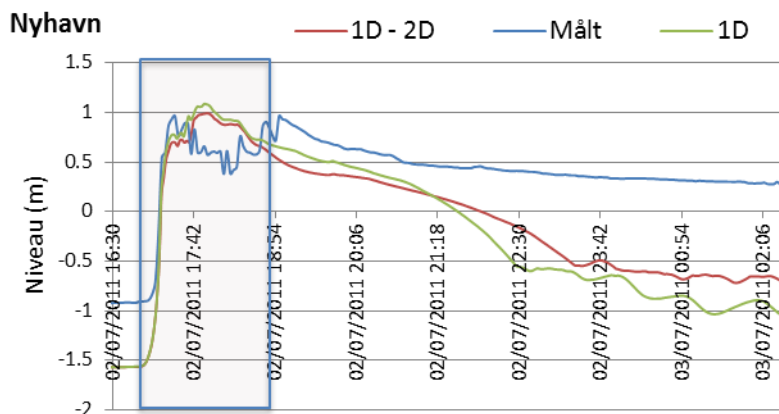
Til validering af den hydrauliske model er beregningsresultaterne for hændelsen fra den d. 2.juli 2011 sammenlignet med målte data i afløbssystemet, samt med beskrivelser af hændelsen. Til sidstnævnte er der anvendt billeder og videoer (taget af amatører) under og efter hændelsen. På den måde var det muligt at estimere vanddybder i området ud fra forskellige objekter på billeder/videoer såsom biler, mennesker, husmure mf. Der er dog et stort antal gader, hvorfra der ikke findes billeder/videoer. Ligeledes eksisterer der kun få målinger fra afløbssystemet fra denne ekstremhændelse, da størstedelen af målestationerne brød ned.

Udvalgte resultater for oversvømmelsesvalideringen er beskrevet i det følgende.

5.3.1 Nyhavn og Skt. Annæ Plads

Nogle af de få målestationer, som leverede data gennem hele regnhændelsen d. d. 2.juli 2011, var måleren ved Nyhavn (NYH) og måleren i indløbet til Sankt Annæ Plads (AP).

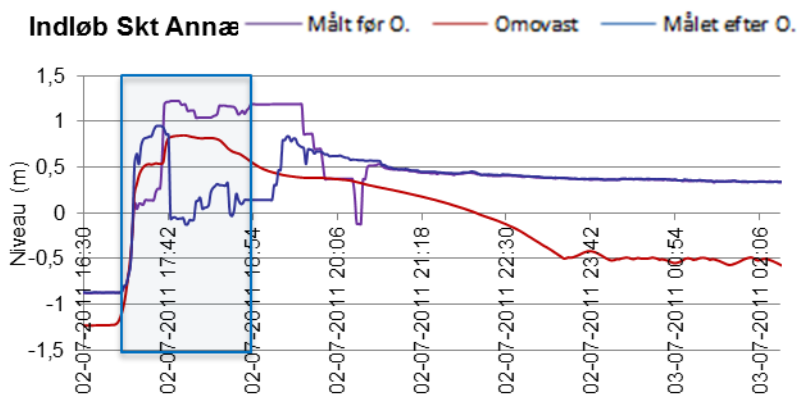
I Figur 5-4 er vist sammenligninger mellem OMOVAST 1D-resultater (simulering af afløbssystem alene) og OMOVAST 1D-2D resultater (kombineret simulering af strømning i afløbssystem og overfladestrømning), samt målinger i afløbssystemet ved Nyhavn (NYH) for perioden fra 2.7.2011 16:30 til 03.07.2011 02:06.



Figur 5-4. Vandstand målt ved NYH for hændelsen d. 2.7.2011. Målingerne (blå) er sammenlignet med simuleringer udført med afløbssystemet (grøn) og en koblet afløbsmodel med terrænet (rød).

Det der er værd at bemærke er, at modellen nogenlunde præcist simulerer tidspunktet for den maksimale vandstand i afløbssystemet. Eftersom vandstanden er korrekt simuleret ved toppen af regnhændelsen, ville den observerede oversvømmelse være forudsagt af modellen.

Figur 5-5 viser en tilsvarende situation ved indløbet til Sankt Annæ bassinet (AP), hvor måle- og modelresultater for vandstand er sammenlignet. Ligeledes her ses det, at modellen nogenlunde præcist simulerer tidspunktet for den maksimale vandstand i afløbssystemet, og den observerede oversvømmelse ville være forudsagt af modellen.



Figur 5-5. Målt vandstand og modelresultater ved Sankt Annæ Plads (AP). På dette sted måles der før og efter et spjæld (O.), der regulerer vandføringen gennem AP.

Der ses afvigelser mellem den modellerede og målte vandstand i både figur 5-4 og figur 5-5, særligt efter toppen af regnhændelsen er nået, hvor vandstanden falder hurtigere i modellen end det målte. Denne hurtigere tømming af afløbssystemet i modellen skyldes i begge tilfælde forskellige forenklinger foretaget i modellen for disse områder. Som allerede nævnt har forenklingerne imidlertid ikke nogen betydelig

indflydelse på modellens evne til at forudsige den maksimale vandstand i afløbssystemet, hvilket er det centrale i forhold til forudsigelse af oversvømmelser.

Billederne på figur 5-6 (a) og figur 5-6 (b) viser oversvømmelser på et tidspunkt under regnhændelsen d.2.7. 2011 i nærheden af Skt. Annæ Plads. Af figur 5-7 fremgår det, hvor billederne er taget.

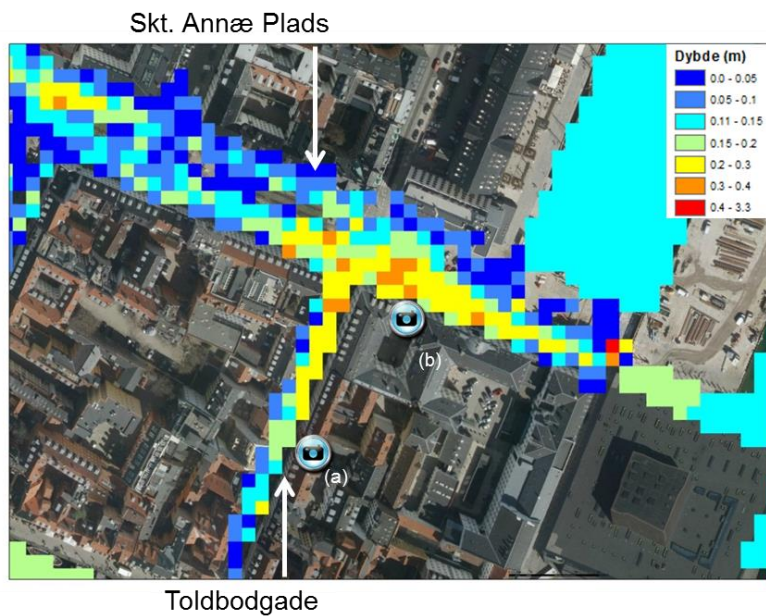
Figur 5-6 (b) viser en mand i vand til knæene, hvilket svarer til en vandstand på 0,3 m til 0,5 m. På figur 5-6 (a) er vandstanden vurderet at være lavere ud fra den liggende kegle og elboksen placeret ved indgangen til den gul-røde opgang. Det nøjagtige tidspunkt, hvorpå billederne er taget er ukendt i begge tilfælde.



Figur 5-6. (a) Billede af Toldbodgade 12 taget d. 2. juli; (b) Billede fra en video optaget ved Sankt Annæ Plads 24 under samme regnhændelse.

Figur 5-7 viser den maksimale vandstand beregnet i området, hvor billederne i figur 5-6 er taget. Det mest centrale at bemærke er, at der beregnet en oversvømmelse i hele området, hvilket også blev observeret under hændelsen.

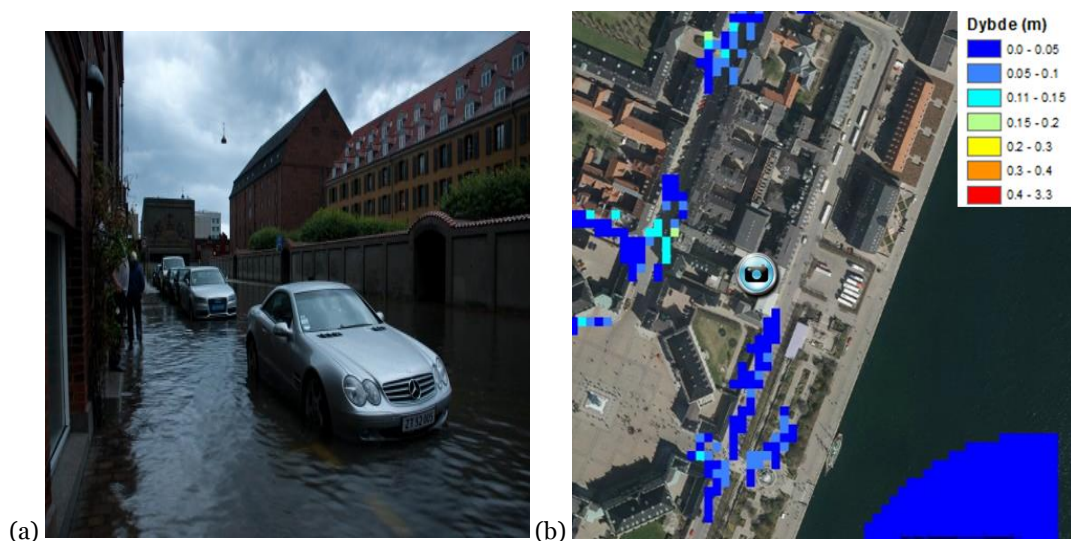
Dernæst bemærkes det, at der er en god overensstemmelse mellem den beregnede maksimale dybde af oversvømmelsen og dybden af oversvømmelsen skønnet ud fra billederne i figur 5-6. Således er der beregnet en dybde varierende mellem 0,2 m og 0,4 m på hjørnet af Tolbodgade og Skt. Annæ plads (b), som passer godt med den skønnede, observerede dybde på 0,3-0,5 m. Ligeledes er den maksimale dybde ved (b) større end i Toldbodgade ved punkt (a) – hvilket igen stemmer godt overens med billederne i figur 5-6.



Figur 5-7. Beregnede vanddybder for 2. juli 2011 på den strækning, hvor billederne fra Figur 5-6 er taget (kameraikonerne)

5.3.2 Toldbodgade

Billedet vist på Figur 5-8, er taget ved Toldbodgade 55 efter ophør af regnhændelsen d. 2. juli 2011. Det skønnes, at billedet er taget omkring 21.00, da regnhændelsen ophørte ca. kl 20.00, og der stadig er dagslys på billedet.



Figur 5-8. (a) Billede taget efter regnens ophør ved Toldbodgade 55; (b) Beregnet vanddybde samme sted kl. 21:00 den 02.07.2011

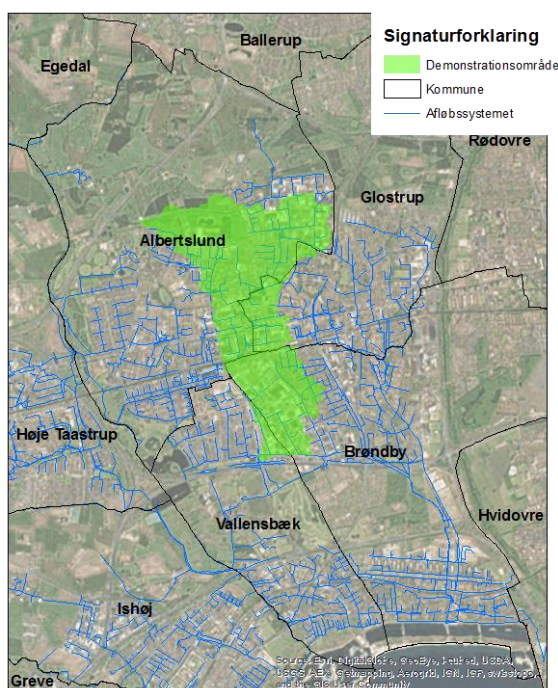
Ses vanddybden i forhold til den sølvgrå bil på figur 5-8 (a), kan vanddybden estimeres til ca. 0,2 m efter hændelsens ophør. Modellen beregner en maksimal vanddybde på ca. 0,15 m i samme område på det tidspunkt, billedet er vurderet at være taget, figur 5-8 (b).

6. Demonstrationsopland

Avedøre

Et opland til Spildevandscenter Avedøres Renseanlæg er det andet af to udvalgte demonstrationsoplande, der er inkluderet i dette projekt. Baggrunden for at vælge dette opland var, at det er et opland med meget forskellige karakteristika i forhold til demonstrationsoplandet i Indre By. Det er ikke så tæt befolket og indeholder en kombination af industriområder, områder med forretninger samt boligområder med både villaer og lejlighedsbebyggelse. Desuden er der forskellige andre interessante hydrologiske elementer i oplandet, såsom vandløb og åbne bassiner.

Valget af sådanne to meget forskellige oplandstyper skyldes et ønske om at belyse de eventuelle problemer, der måtte være ved at implementere OMOVAST-værktøjet i forskellige typer af oplande.

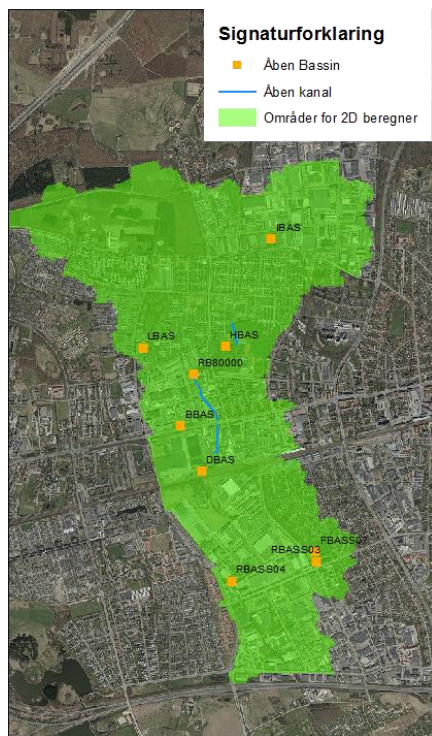


Figur 6-1. Området i oplandet til Avedøre Renseanlæg, som er inkluderet i varslingsmodellen.

Det valgte demonstrationsopland i oplandet til Avedøre Renseanlæg er vist på Figur 6-1. Oplandet er et såkaldt hydrologisk opland, hvilket betyder, at alt det vand der falder på overfladen løber ind i oplandet, mens det der falder udenfor, løber væk fra oplandet. Oversvømmelsesprognoser beregnes i OMOVAST kun for det hydrologiske opland, men hele afløbssystemet udenfor området er medtaget i modellen.

6.1.1 Oversigt over modifikationer af modellen

I den udleverede Avedøre model er der 11 åbne bassiner med betydelige volumener, mellem 2.000 til 25.000 m³ (figur 6-2 og tabel 6-1). Bassiner er fjernet fra 1D-modellen og i stedet beskrevet med terrænmodellen. Dette er gjort for at undgå, at de medtages i både 2D- og 1D-beregningerne. Det giver samtidig brugeren muligheden for at se den nuværende og fremtidige vandstand i de åbne bassiner på de oversvømmelseskort, der viser resultaterne af beregningerne.



Tabel 6-1. Sammenhæng mellem navne på de åbne bassiner, der optræder i BIOFOS's database og i Mike Urban-modellen. Det angivne volumen er taget fra Mike Urban-modellen.

Navn	Volumen (m ³)
LBAS	25.200
HBAS	8.000
IBAS	20.000
RB80000	2.170
V10R01	1.900
DBAS	12.374
BBAS	4.680
RBASS03	10.900
RBASS04	7.300
FDBSS07	5.500

Figur 6-2. Åbne bassiner og åbne kanaler inden for modellens område.

Der er flere åbne kanaler inden for oplandet, der er en del af regnvandssystemet - vekslende mellem overdækkede rør og åbne kanaler. Figur 6-2 viser de åbne kanaler med blå. De åbne kanaler er modelleret i 1D-modellen, og er i modsætning til bassiner, derfor fjernet fra terrænmodellen.

6.2 Modelkalibrering

6.2.1 Data

Til kalibrering af modellen er der benyttet nedbør fra fem regnmålere i nærheden af det undersøgte område. Midlertidige flow- og vandstandsmålestationer er installeret i oplandet til kalibrering og fremtidig validering af modellen.

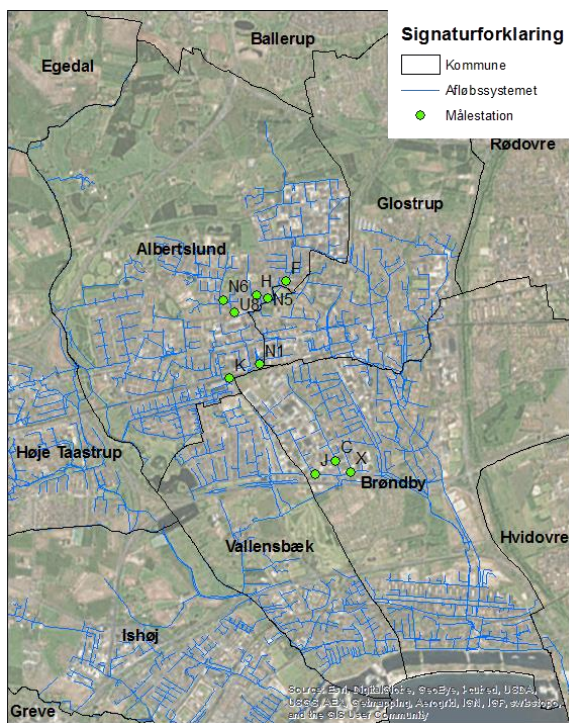
De tre største regnhændelser i perioden er brugt til at kalibrere modellen. Tabel 6-2 viser de anvendte regnhændelser med angivelse af den akkumulerede nedbør, maksimumsintensiteten pr. hændelse, hændelsesdato, samt formålet hvortil hændelserne er anvendt.

Tabel 6-2. Regnhændelser benyttet til kalibrering af modellen.

Dato for regnhændelsen	Akkumuleret nedbør (mm)	Maksimal 1 min. regnintensitet ($\mu\text{m/s}$)	Formål
31/08/2014	38	30	Kalibrering
09/09/2014	13	13	Kalibrering
15/09/2014	31	17	Kalibrering

6.2.2 Målestationer

Ti målestationer er installeret inden for demonstrationsoplandet. Disse midlertidige målestationer blev installeret d. 26/06/2014. Målestationerne består af syv flowmålere, der er installeret i de vigtigste hovedledninger, og tre vandstandsmålere installeret i åbne bassiner. Placeringen af målestationerne kan ses i Figur 6-3. Målestationernes navn og type fremgår af Tabel 6-3.



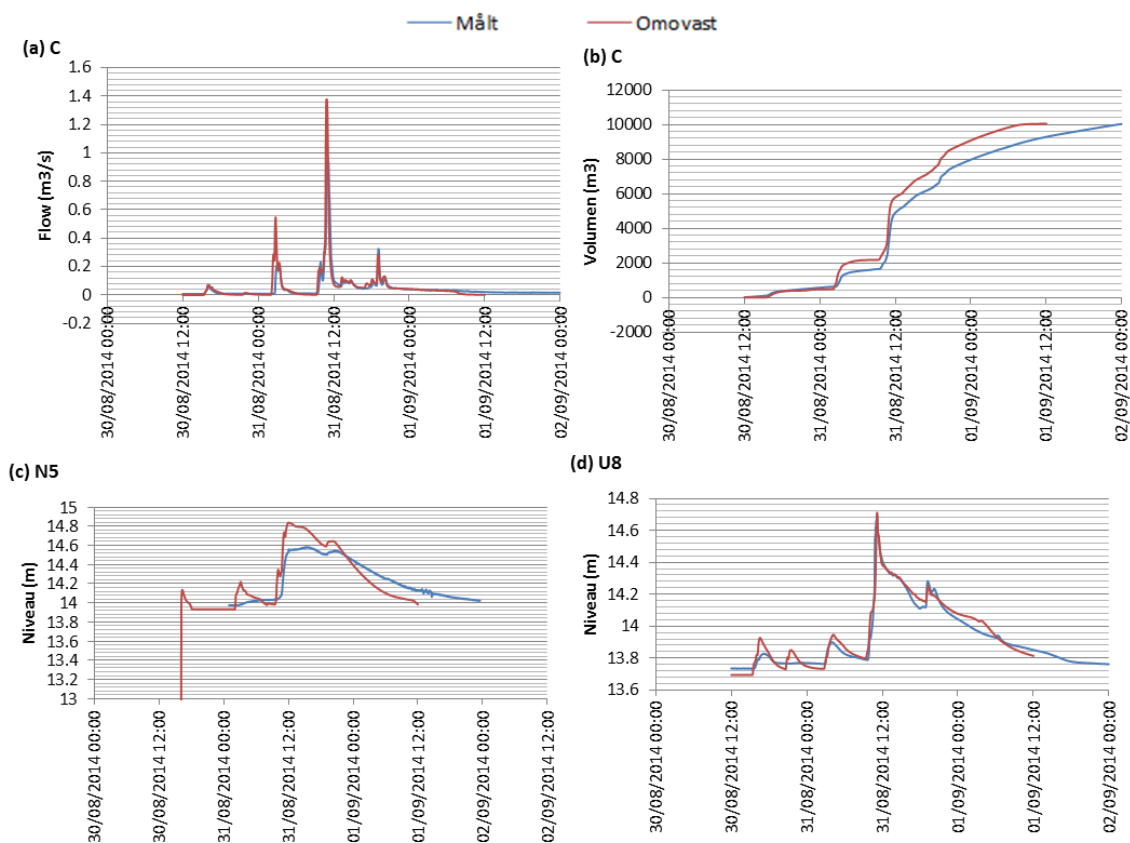
Figur 6-3. Placering af de midlertidige målestationer.

Tabel 6-3. Målestationsnavn og placering.

BIOFOS knudepunktnavn	Målestationens navn	Sensortype
DBAS	N1	Niveau
HBAS	N5	Niveau
LBAS	N6	Niveau
RAA10	C	Flow og niveau
H0004	F	Flow og niveau
H6006	H	Flow og niveau
RACo6	JØRGENSEN	Flow og niveau
E9002	K	Flow og niveau
A0008	U8	Flow og niveau
RAE04	X	Flow og niveau

6.2.3 Resultater

Alle målestationerne er sammenholdt med de beregnede værdier, og de viser alle generelt en god sammenhæng. Resultater fra udvalgte knudepunkter i afløbssystemet er vist på Figur 6-4 for regnhændelsen d. 31.08.2014.



Figur 6-4. Målinger (blå) sammenlignet med modelresultater (røde) fra regnhændelsen d. 31.08.2014 på forskellige steder; (a) flowsammenligning for knudepunkt: RAA10; (b) akkumuleret volumen ved knudepunktet RAA; (c) målt vandstand i et åbent bassin (HBA), (d) vandstanden nedstrøms for LBAS i knudepunktet A0008. Der henvises til Figur 6-3 og Tabel 6-4 for oversigt og forklaring af den benyttede navngivning.

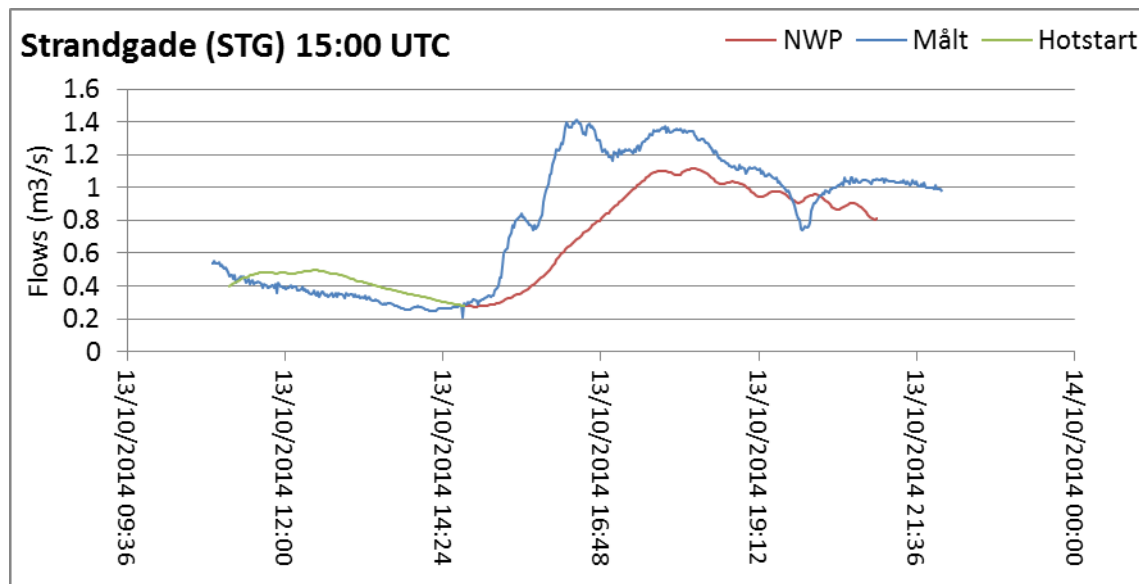
7. Erfaringen med drift af OMOVAST

Oversvømmelsesprognoseværktøjet blev sat i driftstest ultimo juni 2014 og har kørt, med mindre afbrydelser, lige siden. I hele perioden har der kun været ganske få større regnhændelser, der kunne bruges til at teste systemet. En enkelt stor hændelse var en konvektiv byge, der opstod over København. Konvektiv regn er typisk kendetegnet ved stor nedbørsintensitet, men ikke med nogen stor geografisk udbredelse. Grundet den begrænsede geografiske udbredelse kan denne type regn være ganske svær at forudsige, og regnhændelsen over København blev ikke forudsagt i nedbørsprognosen.

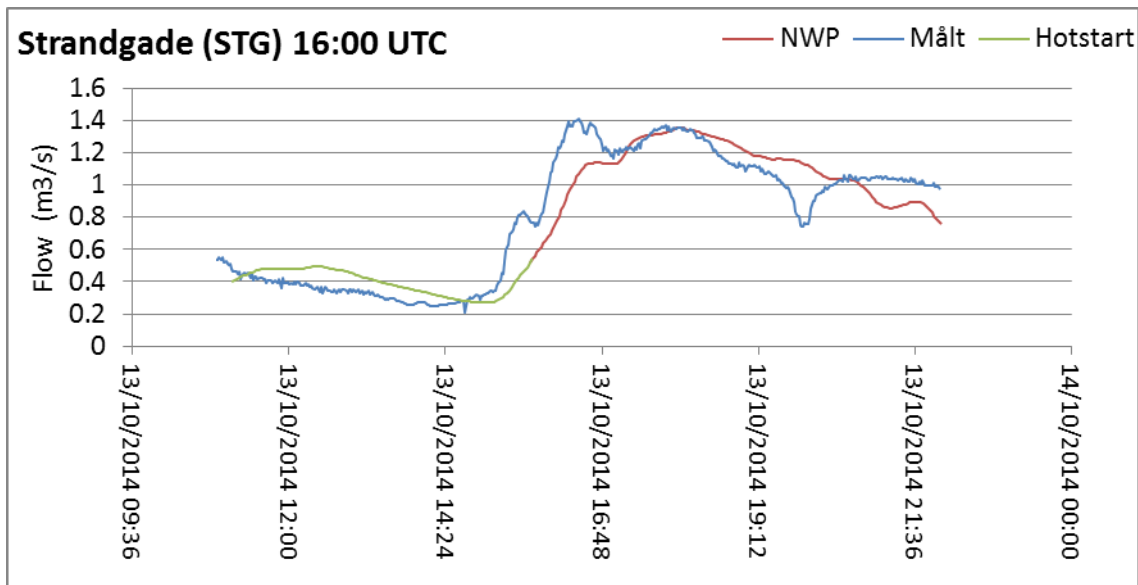
For en anden større hændelse var DMI's computer brudt sammen. For de resterende 2-3 hændelser blev der lavet nedbørsprognoser med forskellig succes, men der blev ikke beregnet oversvømmelsesprognoser pga. nedbrud i kommunikationen med bl.a. HOFOR's SRO-system. For at undgå at disse fejltypen gentages, er der implementeret et overvågningsprogram, som sender en besked, hvis der opstår fejl. Derudover er en online overvågning af datakvaliteten implementeret.

Herefter - siden oktober 2014 - har systemet kørt stabilt, men uden at større regnhændelser er indtruffet.

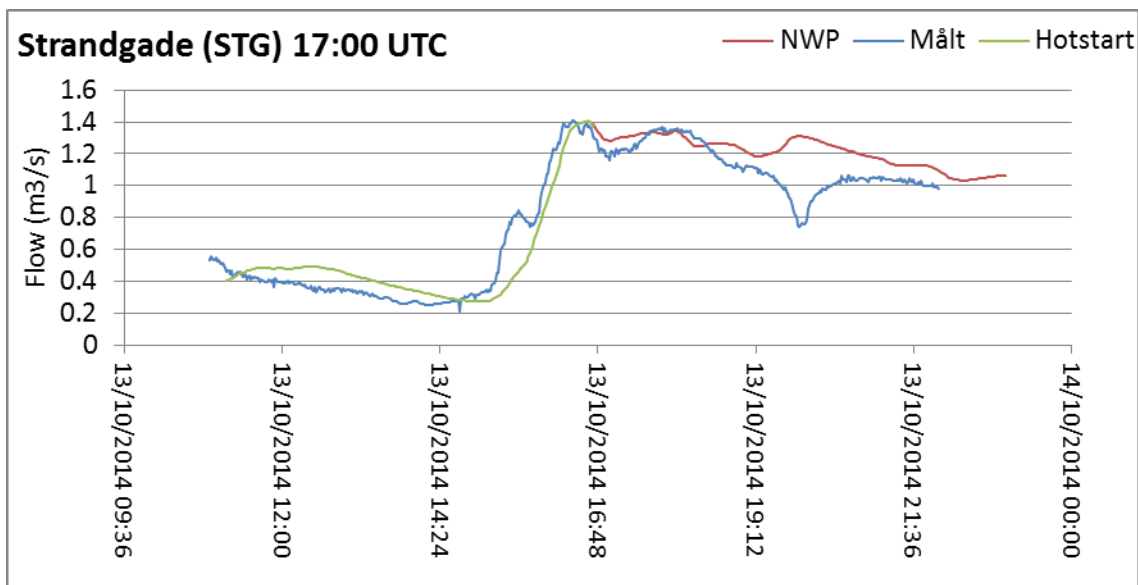
I figur 7-1 til figur 7-3 er der vist en sammenligning af målt og beregnet flow ved Strandgade den 13. oktober 2014. De tre figurer viser alle målt og beregnet flow for den samme periode. Forskellen imellem dem er således kun det tidspunkt, beregningen er foretaget på, hhv. kl. 15.00, 16.00 og 17.00, og dermed hvor stor en del af perioden, der er baseret på hhv. regnmålinger og nedbørsprognose.



Figur 7-1. Målt og beregnet flow for i hændelse den 31.10.2014 i Strandgade, København. Den blå kurve er det målte flow, den grønne er beregning af startbetingelser frem til kl. 15.00, hvorefter kurven bliver rød og viser det forudsagte flow baseret på DMI's nedbørsprognose.



Figur 7-2. Målt og beregnet flow for hændelse den 31.10.2014 i Strandgade. Den blå kurve er det målte flow, den grønne er beregning af startbetingelser frem til kl. 16.00, hvorefter kurven bliver rød og viser det forudsagte flow baseret på DMI's nedbørsprognose.



Figur 7-3. Målt og beregnet flow for i hændelse den 31.10.2014 i Strandgade, København. Den blå kurve er det målte flow, den grønne er beregning af startbetingelser frem til kl. 17.00, hvorefter kurven bliver rød og viser det forudsagte flow baseret på DMI's nedbørsprognose.

Som det fremgår af ovenstående figurer, så følger resultaterne fra beregning af startbetingelserne/hotstart (grøn) meget fint det målte flow. Modellen er altså i stand til at beregne afstrømningen i afløbssystemet i den periode af simuleringen, hvor der benyttes målte regndata. Betragtes derimod den del af simuleringsperioden, hvor nedbørsprognosen benyttes (rød), ses en tendens til, at flowet underestimeres – særligt i figur 7-1 og figur 7-2.

Dette er meget fint eksemplificeret med figur 7-1 og figur 7-3. I figur 7-1 er nedbørsprognosen anvendt fra kl. 15.00 og frem, mens der i figur 7-3 er anvendt nedbørsprognose fra kl. 17.00 og frem. Det vil sige, at de

viste resultater i figur 7-3 i perioden fra kl. 15-17 er baseret på reelle målinger af regnintensiteter. I modsætning til figur 7-1, hvor samme periode (kl. 15-17) er baseret på nedbørsprognosen forudestimerede regnintensiteter. Det ses, at i takt med at prognosens regnintensiteter erstattes med målte regndata, desto nærmere kommer det beregnede flow på det målte.

Denne observation er fundet at være en generel tendens i OMOVAST-værktøjet. Nemlig at resultaterne fra beregning af startbetingelserne (baseret på regnmålinger) følger de målte data fint, mens prognoseresultaterne oftest indeholder for lidt vand, antydende at DMI's nedbørsprognose forudser for lidt nedbør og ikke altid på det rette sted.

Der er derfor opstillet et analyseværktøj for at undersøge denne tendens nærmere, men der har ikke været kraftige regnhændelser nok til, at kunne konkludere noget definitivt herudfra.

8. Konklusion

Der er opbygget et værktøj til at generere en oversvømmelsesprognose baseret på en nedbørsprognose fra DMI, som kan beregne den resulterende oversvømmelse og publicere resultatet på en webside sammen med nedbørsprognosen.

Prognoseværktøjet består af en MIKE Urban 1D-2D-model, der holdes opdateret via online regndata og en samling hjælpeprogrammer, der dels synkroniserer alle beregningerne og dels konverterer data fra regnmålere og nedbørsprognosen til et format, der kan anvendes i MIKE Urban. Derudover er der et program, som udtrækker resultater fra prognoseberegningerne og sammensætter dem til en animation, der vises på en hjemmeside.

Prognoseværktøjet er sat op til at generere oversvømmelsesprognoser for 2 oplande. Et i Renseanlæg Lynettens opland (den Indre By i København) og et i oplandet til Avedøre Renseanlæg. For begge oplande gælder, at en MIKE Urban-model er kalibreret med et godt resultat.

Det kan konstateres, at resultaterne fra beregning af startbetingelserne (baseret på regnmålinger) følger de målte data fint, hvilket antyder at MIKE Urban-modellerne for de to oplande er så gode, at hvis DMI's prognose er nogenlunde rigtig, så vil oversvømmelsesprognoserne med stor sandsynlighed også være rigtige.

Det er konstateret, at der er udfordringer forbundet med at holde prognoseværktøjet kørende 24 timer i døgnet året rundt. Derfor er der ofret en del ressourcer på at sikre gode kommunikationslinjer, en stabil modelafvikling og på at generere en logfil, der hele tiden, og online, viser status for modelafviklingen. Opstår der fejl, adviseres en operatør pr. sms.

Der har været afholdt flere workshops og møder med en brugergruppe, for at sikre at prognoseværktøjet udformes, så forskellige brugere kan anvende det. Både politi, brandvæsen og Københavns kommunes beredskab har således været med i arbejdet. Der er ikke taget stilling til, hvordan prognoseværktøjet skal drives fremover. Dette afventer resultatet af OMOVAST II-projektet, og prognoseværktøjet vil sideløbende blive drevet af Krüger A/S.

DMI har under OMOVAST-projektet fortsat udviklingen af nedbørsprognosemodellen, samt udviklet at modellen nu også benytter radardata i beregningen af prognoserne, hvilket har øget kvaliteten af disse betydeligt.

Det konkluderes, at målet med OMOVAST-projektet til fulde er nået, og at der nu tages hul på et OMOVAST II-projekt, i hvilket funktionalitet og stabilitet søges yderligere udbygget.

Ordliste

Beregningscelle: er det punkt i en matrice, 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

Heinonen, M., Jokelainen, M., Fred, T., Koistinen, J., Hohti, H., 2013. Improved wet weather wastewater influent modelling at Viikinmäki WWTP by on-line weather radar information. *Water Sci. Technol.* 68, 499–505, doi 10.2166/wst.2013.213.

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

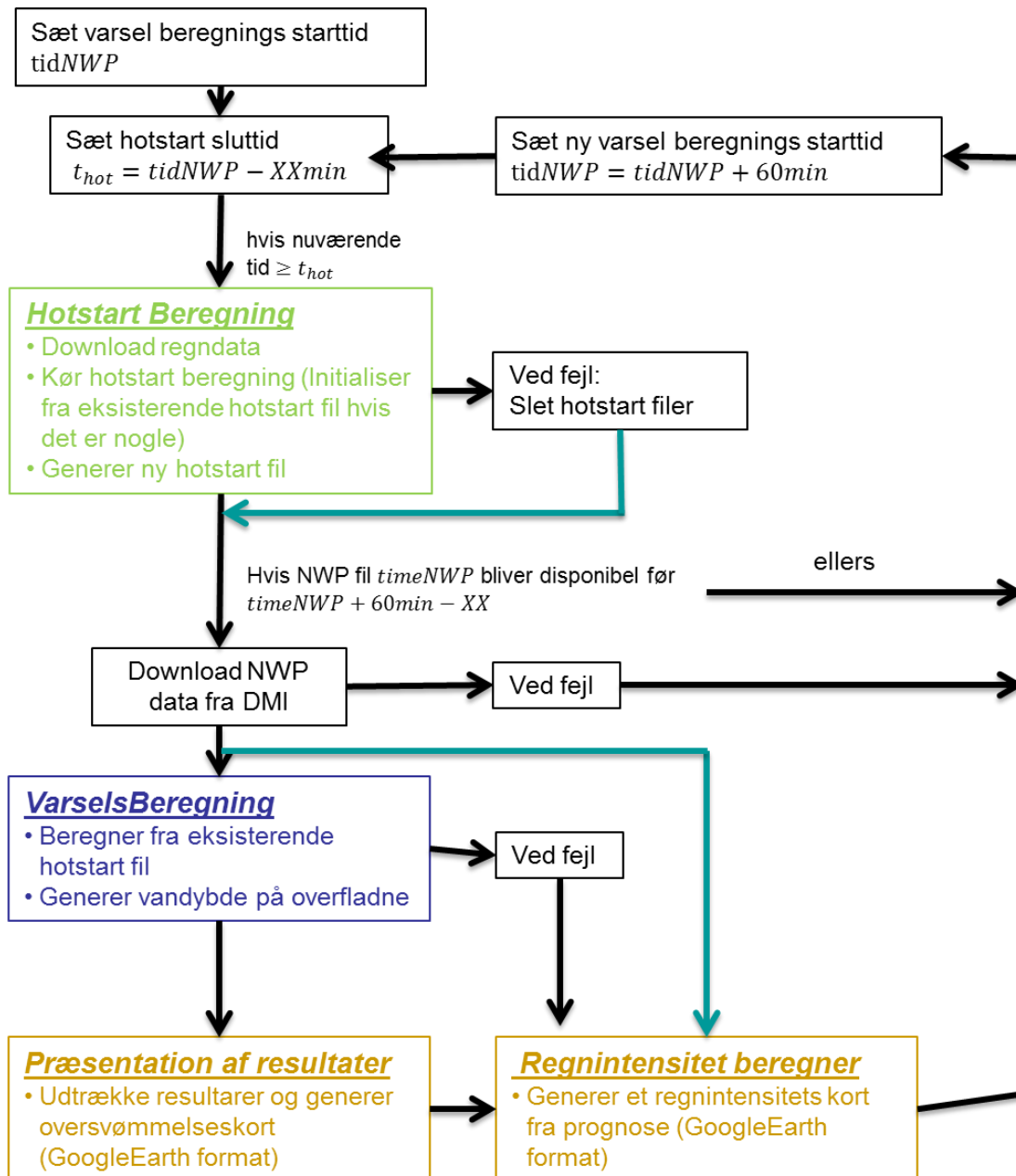
Korsholm, U.S., C. Petersen, B.H. Sass, N.W. Nielsen, D.G. Jensen, B.T. Olsen, R. Gill, and H. Vedel: *Nudging of radar precipitation via divergence adjustment in the DMI operational nowcasting model*, *Meteorological Applications*, 2014, DOI: 10.1002/met.1466

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* 2014, in review.

Bilag 1

Flowdiagram for OMOVAST

Nedbørsprognosen er i diagrammet navngivet NWP (Numerical Weather Prediction)



Omovast – Operativ Model til Varsling og Styring
Omovast – Operativ Model til Varsling og Styring

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
DK - 2100 København Ø
Tlf.: (+45) 72 54 30 00
www.nst.dk

