



## Måling af vandkvalitet i overløbsbygværker

Olesen, Lea; Mikkelsen, Peter Steen; Vezzaro, Luca

*Published in:*  
Vand & Jord

*Publication date:*  
2017

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Olesen, L., Mikkelsen, P. S., & Vezzaro, L. (2017). Måling af vandkvalitet i overløbsbygværker. *Vand & Jord*, 24(1), 9-12.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Måling af vandkvalitet i overløbsbygværker

Traditionelt set er design og evaluering af funktionen af afløbssystemer baseret på hydrauliske beregninger af strømning og magasinering af vand. En øget viden om kvaliteten af vandet der løber i afløbssystemer vil gøre det muligt at udvide disse beregninger til også at inkludere vandkvalitet og derigennem optimere designet. Kvaliteten af spildevandet har især afgørende betydning ifm. overløb fra fælleskloakerede afløbssystemer, hvor fortyndet men urensset spildevand udledes direkte til det vandlige miljø. Dette kan på kort sigt medføre f.eks. iltsvind og på længere sigt akkumulering af næringsstoffer og dermed eutrofiering. Vandkvalitet er det næste skridt i forskningen indenfor afløbsområdet, med det overordnede mål at opnå et bedre akvatisk miljø.

---

LEA OLESEN, PETER STEEN MIKKELSEN  
& LUCA VEZZARO

---

## Hvorfor skal vi måle vandkvalitet?

Overløbsbygværker er en integreret del af det danske afløbssystem, og det er generelt accepteret at der sker overløb direkte til vandmiljøet ved store regnhændelser. For mere end 20 år siden blev det klart, at overløbsbygværker og rensningsanlæg skal spille dynamisk sammen for at opnå en bedre kvalitet af vandmiljøet. Dette integrerede koncept er blevet implementeret i Vandrammedirektivet og Vandplaner. Vi mangler dog stadig en vigtig del, nemlig kendskab til forureningsmængderne som bliver udledt fra overløbsbygværker. Volumener af overløbsvand kan beregnes ved hjælp af hydrodynamiske modeller som f.eks. MIKE URBAN, men viden om kvaliteten af overløbsvandet er stadig meget begrænset.

Dette medfører at vi ikke ved hvor store forureningsmængder recipienterne reelt bliver belastet med. Større viden om variation-

erne af vandkvalitet i realtid vil medvirke til at øge mulighederne indenfor f.eks. følgende felter:

- Lovgivning: Fastsættelse af udlederkrav og evt. pålæggelse af afgifter for overløbsudledninger, som det i dag gælder for vores rensningsanlæg.
- Varsling af dårlig vandkvalitet, især ift. badevand.
- Forecasting af forureningsbelastninger ift. styring af rensningsanlæg og afløbssystemer.
- Stofbaseret styring af overløb, hvor mindre samlet belastning kan opnås ved at udlede på steder hvor vandet er relativt renere end andre steder.

## Hvordan kan vi måle vandkvalitet?

Den seneste udvikling i online sensorer gør det i princippet muligt at måle vandkvalitet med høj tidsopløsning. Dermed kan vi bedre forstå processerne der sker i afløbssystemer og beregne stofmængderne der udledes til vandmiljøet. Men måling i afløbssystemer og overløbsbygværker er i praksis ikke nemt.

Sensorer bliver oftest testet i rene miljøer (som i drikkevandssystemer) eller steder hvor

sensorerne er relativt tilgængelige og vedligeholdelsen er nem (som på rensningsanlæg). De største udfordringer ved brug af sensorer i afløbssystemer er det barske miljø hvori de skal operere. Her er sensorerne ikke kun udsat for de mange urenheder i vandet men også for kraftige flowdynamikker. Derudover medfører de ofte utilgængelige placeringer af overløbsværkerne dårlige arbejdsforhold og besværliggør den nødvendige vedligeholdelse. Figur 1 illustrerer tydeligt det meget barske miljø sensorerne udsættes for nede i spildevandsstrømmen.

Der er to måder at placere sensorer på – direkte i spildevandsstrømmen ("in-situ") eller inde i et beskyttet miljø ("ex-situ"), hvor et lille kontinuert flow af spildevandet pumpes op i et kar, hvor sensorerne er placeret. Denne form for vandkvalitetsmåling gør vedligeholdelse og rengøringen betragtelig nemmere, men samtidig må man være opmærksom på den forandring af vandkvalitet, der kan forekomme ved pumpning. Denne ændring kan normalt ikke ses for opløste stoffer, mens den ofte giver problemer for suspenderet stof.



Figur 1. Så beskidt kan en sensor være, når den har været neddykket i spildevandsstrømmen. Her er sensoren opsat på en vippearms, så den let kan rengøres. Foto: Ravi Chhetri.

### Feltstudie – Hvor har vi målt?

Et omfattende feltstudie er blevet udført ved Viby Rensningsanlæg ved Århus i perioden juni 2013 til juni 2015 /1/. En del af projektet fokuserede på at gøre beregning af overløbvolumener mere pålidelige ved at inddrage vandstandsmålinger og vandbalancer /2/, og en anden del fokuserede på at måle kvaliteten af overløbsvand /3/.

Viby Rensningsanlæg egner sig perfekt til måling af overløbskvalitet, da det har en intern overløbsstruktur, der gør det muligt at fremprovokere overløb uden skade for miljøet. Dette gjorde det muligt at installere sensorer og flowmålinger in-situ på en måde, så vedligeholdelse af sensorerne blev nem. Desuden blev ex-situ målinger testet ved at placere en container med måleudstyr ved siden af overløbet, og der blev udtaget flowproportionale prøver med en automatisk prøvetager. Der blev foretaget online sensormålinger af en række parametre både in-situ og ex-situ (ammonium, ledningsevne, pH, temperatur og suspenderet stof - TSS). Desuden blev COD, nitrat og total fosfor målt ex-situ, og en række kemiske og mikrobielle parametre blev målt på traditionelle prøver, der også blev anvendt til at validere sensormålingerne.

### Data evaluering

Figur 2 illustrerer data fra to målekampagner i regnvejrperioder og nogle af de typiske problemer, der opstår. For hver periode viser det øverste panel regnintensiteten og flowet, mens de øvrige to paneler viser ammonium og TSS koncentrationer.

I første målekampagne (august) ses en god overensstemmelse mellem målingerne fra de flowproportionale prøver og målingerne fra in-situ sensorerne, for både ammonium og TSS. Ex-situ sensormålingerne afviger dog i en del tilfælde, hvilket skyldes udfald af pumperne. For den anden målekampagne (september) var der kun et kort udfald af pumpen, og in-situ og ex-situ sensorerne viste dermed en bedre overensstemmelse. Denne målekampagne påviste dog et problem med kalibreringen af ammonium sensoren, der er illustreret ved det grønne område. Her ses det tydeligt at fejlkalibreringen af in-situ sensoren medfører en konsekvent overestimering af ammonium koncentrationen i spildevandet.

Sensormålingerne og prøverne for de gennemførte 9 målekampagner viste generelt en god overensstemmelse. For et par af regnvejrperioderne var ammonium koncentrationerne en smule for høje eller lave. Dette problem skyldes kalibreringen af sensoren, hvilket klart viser, hvor påpasselig man skal være ved kalibreringen. For TSS var det svært at validere de meget høje målte TSS koncentrationer, da ingen af de flowproportionale prøver påviste dem. For TSS data skal man derfor være mere påpasselig overfor evt. "støj" i data.

Feltstudiet viste, at for at opnå pålidelige målinger i kloaksystemet er kontinuerlig vedligeholdelse og kalibrering strengt nødvendig. Der ligger derfor mange arbejdstimer i at opnå gode målinger af vandkvalitet. Derudover er det også en fordel at kombinere sensormålingerne med statistiske rutiner, der vil gøre det muligt at opdage og varsle om poten-

tielle fejlmålinger og behov for kalibrering og rensning af sensorerne.

### Data analyse

Med omfattende dataset er der mange analyse muligheder. I de indledende analyser blev det muligt at identificere klare daglige variationer og årlige variationer forårsaget af varierende mængde uvedkommende vand /4/. Her skal man dog være opmærksom på at de fundne mønstre er stedsspecifikke og derfor svære at overføre direkte til et andet sted. Disse specifikationer blev anvendt i modelopsætningen, beskrevet i næste afsnit.

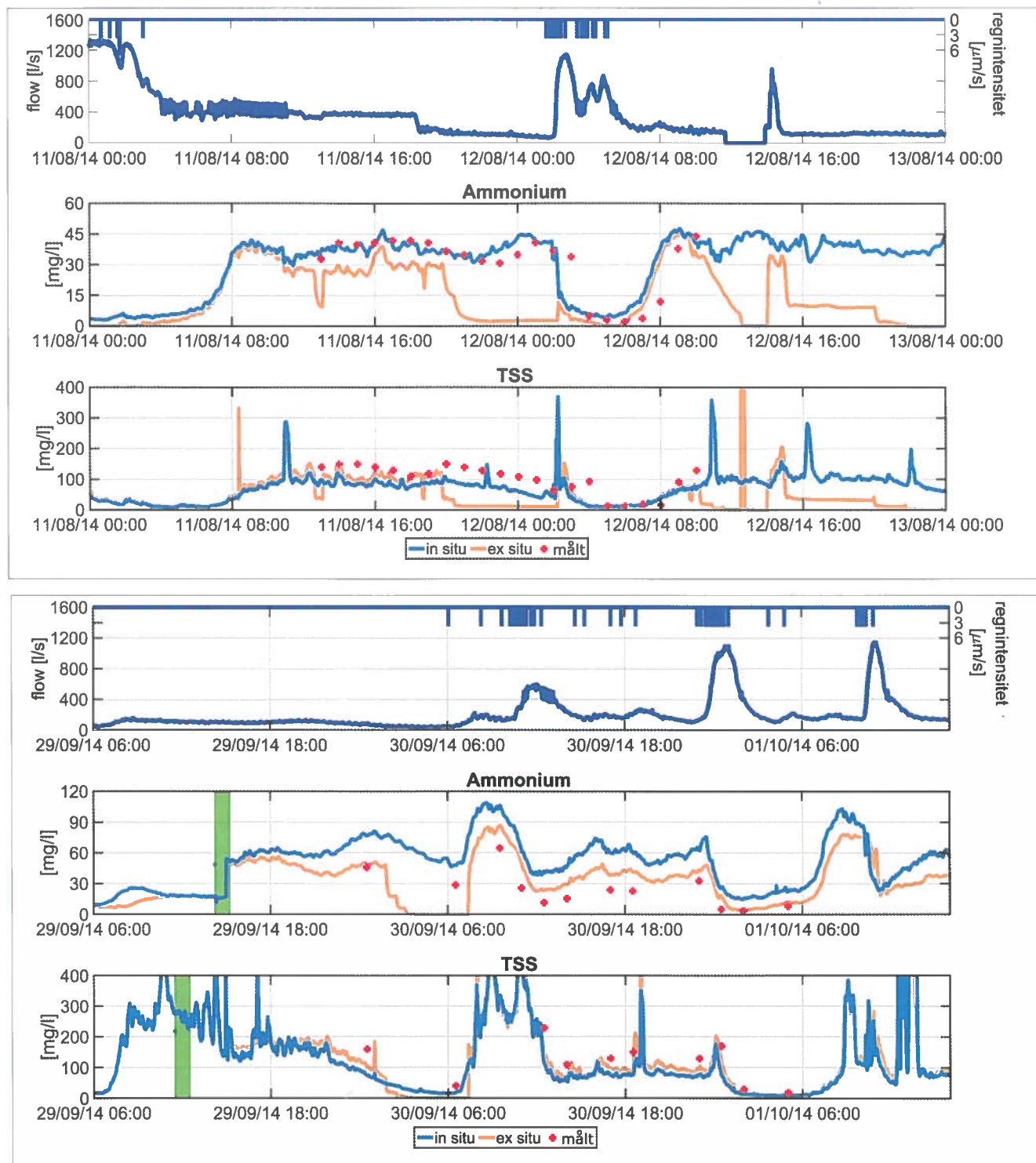
Den store mængde data baner vejen for udvikling af såkaldte "software sensorer", dvs. online modeller som kan bruges til bl.a. at erstatte manglende målinger når sensorer fejler, tjekke om sensorer skal vedligeholdelse og estimere indikatorer for stoffer som ikke direkte måles af kontinuerlige online sensorer (f.eks. tungmetaller).

For et opløst stof som ammonium har vi den om et dagligt mønster i spildevandsflow og -koncentrationer og en simpel fortyndingsberegning vist sig at være tilstrækkeligt til at forudsige koncentrationerne i overløbsvand /3/. Dette kan lade sig gøre, fordi ammonium hovedsagelig tilføres med spildevandet, og ikke også tilføres med det afstrømmede regnvand. Koncentrationer af partikler og stoffer, som påvirkes af processer som sedimentation og resuspension i regnvejr, kan ikke estimeres med disse simple metoder, og kræver derfor mere avanceret metoder.

### Modellering af vandkvalitet

Stofmålinger kan også bruges til kalibrering af vandkvalitetsmodeller, som bagefter bruges til at evaluere påvirkningen af afløbssystemet på vandmiljøet over lange tidsperioder og til at evaluere forskellige løsningsmuligheder. Vandkvalitetsmodellering er stadig i sin spæde start, og det er svært at finde modeller der formår at modellere de meget svingende dynamiker i vandkvalitet under en regnhændelse der fører til overløb. Her skal modellen kunne beskrive spildevandets flow og koncentrationer korrekt i tørvejr, samtidig med at den får det afstrømmede regnvand med. Kvaliteten af det afstrømmede regnvand varierer meget som funktion af oplandet samt regnintensiteten og den foregående tørvejrperiode.

To forskellige tilgange til modellering af vandkvalitet har været testet med hjælp af datasættet fra Viby, én hvor man bruger en hydrodynamisk model (opbygget i MIKE URBAN) og én hvor man bruger en simplificeret konceptuel model (opbygget i WEST). For



Figur 2. Illustration af måledata fra Viby for to forskellige regnejrperioder i august og september 2014. I begge tilfælde er der vist regn og flow (øverst) samt in-situ og ex-situ sensormålinger og målinger baseret på flowproportional prøvetagning, for ammonium (midt) og suspenderet stof (nederst) for en periode på 2½ døgn. Grøn farve angiver tidspunkter hvor en sensor har været kalibreret.

opløste stoffer bliver der i WEST anvendt en simpel opblandingsmodel, mens der i MIKE URBAN bliver brugt en advektions-dispersions model. Begge modeller viste lovende resultater for ammonium, og figur 3 viser resultaterne fra simuleringerne af de samme målekampagner som er vist på figur 2.

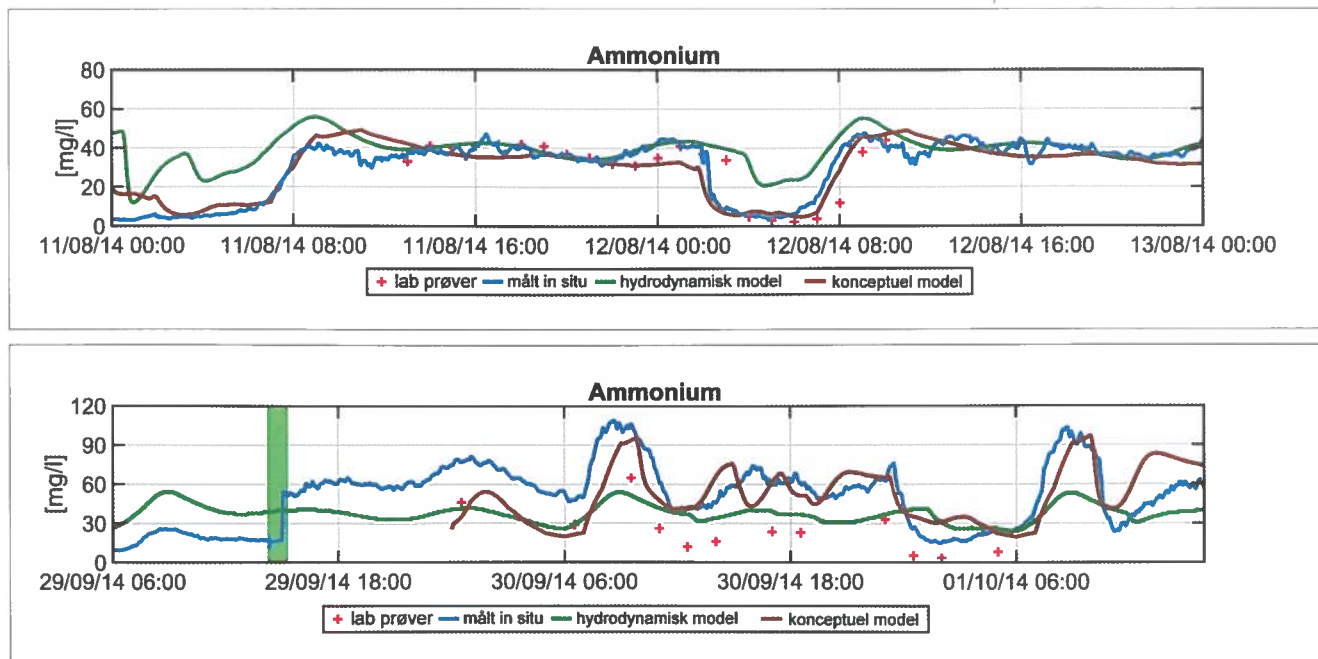
For opløste stoffer der hovedsagligt findes i spildevand har det vist sig at en konceptuel model er tilstrækkelig. Dette understøttes af

de viste grafer, hvor den konceptuelle model endda i nogle tilfælde fanger dynamikkerne i stofkoncentrationerne bedre end den hydrodynamiske model. For suspenderet stof, og stoffer der både findes i spildevand og afstrømmet regnvand, er en mere kompliceret model nødvendigt. Ingen af de nævnte modeller formåede at simulere TSS koncentrationerne korrekt. Vandkvalitetsmodellering er kompliceret grundet de meget komplicerede

processer stofferne gennemgår både på overfladen og i rørene. Især modellering af sedimentation og first flush effekter har vist sig vanskelig.

Derudover er vandkvalitets modeller også vanskelige at sætte op, da meget metadata som f.eks. information om ferier, weekender, arbejdspladser, oplands karakteristika, osv. er nødvendigt. Der ligger derfor ikke bare meget arbejde i at indhente gode måledata, men





Figur 3. Ammonium målinger for de samme to regnvejsperioder som er vist på figur 2, sammenholdt med modelberegninger ved hjælp af en detaljeret hydrodynamisk model /5/ og en simpel konceptuel model /4/.

også krævende modelarbejde i at lave en pålidelig vandkvalitetsmodel.

### Fremtidsperspektiver

Der foreligger mange erfaringer med online målinger ifm. drift af vandforsynings systemer og renselanlæg. Desværre viste det gennemførte feltstudie, at disse metoder ikke bare kan overføres direkte til afløbssystemer og overløbsbygværker, da vi her har brug for mere robuste metoder og sensorer, der er tilpasset det barske miljø. Desuden er det nødvendigt at sensorerne kan køre i lange tidsperioder uden vedligeholdelse, og at de derudover skal være nemme at bruge og vedligeholde. Det vurderes at datakvaliteten vil kunne forbedres væsentligt ved brug af automatiske statistiske rutiner, der vil kunne opdage og varsle potentielle fejlmålinger og behov for kalibrering og rensning af sensorerne. Software sensorer og egentlige modelberegninger baseret på detaljeret kendskab til afløbssystemet og aktiviteterne i oplandet vil også i en række tilfælde kunne bruges til at beregne stof koncentrationer i overløb, uden brug af online sensorer. For miljøfremmede stoffer og mikrobielle parametre er der dog brug for flere traditionelle målinger, for at afdække mulighederne for software sensorer.

Det er også relevant at overveje andre muligheder for at opnå kost-effektive vandkvalitetsdata for overløbsbygværker, samt at reevaluere hvilke parametre det er muligt at måle, hvilke parametre der kan måles indirekte (f.

eks. ved brug af software sensorer), og hvilke parametre det er tilstrækkeligt at kende approximativt. Hvis det er nok at vide om vandet er meget beskidt eller ej, for eksempel forårsaget af resuspension af tidligere aflejrede sedimenter, bør man finde en anden vej end de traditionelle sensorer eller laboratoriebaserede metoder. Det kan f.eks. være i forbindelse med vandkvalitetsbaseret styring, hvor man ønsker at udlede overløbsvandet fra de byværker, hvor forureningsbelastningen på det konkrete tidspunkt er lavest. Der ligger formentlig et stort potentiale i sensorer opstillet tørt, baseret på lyskilder og statistisk billedanalyse.

### Referencer

- /1/ Aarhus Vand, Aalborg Universitet, DTU, DHI & Krüger (2015): Avanceret måling af overløbskvalitet. Erfaringer fra AMOK et projekt støttet af Vandsektorens Teknologudviklingsfond. 34 sider plus bilag.
- /2/ Ahm, M., Thorndahl, S., Nielsen, J.E., Rasmussen, M.R. (2016): Estimation of combined sewer overflow discharge: a software sensor approach based on local water level measurements. *Water Science & Technology*, 74 (11) 2683-2696; DOI: 10.2166/wst.2016.361
- /3/ Sharma, A., Lynggaard-Jensen, A., Vezzaro, L., Andersen, S.T., Brodersen, E., Eism, N.H., Jacobsen, B.S., Høgh, J., Gadegaard, T.N., Mikkelsen, P.S. & Rasmussen, M.R. (2014): Advanced monitoring of combined sewer overflows: what to measure and how to measure. *Proc. 13th Int. Conf. on Urban Drainage*, Kuching/Sarawak, Malaysia, 7-12 Sep, 8 pp.
- /4/ Olesen, L. (2015): Lumped conceptual modelling of

CSO pollutant loads in Viby, Aarhus, Danmarks Tekniske Universitet, Kandidatspeciale

/5/ Nørgaard, A.S., Rasmussen, M.N., 2015: Water quality modelling in MIKE URBAN in Viby, Aarhus, Danmarks Tekniske Universitet, Kandidatspeciale

LEA OLESEN er civilingeniør i miljøteknologi fra DTU Miljø med speciale indenfor Urban Water Engineering. Databehandling og modelsimuleringerne vist på figur 3 er lavet i forbindelse med Leas kandidatspeciale.

PETER STEEN MIKKELSEN er professor ved DTU Miljø. Forskningen fokuserer på at øge forståelsen for de teknologiske indgrebsmuligheder og forvaltningen af urbane vandsystemer med fokus på håndtering af regnvand og afløbsteknik. Ofte indgår transdisciplinære samarbejder, der gør det muligt at inkludere en lang række yderligere emner.

LUCA VEZZARO er adjunkt ved DTU Miljø og forsker indenfor modellering af flow og vandkvalitet i integrerede urbane vandsystemer med særligt fokus på identifikation og kvantificering af usikkerhed. Dette omfatter styring under hensyntagen til usikkerhed samt on-line monitoring og validering af vandkvalitets data i afløbssystemer.

AMOK projektet blev gennemført i et samarbejde mellem Aarhus Vand, DHI, Krüger, Aalborg Universitet og DTU, og blev støttet af en bevilling fra Vandsektorens Teknologudviklingsfond (VTUF). Særlig tak til Anitha Sharma, der deltog ved planlægningen af måleprogrammet i Viby, samt til Anja S. Nørgaard og Mette N. Rasmussen der gennemførte de viste Mike Urban beregninger under vejledning af Morten Borup.