

Nr. 3

24. årgang
Oktober 2011

SPILDEVANDSKOMITEEN

Foto: Renovering af kloak i Aarhus



Indhold

Leder	3
Indbydelse til Temadag	4
Kalender	7
Samstyring af afløbssystem og renselanlæg i Aarhus	8
Lene Basso	
Fremtiden er vigtigere end fortiden	14
Michael R. Rasmussen	
METSAM	16
Tina Kunnerup	
Teknologier for Recipientafstemt Rensning af Regnvand	21
– Resultater fra det EU-støttede LIFE-TREASURE Projekt	
Thorkild Hvitved-Jacobsen	
Jes Vollertsen	
Asbjørn Haaning Nielsen	
Tove Wium-Andersen	



Udgiver

Ingeniørforeningen i Danmark – Spildevandskomiteen
Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken

Hjemmeside adresse

www.evanel.dk

e-mail adresse

eva@evanel.dk

Dette blads redaktør

Lene Basso, lba@aarhusvand.dk

Næste blad forventes udgivet

Oktober/Januar 2012

Næste blads redaktør

Jan Scheel, jns@niras.dk

Deadline for indlæg

December 2011

Redaktion

COWI A/S
Jens Chr. Skous Vej 9
8000 Århus C
Tlf. 87 39 66 00
Fax 87 39 66 60

Att.: Margrethe Nedergaard
e-mail: mao@cowi.dk

Leder

Fælles mål i spildevandssektoren – ”flere bundlinier” ...?

Spildevandssektoren har mange parter samt en række mål og krav der skal indfries. Blandt disse er krav om miljømæssig og økonomisk bæredygtighed krydret med klimaforandringer. Uanset om disse krav er modsætninger eller flere sider af samme sag, kan disse målsætninger og påvirkninger samles i en fælles bundlinie ?

Forsyningsselskaberne skal leve op til borgernes og ejernes forventninger til forsyningsikkerhed samt lokale myndigheders miljøkrav og Naturstyrelsens miljømål i form af Vandrammedirektivets Vandplaner, vejmyndighedens krav til kørselskomfort, fremkommelighed og sikkerhed.

Andre forventninger og krav der skal opfyldes/efterleves kan være Forsyningssekretariatets krav til benchmarking og prislofter der skal overholdes og stigende dokumentationskrav omkring overholdelse af tilbudsloven og EU's udbudsdirektiv.

Lad os kort forsøge, at sætte et par billeder på nogle af de forskellige krav og forventninger der stilles:

Billede 1:

Du kommer kørende og det begynder at regne - først stille, så mere intenst og går over i kraftig regn med torden og ender i et egentligt skybrud – du forsøger at køre gennem det ”lidt dybe vand” så du kan nå hjem og sikre din kælder mod vandet fra kloak og terræn og undgå, at få en uventet swimmingpool i kælderen.

Pludselig går du i stå - midt ”vandpytten” - TV og øvrige medier har fået en rigtig god historie og politikerne ønsker handling nu !. - Scenen er sat !

Billede 2:

Forsyningsselskabet vil gerne efterkomme de kommunale ejeres ønsker om, at byggemodne et større område i kommunen. Planen er at separatkloakere, gennemføre LAR-løsninger og etablere et rekreativt vådområde til opfyldelse af spildevandsplanens vedtagne målsætning. - ”To fluer med et smæk” og der opnås både en miljømæssig og en økonomisk fordel.

Planen kan dog ikke realiseres her og nu, fordi Forsyningssekretariatets udmeldte prisloft ikke rummer en mulig gennemførelse af projektet i det kommende år, på grund af de forrige års mindre anlægsmæssige aktiviteter og deraf følgende reducerede afskrivninger. - Scenen er sat !

Kendt viden, forandring i klima og fokus på virkningerne heraf, kan vi som dygtige afløbsteknikkere forholde os til, udvikle nye redskaber til og finde løsninger på. Betingelsen for at opnå gode løsninger på givne problemstillinger er, at forudsætningerne er gennemskuelige og langsigtede.

Hvad er det vi vil, hvilke mål skal vi nå og har vi en fælles ”bundlinie” – eller har Vandsektorens mange parter i realiteten flere ”bundlinier”, hvor der udstikkes forskellige kurser der efterfølgende skal navigeres efter ?

Har vi faste bundlinier/mål som vi afløbsteknikkere kan regne med - eller har vi i realiteten variable og situationsbestemte bundlinier/mål der tilpasses de aktuelle ”hot spots” og politiske fokuspunkter ?

Skifter bundlinierne ”som vinden blæser” – eller rettere ”som regnen falder” og med andre ord - som det til enhver tid gældende politiske flertal ønsker ?

Svar på dette og flere spørgsmål gives der på EVA-mødet d. 3. november. - Er du interesseret, så ses vi i Nyborg !

EVA-udvalget



EVA-udvalget indbyder til Temadag

Flere bundlinjer – flere bindinger

Torsdag den 3. november 2011
på Hotel Nyborg Strand

Der har været en stigende interesse for afløbssektoren i de seneste år. Antallet af interessenter forøges og kravene skærpes. Kunderne ønsker et sikkert system der holder vores kældre og veje tørre. Senest er forsyningsselskaberne blevet underlagt et prisloft, som regulerer økonomien og dermed rammerne for omfanget af hvilke aktiviteter de kan igangsættes, samtidigt med der skal skabes ”Grøn Vækst” og et godt miljø?

Miljøkravene bliver løbende skærpet. Vi skal have miljø for pengene, men hvordan kvantificerer vi miljø? Det er en udbredt opfattelse, at miljøet lades i stikken, når økonomien er involveret. Men forholder det i virkeligheden sådan? Man kan også stille spørgsmålet om, hvordan sikrer vi en økonomisk bæredygtig afløbsbranche? - Og hvordan sikres driften?

Vi har valgt at temadagen fokuserer på de forskellige bundlinjer, herunder økonomi, miljø og forsyningssikkerhed. Det er også de bindinger, der udgør vores daglige planlægningsarbejde - hvad enten man er hydrauliker, driftsmedarbejder, anlægsschef eller til daglig sidder med det kommunale myndighedsarbejde.

EVA byder velkommen til en spændende temadag, der giver anledning til refleksion over rammerne for det daglige arbejde med afløbssystemet, renseanlægget og de tilhørende funktioner.

Program

9:30 Kaffe/te og rundstykker

10:00 Velkomst og indledning

Kasper Juel-Berg, EVA-udvalget

10:10 Flere byer – en forsyning

I de senere år er flere forsyninger blevet lagt sammen.
Hvad er incitamenterne?
Er det de Miljømæssige gevinster, forsyningssikkerhed
eller økonomiske stordriftsfordele?

Anders Bækgaard, Direktør, Vandcenter Syd

10:35 Spildevandsplan/-er – mål, virkemidler og bundlinie

Forsyningen medvirker ved udarbejdelse af en ny spildevandsplan i et tæt sammenspil mellem myndigheder og forsyning.
Hvilke mål og ønsker har været toneangivende?
Kan de anvendte virkemidler forene forskellige mål så der sigtes mod samme bundlinie?

NN Forsyning Xx

11:00 Pause

11:15 Hvordan skaber vi en økonomisk og miljømæssig bæredygtig forsyning?

Hvordan ser fremtidens forsyning ud?
Naturstyrelsens syn på disse to spørgsmål?

Bo Skovmark, Naturstyrelsen, Ålborg

11:45 Hvordan skaber vi en økonomisk og miljømæssig bæredygtig forsyning?

Hvordan ser forsyningssektariatet sin rolle?
Hvordan kontrolleres randbetingelserne for den daglige spildevandsplanlægning?

Filip Sundram, Forsyningssekretariatet



12:05 Frokost

13:15 LCA – værktøj eller døgnflue?

Linne Marie Lauesen, PHD studerende, Svendborg Forsyning/CBS

13:40 Forsyningens ”nye virkelighed” .

Hvordan oplever driften den nye virkelighed med prisloft og større forventninger fra omverdenen til forsyningssikkerhed?

Ole Nikolajsen, Driftsleder, Aalborg Forsyning

14:05 Pause

14:30 Nordhavn – Et udviklingsområde hvor alle bundlinjer er i spil !

Nordhavn Vandpartnerskab, v. Niels Bent Johansen, udviklingschef, Københavns Energi

14:50 Adaptiv risikostyring i afløbssystemet ved ekstremregn

NN, forsyning

15:15 Afsluttende bemærkninger

Kasper Juel-Berg, EVA-udvalget

15:30 Farvel og kom godt hjem



Deltagergebyr: 1300 kr. for medlemmer af EVA
1450 kr. for medlemmer af IDA og ikke medlem af EVA
3450 kr. for øvrige
Gratis for studerende

Tilmelding: IDAs mødetilmelding, tlf. 33 18 48 18

Kalender

Faglige arrangementer for efterår/vinter 2011

Der henvises i øvrigt til de respektive kursusudbyderes hjemmesider for ajourføring af kursusdatoer, yderligere information samt tilmelding.



Eva arrangementer

- 3. nov.
- 2. feb. 2012

Teknologisk Institut

- 9. nov. Behandling af industrispildevand

Danva arrangementer

- 4. okt. Behandling og anvendelse af spildevandsslam
- 5. okt. Vedligehold på transport og rensning af spildevand
- 6. okt. Kemi
- 11. okt. Strategisk og systematisk arbejdsmiljø
- 12. okt. Funktion af afløbssystemer, når det regner
- 1. nov. Dansk Vand Konference
- 7. nov. Forsyningsområdets væsentligste arbejdsmiljøproblemer
- 9. nov. Det gode team
- 2. nov. Intensiv kommunikation
- 23. nov. Kontakten og samarbejdet med myndighederne på spildevandsområdet
- 24. nov. Nye regler og ny viden
- 7. dec. Styring, regulering og overvågning (SRO)

Ferskvandscenteret

- 3. okt. Tilsætning af polymer
- 6. okt. Ekspropriation i praksis
- 10. okt. Procesteknik 1
- 10. okt. Rådnetanke
- 12. okt. Sæt power på dit lederskab

IDA miljø

- 5. okt. Science for the environment – Environment for society
- 11. okt. REACH, CLP og hvad skal jeg?
- 24. okt. Digital miljøadministration
- 7. nov. Blå-grønne løsninger til håndtering af regnvand i byer
- 8. nov. Havmiljøet i Østersøen og Nordsøen
- 22. nov. Vandselskaberne og kommunerne
- 23. nov. Gør klager en forskel
- 1. dec. Vand- og naturindsatsen i Danmark
- 5. dec. Bæredygtig byggeri
- 7. dec. Det danske EU-formandskab



Samstyring af afløbssystem og renselanlæg i Aarhus

Aarhus Kommune har et ønske om at byens blå og grønne korridorer gøres attraktive for borgerne i kommunen. Bl.a. gennemføres store udbygningsplaner for Aarhus Havn, som undergår en forvandling fra industriområde til at blive et spændende nyt byrum med masser af boliger og forretninger. Sidste etape af genåbningen af Aarhus Å vil ligeledes bringe byen og havnen tættere på hinanden. I de store bymæssige forandringer bliver Aarhus Å og Aarhus Havn et centralt omdrejningspunkt.



Af Lene Bassø,
Aarhus Vand A/S



Figur 1:
Farverne på prøvetagningsstederne (trekanterne) angiver den målte hygiejniske vandkvalitet

Brabrand Sø bruges ligeledes som et rekreativt område, med gode muligheder for cykling, løb og ro-sport. Sidst men ikke mindst er Brabrand Sø udpeget til EU-habitatsområde, hvor man allerede i dag kan se et fantastisk varieret fugleliv.

For at understøtte brugen af byens blå og grønne kiler, iværksatte Aarhus Kommune i 2005 et projekt for at højne den hygiejniske vandkvalitet i Brabrand Sø, Aarhus Å og Aarhus Havn. I Aarhus Havn ønskes en hygiejniske vandkvalitet svarende til badevand. Af nedenstående

billede (Figur 1) ses vandkvaliteten inden opstart af projektet i 2005.

På å-strækningen imellem Årslev Engsø og Brabrand Sø er målt en hygiejniske vandkvalitet svarende til udmærket (badevand). Påvirkningen af vandkvaliteten i Brabrand Sø, Aarhus Å og Aarhus Havn sker altså fra det urbane område nedstrøms Årslev Engsø. Påvirkningen omfatter mange overløb, regnvandsudløb og udløb fra 2 renselanlæg. I tørvejr udgør udløbet fra Viby Renselanlæg og Åby Renselanlæg ca. halvdelen af vandføringen i Aarhus Å.



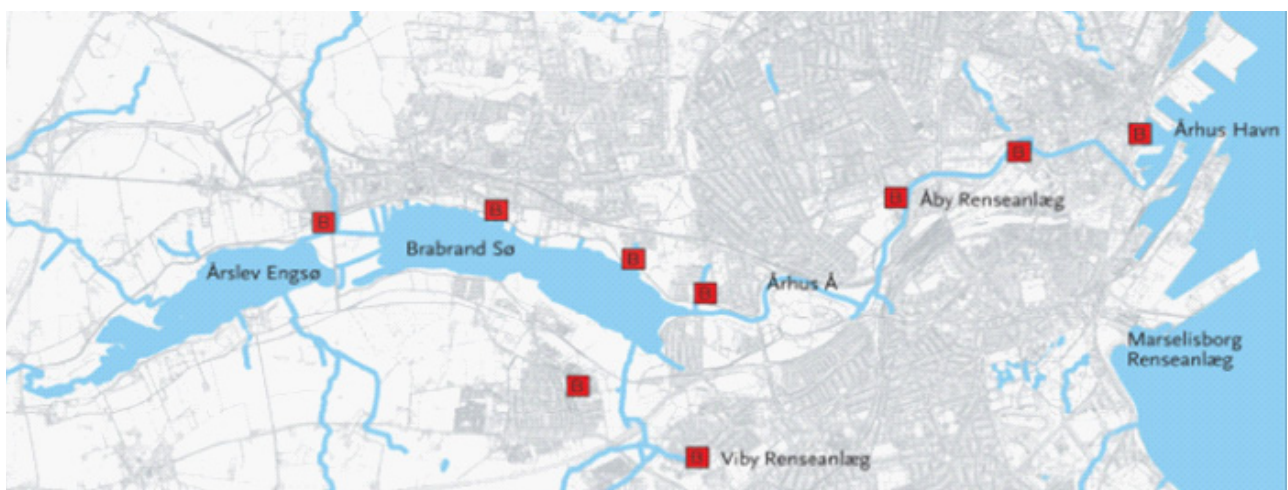
Opnåelse af hygiejnisk vandkvalitet svarende til badevand

I planlægningsfasen blev undersøgt en lang række scenarier til forbedring af den hygiejniske vandkvalitet, hvor den valgte løsning beløber sig til 344 mio. kr. Løsning omfatter følgende:

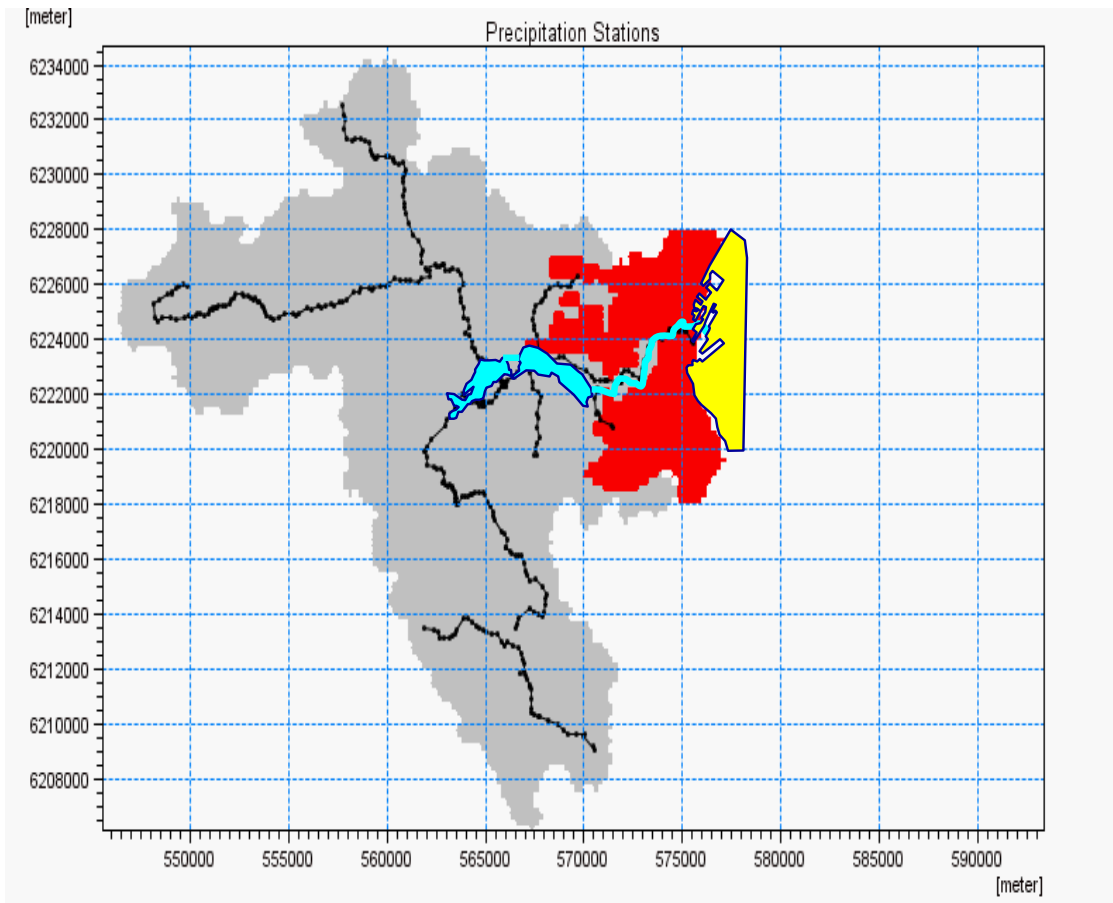
- Etablering af 55.000 m³ bassin (Figur 2)
- Hygiejnisering af rensed spildevand fra Åby og Viby Renseanlæg
- Øget efterklaringsvolumen på Åby og Viby Renseanlæg
- Real-tids modellering og styring af afløbssystem og renseanlæg
- Varslingssystem for badevandskvalitet

Ved etablering af real-tids modellering/styring af afløbssystemet og renseanlægget, kombineret med varslingssystem for badevandskvalitet, blev omkostningerne for at opfylde kravene til hygiejnisk vandkvalitet reduceret fra 640 mio. kr. til 344 mio. kr. Begrundelsen herfor er, at det er acceptabelt med 1 årlig varslet "forurening", mod kun 1 "forurening" pr. 4. år uden varsling.

Formålet med etablering af samstyring er at udnytte afløbssystem og renseanlæg mest optimalt, så vi opnår et miljømæssigt optimeret system. I forhold til det traditionelle afløbssystem og renseanlæg, vil vi udnytte kendskabet til regnsens distribution over oplandet, ved brug af regnradar. Ligesom regnradares tidlige registrering af nedbøren skal/kan anvendes til at indstille systemet på regndrift.



Figur 2:
Planlagte bassiner til sikring af hygiejnisk vandkvalitet.



Til undersøgelser af nødvendige tiltag til opnåelse af hygiejnisk vandkvalitet er anvendt et modelkompleks bestående af:

- Oplandsmodel (MIKE She) beregner afstrømningen fra det åbne land. Oplandsmodellen modtager informationer om regn fra vejrradar. Resultatet bruges i Å-modellen

- Mike Urban – modeller beregner afstrømningen fra det urbane område. Modellen modtager data fra vejrradar og spildevandsdata. Der beregnes overløb til recipienter og udløb fra renselanlæg og rengvandsledninger, som bruges til Å- og havnemodel.

- Å – modellen (Mike 11) beregner strømning og stoftransport – bl.a. E-coli. Resultatet bruges i havnemodellen.

- Havnemodellen (Mike 21) beregner E-coli koncentrationen i havnen. Den bruger randdata fra en større bugtmodel til beskrivelse af vandstandsændring.

Det er samme modelkompleks, som anvendes til on-line modelprædiktiv styring af afløbssystem og renselanlæg.

Samstyring af afløbssystem og renseanlæg i Aarhus

Ved etablering af samstyring i Aarhus Vand A/S er det nødvendigt, at kende den aktuelle tilstand for alle betydende styringshåndtag, opmagasineringsmuligheder, aflastningsmuligheder og renseanlæg, så hele systemet udnyttes bedst muligt, hvilket betyder:

- Renseanlæg modtager opspædet spildevand i den takt, renseanlægget kan behandle vandet
- Opmagasineringsmulighederne udnyttes fuldt ud
- Det opspædede spildevand aflastes ved de mest ”robuste” recipienter

For at kende den aktuelle tilstand for alle centrale punkter, er det nødvendigt at etablere pålideligt og kalibreret måleudstyr i afløbssystemet, da der tidligere hovedsageligt ”kun” har været tradition for at have måleudstyr på renseanlæggene i Aarhus.

Ved etablering af samstyring er der 3 ”hovedsystemer”: regnrader, afløbssystem og renseanlæg, som alle har vigtige funktioner, som skal koordineres indbyrdes specielt under nedbør. Kort beskrevet er de 3 systemers hovedopgaver at:

- VR (VejrRadar) gør AS (AfløbsSystem) og RA (RenseAnlæg) opmærksom på at det vil begynde at regne, og giver om muligt et estimat på intensitet og type
- AS og RA vælger kontrolstrategi
- RA estimerer/forudsiger max. hydraulisk belastning på biologisk del (ud fra valgt kontrol strategi)
- AS forudsiger resulterende flow til renseanlæg (ud fra valgt kontrol strategi)
- AS og RA forhandler ændringer i set-punkter (kan resultere i lokalt mindre optimal drift)
- VR sender estimater på intensiteter
- Loop

Ved etablering af samstyring i Aarhus er der en forventning om, at vi opnår følgende forbedringer:

- Minimering af aflastningerne til recipienterne, specielt med fokus på sikring af hygiejnisk god vandkvalitet/badevand
- Udnytte magasineringmulighederne mest optimalt
- Styre aflastningerne til de mindst sårbare recipienter
- Minimere den samlede udledning af næringsalte
- Sikre varsling af borgerne om badeforbud
- Forhindre kælderopstuvning
- Minimere antallet af terrænoversvømmelser og styre dem til ønskede lokaliteter.
- Sikre et optimalt indløb på renseanlægget både hydraulisk og stofmæssigt
- Minimering af driftsudgifterne herunder strøm og kemikalier

- Opretholde et robust og driftsikkert afløbssystem og renseanlæg
- Håndtering af flow i forbindelse med planlagte saneringer/vedligeholdelsesarbejder
- Håndtering af flow i forbindelse med uforudsete nedbrud i systemkomponenter f.eks. pumpevig

Samarbejde - selvfølgelig

I Aarhus Vand A/S har der fra projektets start været stor fokus på at vi, som planlægnings- og driftsansvarlig, selv skal kunne drive og ajourføre hele styrings-setupet, så Aarhus Vand kan lave nye udbygningsforslag inkl. styringer og implementere disse i vores modelsetup og SRO. Vel at mærke så vore medarbejdere har setupet inde under huden.

Derfor er projektet udbudt som et partneringsprojekt, som gennem alle projektets faser har været bemandet med såvel planlægnings- som driftsmedarbejdere fra Aarhus Vand og medarbejdere fra Krüger/DHI. Vi har igennem projektet erfaret, at dette giver en fantastisk synergi, f.eks. ”afprøver” driftsfolkene planlæggernes oplæg til styringer allerede inden de implementeres. I Aarhus Vand har dette givet et stort ejerskab til projektet for medarbejdere i afdelingerne ”Plan og projekt” og ”Drift og Vedligehold”.

Vi tror på, at nøglen til succes for dette projekt i Aarhus Vand er samarbejde på tværs af organisationen. At implementere ”Samstyring af afløbssystem og renseanlæg” er og bliver en tværfaglig driftsopgave uden afslutning, da vi løbende skal ajourføre, kalibrere og vedligeholde modellerne og styringerne. Det bliver dog også et projekt, som vil give os meget viden om systemets aktuelle tilstand.

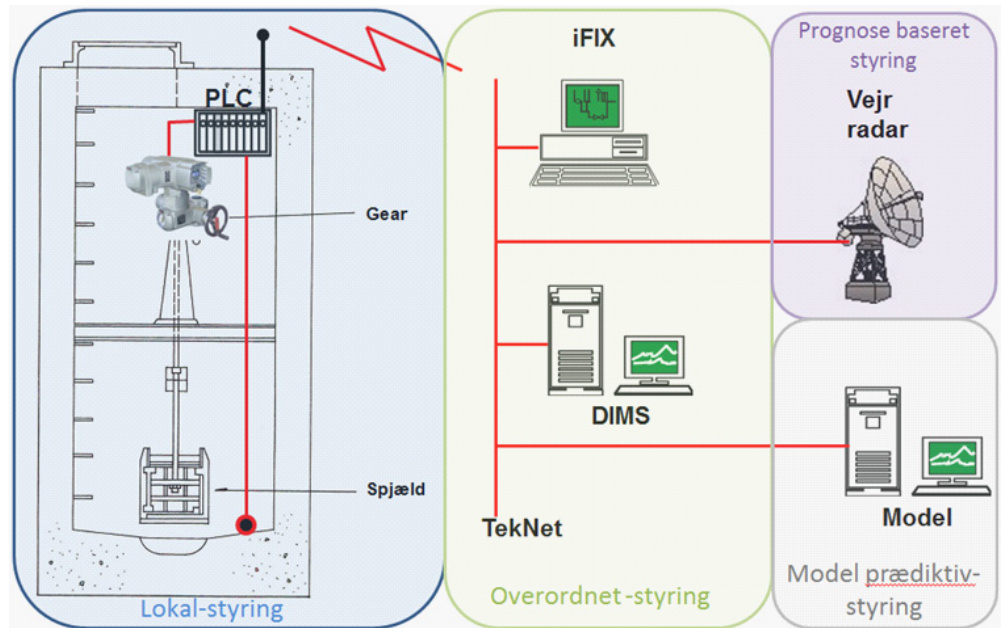
Princip for styrestrategi og ajourføring

Styrestrategien er opbygget af en lokalstyring og en overordnet styring, der henvises til (Figur 3).

Den overordnede styring har til formål at udnytte afløbssystemet og renseanlæggene optimalt ved at ”flytte” rundt på vandet. Dette betyder f.eks. at den overordnede styring forsøger at opnå samme fyldningsgrad for bassinerne. I beregning af fyldningsgraden indgår en omkostning for aflastninger, således det bliver ”dyrest” at aflaste ved de mest følsomme recipienter. I fyldningsgraden indgår ligeledes tilstrømningen til bassinet og videreførende vandmængde fra bassinet.

Den overordnede styring kan drives med og uden informationer om regnprognose fra regnrادaren. Prognosen beregner en fremtidig tilløbsvolumen til bassiner og renseanlæg, hvilket vil give en bedre styring.

Ligeledes kan den overordnede styring drives med og uden modelkompleks. Uden modelkomplekset vil styringen bliver mere grov, da f.eks. nedbørmængderne fordeles ensartet over hele oplandet, og der tages ikke hensyn til eventuelle forsinkelser i afløbssystemet. Med modelkomplekset kan anvendes en bedre overfladebeskrivelse, og der kan gives et bedre estimat på en optimal ”fordeling” af vandet i afløbssystemet.



Figur 3: Styringsniveauer.

Den lokale styring har til formål at sikre et acceptabelt stuvningsniveau i afløbssystemet. Den lokale styring vil altså forsøge at opfylde ønskerne fra den overordnede styring om at ”flytte” vand rundt i systemet indtil stuvningsniveauet i afløbssystemet når et kritisk niveau, hvorefter den lokale styring automatisk nedjusterer ønskerne fra den overordnede styring til et acceptabelt niveau. Lokalstyringen er den styring, som ligger programmeret i PLC'en til styringshåndtaget. Oftest er de vigtigste sensorer der indgår i de lokale styringer hårdtforrådet til PLC'en.

I (Figur 4) ses framework for styringen. Yderst til højre i figuren ses Framework-Drift, som er platformen for ”den virkelige verden”. Af figuren ses et grønt område, som er hele opbygningen i DIMS (SRO/dataopsamling). I Dimsen programmeres den overordnede styring, som så henter informationer om systemets aktuelle tilstand og sender ønskede flow-setpunkter til styringshåndtagene via lokale PLC'er. Den lokale styring er programmeret ned i PLC'erne, dog sker der en omregning fra ønskede flow-setpunkter til niveau-setpunkter inden informationen sendes til PLC'en.

Af (Figur 4) ses ligeledes Framework-Plan og Framework-Light. Framework-Light er en platform, som kan bruges på den lokale PC uden adgang til det tekniske netværk og DIMS-systemet. Tanken med Framework-Light er, at her

bearbejdes nye udbygningsforslag enten af en medarbejder i Aarhus Vand eller en ekstern rådgiver. Når de nye tiltage er gennemarbejdet med eventuelle nye styringer og de ønskede målsætninger er opfyldt, så afleveres model-setupet til Framework-Plan.

Framework-Plan er en platform placeret på det tekniske net, hvor opsætning er identisk med Framework-Drift. Herved sikres at dataflow, navngivning, styringer og målsætninger bliver testet og kontrolleret bedst muligt inden implementering i Framework-Drift. I Framework-Plan testes f.eks. at styrestrategierne opfylder målsætningerne, som i online situationen ikke kan baseres på statistik grundet manglende kendskab til bl.a. regnens gentagelsesperiode. Det bliver en ”manuel” proces at flytte styrestrategi og modelsetup fra Framework-Plan til Framework-Drift, da alle relevante medarbejdere skal have kendskab til at systemet opfører sig anderledes, før det eksekveres.

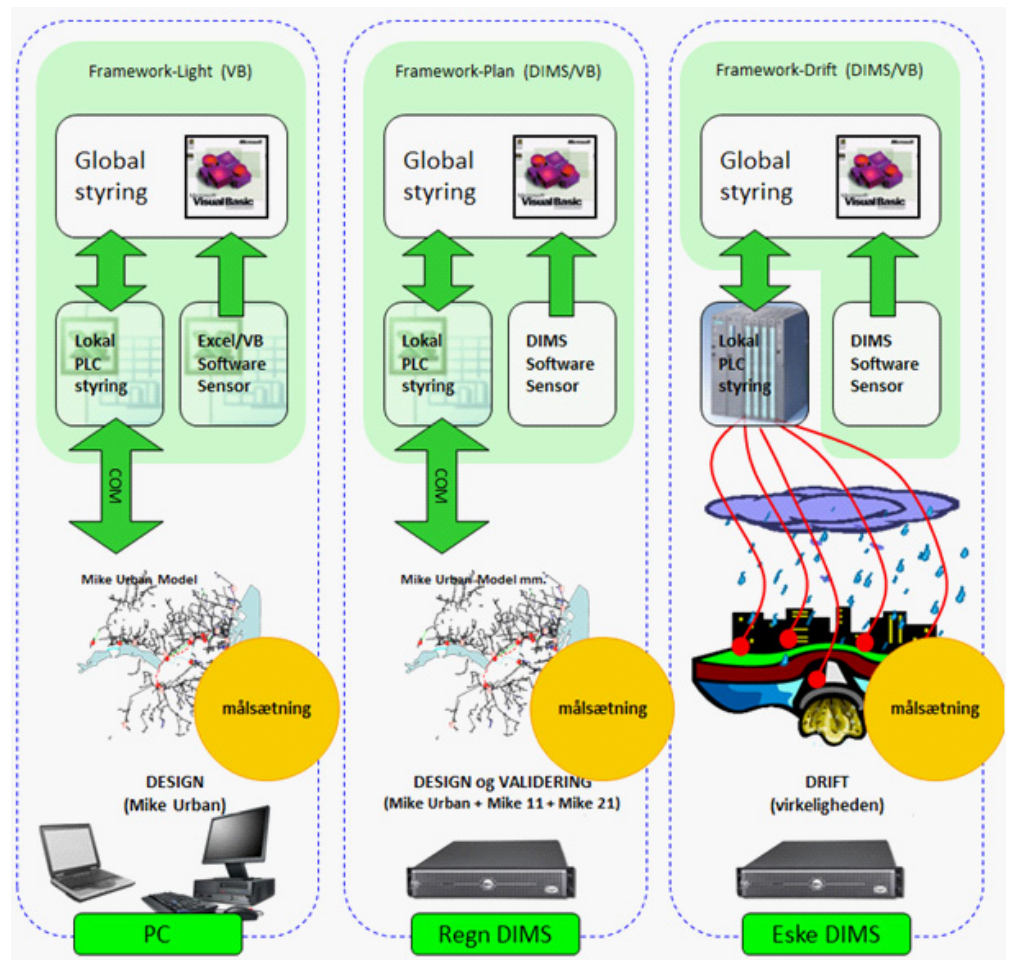
Ved denne 3-trin proces for implementering af nye styrestrategier forventer vi at fejl og utilsigtede driftsforstyrrelser minimeres.

Tilbagefaldsstrategi og nødstyring

Ved online styring er systemet afhængig af at nedenstående kriterier er opfyldt:

- Store mængder data kommunikeres rundt i systemet, så den aktuelle tilstand kendes
- Sensorer skal være kalibrerede, så data er bedst mulige
- Kontakt til sensorer og styringshåndtag eksisterer
- Kontakt til regnradaren, da denne giver information om regnens udbredelse og intensitet
- Modelsetup er i drift
- PLC er i drift
- Dims er i drift
- Strømmen ikke svigter
- Og mange flere faktorer

Ovenstående er blot nogle kriterier, som ikke nødvendigvis er opfyldt på regnvejrsgade. Derfor arbejder vi med tilbagefaldsstrategier på flere niveauer, hvor tilbagefaldsprincippet er kort beskrevet i nedenstående.



Figur 4: Framework for styring.

Den overordnede styring designes således, at det er acceptabelt, at enkelte sensorer er ude af drift. Såfremt betingelserne for den overordnede styring ikke er opfyldt eller den overordnede styring ikke kan kommunikere med PLC'erne via IFIX, vil systemet automatisk koble på lokalstyringen. Lokalstyringen er opbygget ud fra nogle vandstands-betingelser, som sikrer, at der ikke sker utilsigtet stuvning i systemet. Såfremt lokalstyringen mangler informationer fra sensorer indstilles håndtaget til en sikker drift uanset vejrlig.

Det enkelte styringshåndtag er ligeledes udstyret med en nødstyring i tilfælde af strømsvigt, som sikrer at håndtaget indstilles til sikker drift uanset vejrlig.

Afrunding

Opbygningen af et styresystem som vi har valgt i Aarhus Vand kræver en stor indsats fra mange medarbejdere i egen organisation og fra eksterne rådgivere. Vi har dog været i gang med at forberede denne proces i mange år, da vi allerede havde følgende forudsætninger klar inden opstart:

- Godt kendskab til eksisterende system
- Hydrauliske modeller for oplandet
- Opbygget en ensartet SRO-struktur hvor alle hovedstationer er koblet sammen i et net
- Indsamlet måledata i fælles database (Opbygning af en god struktur i navngivning og placering). Dette er en løbende proces, som vi forsat arbejder med.
- Validering og kalibrering af indsamlede data, da disse data anvendes til valg af kontrolstrategi. Dette er en løbende proces, som vi forsat arbejder med.
- Vedligehold og drift det eksisterende system, så systemet opfører sig som forventet (Kontraktlapper, pumpestationer, måleudstyr, spjæld, overløb og bassiner m.v.). Dette er en løbende proces, som vi forsat arbejder med.
- Trimmet/optimeret eksisterende renseanlæg
- Sikret et robust driftsikkert system

I Aarhus Vand A/S har vi med dette projekt skabt et spændende samarbejde på tværs af organisationen, som vi glæder os til at se resultatet af i begyndelsen af 2012.

Fremtiden er vigtigere end fortiden

Bag denne finurlige overskrift ligger den observation, at vi i afløbstechnikken i høj grad har kigget i historien når vi skal give et bud på, hvordan afløbssystemet skal dimensioneres til fremtiden. Baseret på historiske målinger af nedbør forsøger vi at gætte på hvor store regnskyl afløbssystemet skal håndtere. Selv når vi skal prøve at medregne kommende klimaændringer, er det beskrevet som en procentdel af fortidens regn. Der er imidlertid ingen garanti for, at dimensionsgivende regnhændelser optræder med den hyppighed som vi antager – de kan komme hyppigere eller mere sjældent, end vi har antaget. Det er der sådan set ikke nogen problemer i – det er godt klassisk ingeniørarbejde. Desværre kan stemningen blive helt ondskabsfuld, når man til familiefester forklarer at folks kælder hvert 10 år bør indgå som en del af byens samlede regnvandsbassiner.



Af Michael R. Rasmussen,
Institut for Byggeri og Anlæg,
Aalborg Universitet

Det er derfor ikke underligt, at der i disse dage – rundt omkring - tænkes så det knirker, over hvordan man kan undgå, at der sker store oversvømmelser ved ekstreme skybrud. På den måde kan afløbsingeniøren indtræde i sin retmæssige position som folkets helt og beskytter. Der er som bekendt ikke langt fra at være helt til at blive skurk. Når jeg tænker på dette ordspil er det med baggrund i en artikel i Ingeniøren online den 19 august 2011, hvor det beskrives hvordan Københavns Energi tømte en del af afløbssystemet ud i havnen for at skaffe plads til et varslet skybrud. Ideen var, at lette vejen for vandets vej mod havnen mest muligt og så acceptere, at badevandkvaliteten i havnen blev dårligere. Det viste sig, at regnvejret ikke blev helt så kraftigt, som det var varslet og at systemet godt kunne have håndteret regnen uden at lave oversvømmelse. Man kan jo så hævde, at man bevidst har forurenset havnen uden grund. Det er imidlertid ikke pointen i historien for mit vedkommende. Det afgørende er, at man tør handle på en varsling og risikere en unødigt udledning for at undgå en potentiel større ulykke: gentagelse af oversvømmelse af byen. Derfor er KE dagens helte i min opfattelse.

Historien understreger også, at der er et behov for prognoser der er så nøjagtige som muligt. Prognoser baseret på vejrmønstre har ofte den ulempe, at de er ret dårlige på

den korte tidshorizont, for så at klare sig bedre lidt længere frem i tiden. Forklaringen er, at vejrmønstrene ikke starter rigtigt. De har f.eks. ikke informationer om, hvor og hvor meget det regner på det tidspunkt, hvor modelberegningen starter. En anden forklaring er, at vejrmønstrene af praktiske hensyn regner med stor diskretisering af modellen i tid og sted og derfor ikke kan opløse de fine detaljer i nedbørsmønstret,

Vejrradarere er meget bedre til at bestemme, hvor og hvor meget det regner. De kan måle præcist hvor det regner og med rimelig nøjagtighed også, hvor meget det regner. Målingerne foregår indirekte ved at måle, hvor meget dråberne reflekterer radarstrålingen. Man kan så sammenligne mængden af regndråber med lokale regnmålere og opnå en kalibrering af radaren.

Problemet er så at vejrmønstrene ikke ved, hvordan det regner nu, og vejrradardata siger kun noget om, hvordan det regner nu – men ikke noget om, hvordan det regner om nogle timer. Dette hul i vores viden forsøger vi at lukke på to måder:

- 1) Ud fra den målte regns bevægelser at fremskrive, hvor den bevæger sig hen og, hvordan det så vil regne. Denne type af modeller er ekstrapolation af målt nedbør.

- 2) Ud fra vejrradar målinger at justere vejrmødelen på en sådan måde at den starter sin beregning af nedbør det samme sted, som vejrradaren har målt de sidste data. Dette kaldes dataassimilering.

Lige meget om man arbejder med den ene metode eller den anden er forudsætningen, at man har gode vejrradar data at starte på. I Danmark har vi et af verdens tætteste netværk af vejrradare. DMI har opsat 5 C-bånds vejrradare med dækning af hele Danmark. Ligeledes har en række danske forsyningsvirksomheder opsat deres egne lokale radare af LAWR typen.

Anvendelsen af data er imidlertid ikke helt tilgængelig for de fleste. Der er ofte lokale forhold omkring radaren der gør, at data skal igennem en check af datakvalitet og en kalibrering af data. Der er også usikkerhed om, hvordan man praktisk får adgang til data, og hvad det koster. Disse problemer skal overvindes. Vi har behov for et nationalt center, der samler og kvalitetssikrer nedbørsdata, så de kan indgå i det daglige arbejde på lige fod med traditionelle regnmålerdata. Vi arbejder i spildvandskomiteens

vejrradarudvalg med en vision om, at regnmålerdata, vejrradar data og måske nedbørsprognoser skal være lige så tilgængelige, som SVK regnmålerdata er i dag.

Potentialet i at kunne udnytte kapaciteten i afløbssystemerne og renseanlæg bedre, end vi gør i dag, er så stor, at det ikke kan vente meget længere. Heldigvis er mange af de største byer langt fremme med at styre deres afløbssystemer og renseanlæg bedre baseret på vejrradarprognoser. Vi er så heldige i Danmark, at vi har god vejrradardækning de allerfleste steder, og at vejrradardata er tilgængelig både som historiske data og som online data. Der er derfor ikke noget til hinder for, at vi i Danmark bliver verdens førende inden for prognosebaseret styring af afløbssystemer og renseanlæg. Vi har infrastrukturen, vi har den nødvendige viden, og efter sommerens oversvømmelse har vi nok også den folkelige opbakning.

Selvom vores afløbssystemer er dimensioneret på baggrund af mange års målinger, bedømmes de kun på, om de kan klare den regn, der kommer om få timer – på den måde er fremtiden vigtigere end fortiden.



METSAM

Målet med projektet er at optimere aflastningerne fra kloaksystemet og renselanlægget til recipienten. Det vil i dette tilfælde sige, at reducere aflastningerne så meget som mulig og sikre at de aflastninger, der ikke kan undgås, sker de miljømæssigt mest hensigtsmæssige steder.



Af Tina Kunnerup,
Krüger



METSAM står for:

”MiljøEffektiv Teknologi til intelligent SAMstyring af spildevandssystemer”.

Projektet køres i samarbejde mellem Udvecklingssamarbejdet, bestående af Spildevandscenter Avedøre, Københavns Energi og Lynettefællesskabet, og Krüger. Projektet er delvist finansieret af de deltagende parter, delvist af Naturstyrelsen.

Formålet med METSAM er at udvikle en overordnet styring, der kan optimere udnyttelsen af bassinvolumenerne i afløbssystemet. Den overordnede styring skal ligge i et lag over de eksisterende lokalstyringer og prioritere fyldning og tømning af bassinvolumener i systemet. I prioriteringen indgår bl.a. en melding fra renselanlægget til afløbssystemet, der fortæller hvor meget vand renselanlægget kan tage ind netop nu.

Den overordnede styring sker på udvalgte punkter i systemet. Styringen kan køre på et vilkårligt antal udvalgte punkter. I første omgang er det dog ikke vigtigt for projektet at få et stort antal punkter med i styringen. Det er derimod mere vigtigt at få metoden til at fungere på et mindre antal punkter. Efterfølgende kan den overordnede styring udvides med yderligere styringspunkter.

Styringen sker på baggrund af beregning af risikoen for overløb for de enkelte bassiner samt en vurdering/prioritering af omkostningen for overløb for de forskellige bassiner.

Prioriteringen er indarbejdet som en omkostningsfunktion, hvor prisen for at aflaste afhænger af, hvor i systemet det sker. Omkostningsfunktionen er en relativ omkostning, dvs. ikke i kroner og ører, men en størrelse, som gør det muligt at differentiere overløb fra de forskellige styringspunkter.

I praksis vil den overordnede styring forsøge at fordele vandet mellem bassinerne på en måde, så omkostningen ved overløb samlet set bliver minimeret. Det betyder, at der kan accepteres en større risiko for overløb ved bassiner med en lav omkostning på aflastninger end ved bassiner med en høj omkostning. Fordelingen af vandet sker ved, at styringen regulerer på afløbet fra bassinerne. Er der forudsagt nedbør i den indre del af byen, kan styringen således vælge at holde vandet tilbage i bassiner længere ude i oplandet for at undgå overløb i den indre by.

Baggrund for projektet

I dag har vi en lang række produkter, teknologier og teknikker, der anvendes i forskellig sammenhæng indenfor afløbs- og spildevandsverdenen. I METSAM projektet er det målet at kombinere en række af disse allerede kendte teknologier på en ny måde, for via den vej at optimere udnyttelsen af afløbssystem og renselanlæg. Når disse kendte teknologier skal kombineres, kommer der dog til at mangle en række komponenter/software, der kan få det hele til at spille sammen. Udviklingen af disse er også en del af METSAM projektet.

På figur 1 ses de byggeklodser, der anvendes i projektet.

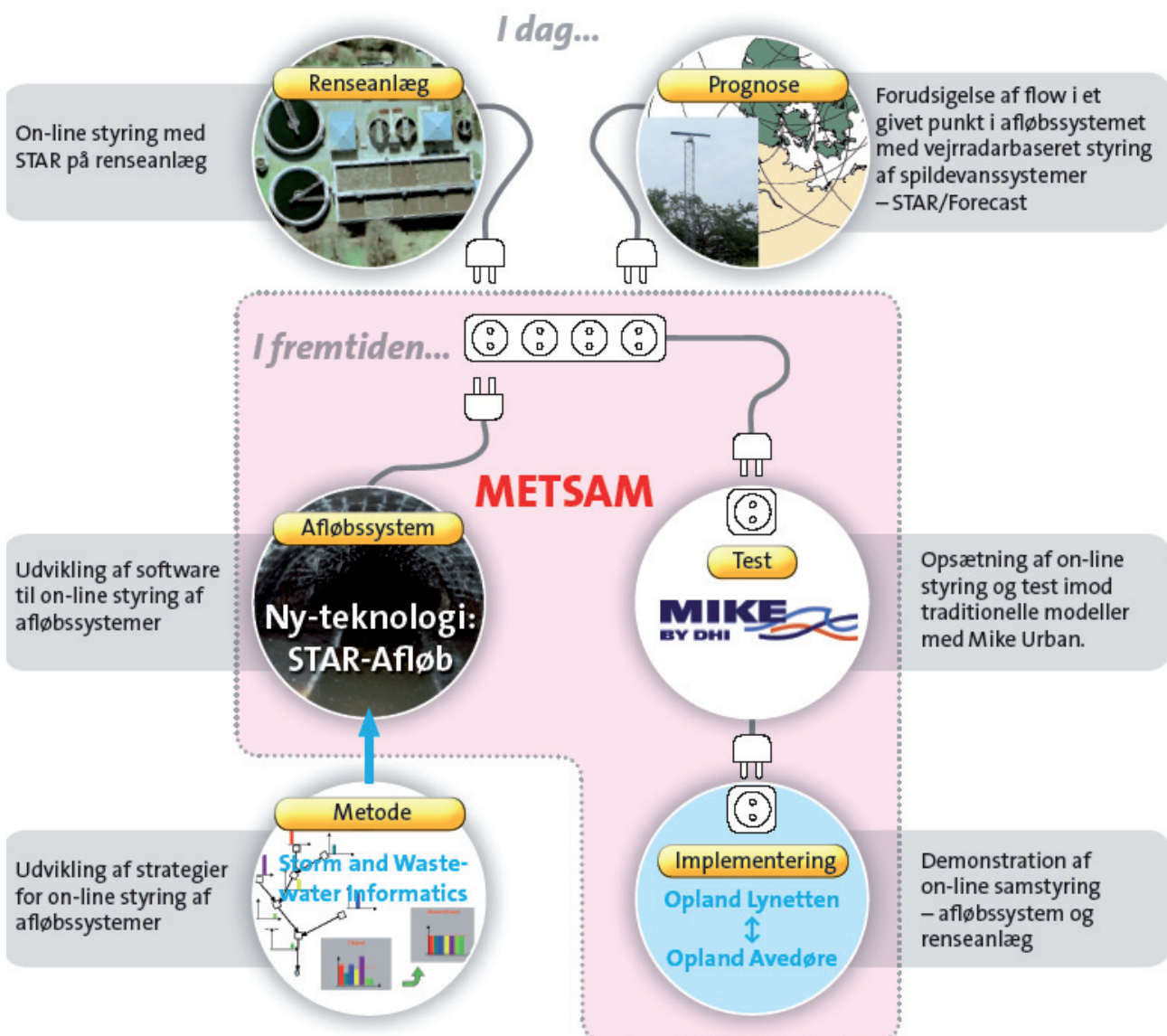
De eksisterende byggeklodser er:

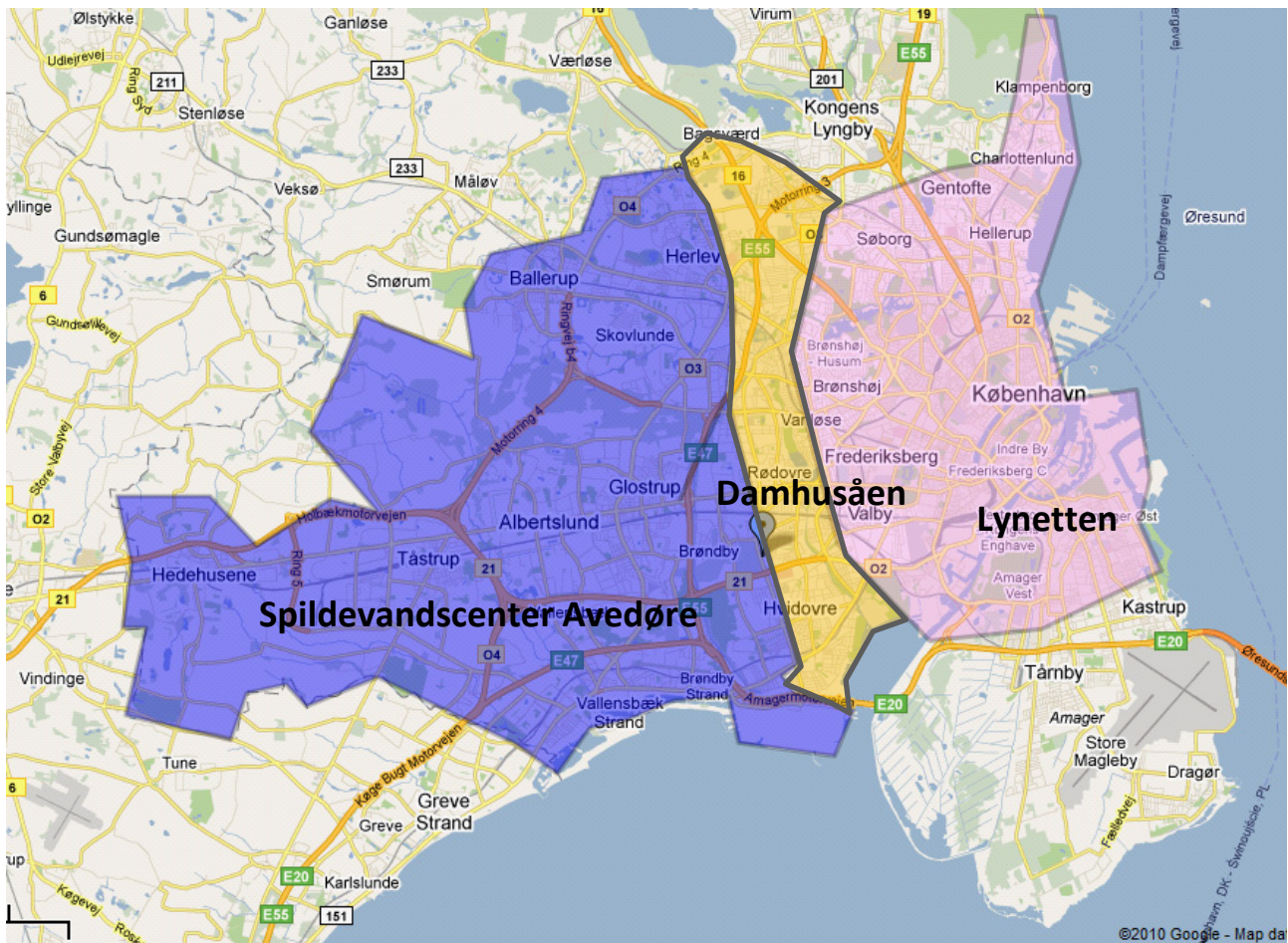
- Online styring med STAR på renselanlæg
- Flow forecast på baggrund af vejrradar
- Overordnet styringsstrategi udviklet ifm. ”Storm and Wastewater Informatics” projektet

De nye byggeklodser bliver:

- Udvikling af software til implementering af online styring (Metoden) i STAR platformen
- Opsætning af online styring og test imod traditionelle modeller med MIKE URBAN
- Demonstration af online samstyring på oplandene til Renselanlæg Lynetten og Spildevandscenter Avedøre

Figur 1:
Byggeklosterne i METSAM projektet.





Figur 2:
De tre oplande der anvendes i METSAM projektet

En vigtig del af projektet er, at styringen rent faktisk kommer til at køre i fuldskaladrift i løbet af projektperioden. Til dette formål anvendes Københavns Energi's opland til Renseanlæg Lynetten og oplandet til Spildevandscenter Avedøre (SCA) (figur 2). De to oplande er meget forskellige. Oplandet til Lynetten består hovedsagligt af fælleskloak, mens oplandet til SCA hovedsagligt er separatkloakeret, med enkelte spredte fælleskloakerede områder. På den måde bliver det i projektet muligt at få erfaringer med to forskellige typer oplande.

De eksisterende byggeklodser

Online styring af renseanlæg

I dag styrer vi allerede online på renseanlæg. På renseanlæg Lynetten og Spildevandscenter Avedøre styres der med STAR2 platformen. Det er den, der anvendes i dette projekt.

Flowforecast

De sidste år er der kommet større og større fokus på forudsigelse af nedbør vha. vejrradar. Forudsigelse af flowet til

et udvalgt punkt i systemet på baggrund af vejrradardata er gennemført i tidligere projekter bl.a. til brug for regnstyring af renseanlæg. I dette projekt skal forudsigelserne anvendes til overordnet styring af udnyttelsen af bassinerne i systemet.

SWI - metode

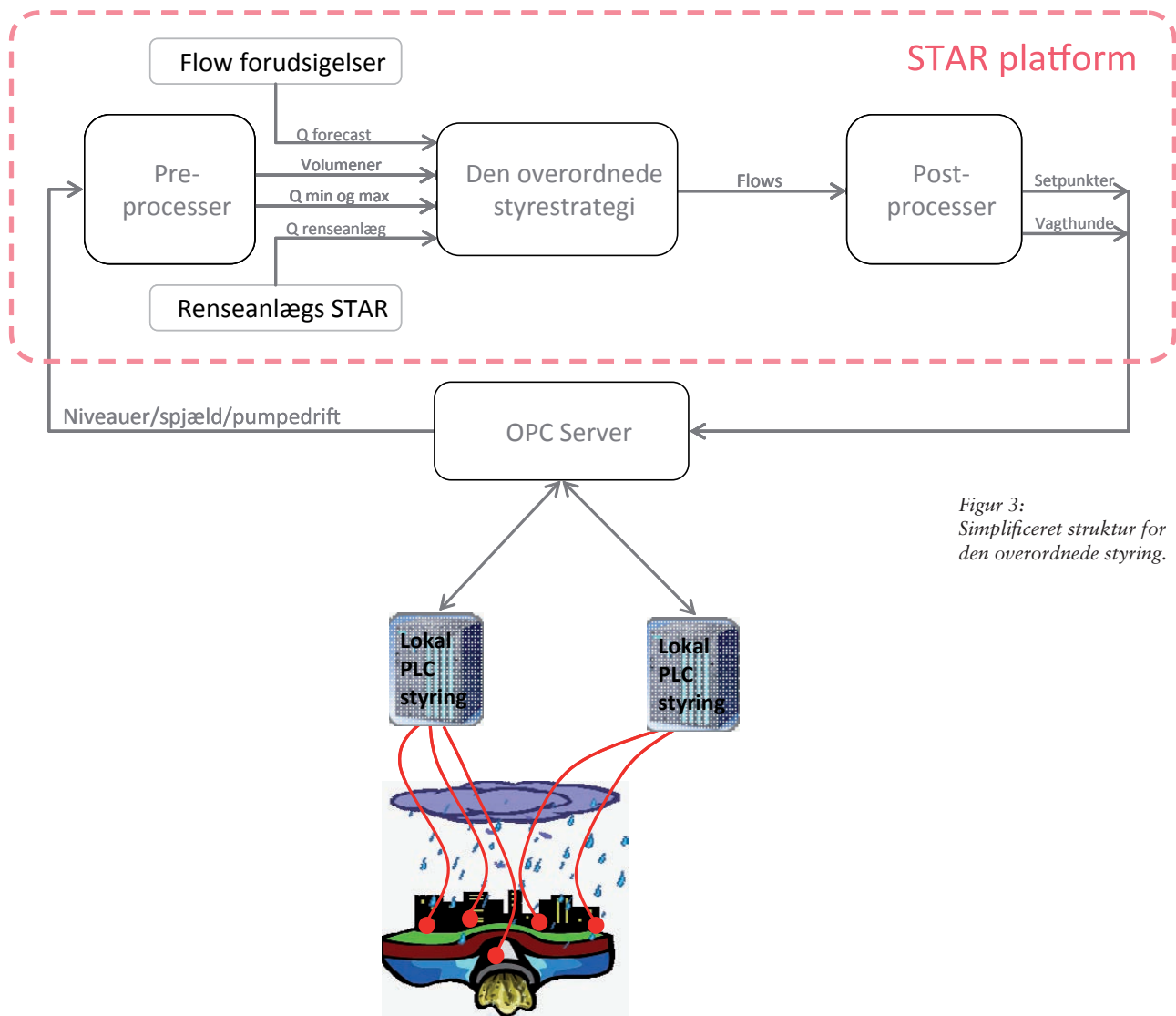
I forbindelse med SWI (Storm and Wastewater Informatic) projektet er der udarbejdet en metode til overordnet styring. Metoden er der således, men der findes ingen software, der kan anvende den til online styring.

De nye byggeklodser

For at få de eksisterende teknologier til at fungere i en højere enhed kræver det nogle nye tiltag.

Softwareudvikling

For at få de forskellige klodser til at spille sammen er det nødvendigt med noget nyt software. Softwaren skal dels få de forskellige eksisterende programmer til at snakke



Figur 3:
Simplificeret struktur for
den overordnede styring.

sammen, dels sørge for at det er muligt, at anvende metoden udviklet under SWI til online styring. På figur 3 ses styringssetuppet, der skal anvendes i projektet.

Offline + Online test

Når softwaren til online styring er på plads, skal der gennemføres en række test, inden styringen slippes fri på den virkelige verden.

1. Offline test

Styringen testes mod en "virkelighed" i form af MIKE URBANmodeller. Det vil sige, inputdata kommer fra modellen og beregnede setpunkter skrives tilbage til modellen. Når dette ser lovende ud påbegyndes online testen.

2. Online test

Styringen testes mod inputdata fra de virkelige systemer, men der sendes ikke setpunkter retur til systemerne. Med andre ord, der styres endnu ikke.

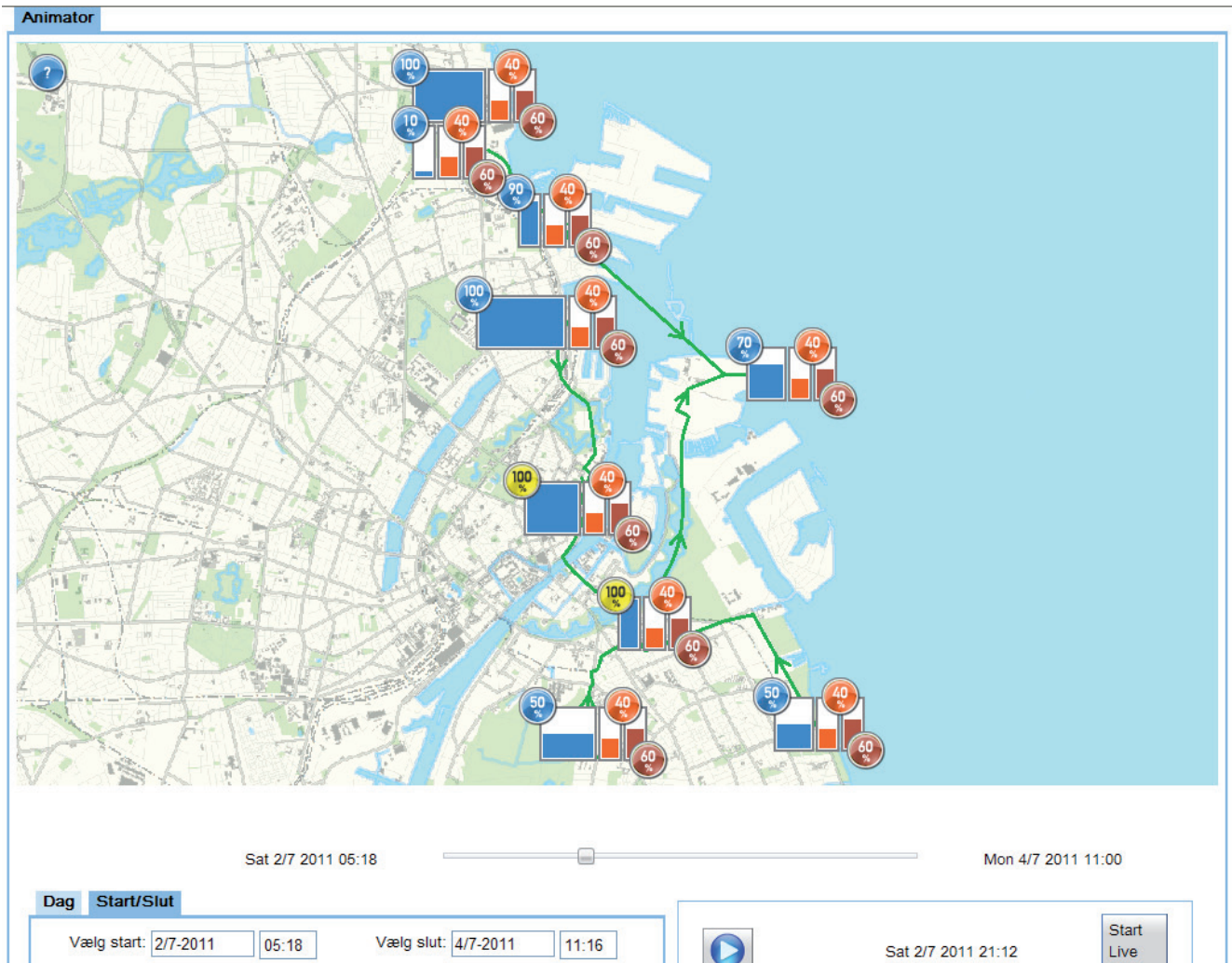
Fuldskala drift

Når offline og online testene har vist tilfredsstillende resultater, skal systemet sættes i drift. Det betyder, at der skal styres på spjæld og pumper mm. i systemerne i oplandet til Lynetten og SCA.

Efter tidsplanen er det meningen, at dette skal ske ultimo 2011.

Brugergrænseflade

I forbindelse med projektet udarbejdes der en webbaseret brugergrænseflade (et tidligt eksempel på denne er vist på figur 4). På brugergrænsefladen vises bl.a. fyldningsgraden af bassiner, spjældindstillinger og pumpedrift på baggrund af målinger i systemet. Parallelt med de "virkelige" forhold kan tilsvarende værdier baseret på modelberegninger vises. Det kunne eksempelvis være modelberegninger med og uden den overordnede styring, der viser effekten af styringen.



Figur 4:
 Tidlig version af brugergrænseflade, der viser fyldningen af bassinerne (blå), samt mulighed for angivelse af beregningsmæssig (MIKE URBAN) fyldning af bassinerne (rod/orange).

Planlægningsværktøj

Udover fuldskala drift på oplandene til Renseanlæg Lynetten og Spildevandscenter Avedøre, er endnu et opland med i spil. Det er oplandet til Renseanlæg Damhusåen (figur 2). Dette opland er endnu ikke udbygget med bassiner, hvorfor der ikke er det store styringspotentiale i oplandet. Som en del af METSAM opstilles den overordnede styringsstrategi for oplandet i en planlægningsversion. På baggrund af den er det muligt allerede i planlægningsfasen at vurdere potentialet for styring. Det kan eksempelvis vise sig, at det nødvendige bassinvolumen i et opland kan reduceres ved at udbygge transportkapaciteten mellem bassinerne og etablere mulighed for styring, i forhold til hvis der blot etableres traditionelle bassiner.

...Og hvorfor er det nu smart?

I dette projekt optimeres og videreudvikles anvendelsen af den viden om regnstyring og -forudsigelse, vi allerede har i dag, til udvikling af et værktøj, der på overordnet niveau kan styre udnyttelsen af bassinerne i afløbssystemet i samspil med renseanlægget. Formålet med projektet er således ikke at opnå optimal styring af et helt afløbssystem, men derimod at udvikle et koncept, der gør det muligt at styre på udvalgte punkter i systemet, under hensyntagen til de lokale styringer. Herved sikres, at de aflastninger, der under kraftig regn sker fra det samlede spildevandssystem til recipienterne, gør mindst mulig skade.

Teknologier for Recipientafstemt Rensning af Regnvand

– Resultater fra det EU-støttede LIFE-TREASURE Projekt

Afstrømmet regnvand fra by- og vejoverflader er forurenet og rensning vil ofte være nødvendig for at overholde såvel lokale som regionalt bestemte recipientkrav. Det rationelle valg af teknologi til denne rensning styres af disse krav. Med resultaterne fra det EU-støttede demonstrationsprojekt LIFE-TREASURE er det nu muligt at vælge en rensningsteknologi, som er afstemt efter størrelse og omfang af kravene.

*Thorkild Hvitved-Jacobsen
Jes Vollertsen
Asbjørn Haaning Nielsen
Tove Wium-Andersen*

*Sektion for Miljøteknologi,
Aalborg Universitet*

Afstrømmet regnvand fra by- og vejoverflader er forurenet og rensning vil ofte være nødvendig for at overholde såvel lokale som regionalt bestemte recipientkrav. Det rationelle valg af teknologi til denne rensning styres af disse krav. Med resultaterne fra det EU-støttede demonstrationsprojekt LIFE-TREASURE er det nu muligt at vælge en rensningsteknologi, som er afstemt efter størrelse og omfang af kravene.

Regnbegivenheder og den forurening, som er relateret hertil, sker tidsmæssigt uforudsigeligt og er både belastnings- og effektmæssigt underkastet stor variabilitet. Regn forekommer med såvel høj som lav intensitet, der kan optræde langvarige tørvejrperioder og om vinteren kan nedbøren komme som sne med efterfølgende afsmeltning til følge. En sådan skov af variabilitet er ikke tilsvarende kendt i forbindelse med traditionel spildevandsrensning. En rensningsteknologi, som kan klare denne udfordring, må derfor være robust. Det våde regnvandsbassin – i princippet en ”designet sø” – er et sådant robust koncept for rensning og forsinkelse af afstrømmet regnvand. Et væsentligt aspekt er endvidere, at rensning typisk må ske decentralt, og at tilsyn og drift dermed vedrører mange spredte anlæg. Det enkelte anlæg må derfor være simpelt og også i driftsmæssig henseende robust. Det våde regnvandsbassin er med dette udgangspunkt et godt og solidt valg for udbygning med teknologier til en videregående rensning af afstrømmet regnvand.

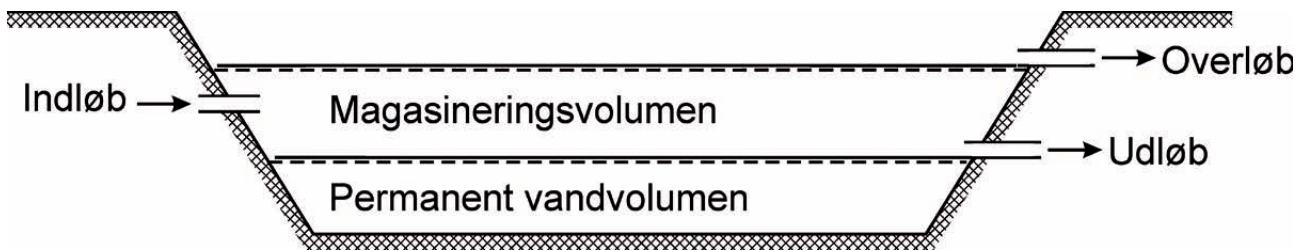
Formål og baggrund

Det er formålet med denne korte artikel at informere om metoder til videregående rensning af afstrømmet regnvand baseret på udbygning af det våde regnvandsbassin med teknologier, der er velkendte fra spildevandssektoren. Disse metoder er blevet afprøvet i det EU-støttede demonstrationsprojekt LIFE-TREASURE, idet der i fuldskala blev anlagt våde regnvandsbassiner i henholdsvis Odense, Århus og Silkeborg med følgende udbygninger:

- Kombineret mekanisk filtrering og sorptionsfiltrering (Odense)
- Adsorption til jernberiget bundsediment (Århus)
- Fældning med aluminiumsalte (Silkeborg)

Disse teknologier er fuldt integrerede i det våde regnvandsbassin, idet bassinvoluminet i alle tre tilfælde resulterer i en forrensning af det afstrømmede regnvand samtidigt med at bassinet fungerer som enten et udligningsbassin eller et procesvolumen for den implementerede videregående rensningsteknologi.

Selvom de teknologier, der er afprøvet og demonstreret gennem LIFE-TREASURE projektet basalt set er velkendte, er kombinationen af et vådt regnvandsbassin og de anvendte teknologier imidlertid ny og hidtil kun sporadisk implementeret i fuld skala. På trods af den væsentlige viden, som er opnået i dette projekt, må det derfor pointeres, at teknologierne i den givne sammenhæng fortsat befinder sig på udviklingsstadiet.



Figur 1.
Principskitse af et vådt regnvandsbassin. Det nederste vandvolumen udgør bassinets permanente volumen og det øverste vandvolumen er bassinets volumen for magasinerings.

Generelt om rensning i våde regnvandsbassiner

Da det traditionelt udformede og dimensionerede våde regnvandsbassin er basis for implementering af teknologien for den videregående rensning af regnvand er det væsentlig først at interessere sig for dette udgangspunkt.

Med særlig erfaring stammende fra USA er der gennem de seneste 30-40 år udviklet en række metoder for rensning af afstrømmet regnvand fra veje og befæstede arealer i byer (FHWA, 1996). Blandt disse metoder har bassiner med permanent vandspejl (våde regnvandsbassiner) fået udbredt anvendelse i en lang række lande, Figur 1.

Våde regnvandsbassiner, der typisk er plantebevokset, virker i princippet på den måde, at der afhængig af den aktuelle dimensionering tilbageholdes et vandvolumen fra oplandet. I løbet af regnperioden og i den efterfølgende tørvejrperiode udledes det magasinerede vand til en overfladerecipient, typisk et vandløb eller en sø. Foruden den hydrauliske effekt i form af en udjævning af vandstrømmen foregår der i perioden, hvor bassinet modtager indløb, samt i særlig grad i den efterfølgende tørvejrperiode, en række fysiske, kemiske og biologiske rensprocesser i bassinet. Sedimentation og adsorption af især partikulært bundet stof vil rense for bl.a. organisk stof, næringssalte, tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer, der der ved fjernes fra vandfasen og hovedsageligt akkumuleres i bundsedimentet. Med mellemrum, typisk i størrelsesordenen 25-30 år, skal dette bundsediment fjernes og eventuelt deponeres afhængig af indholdet af miljøfremmede stoffer.

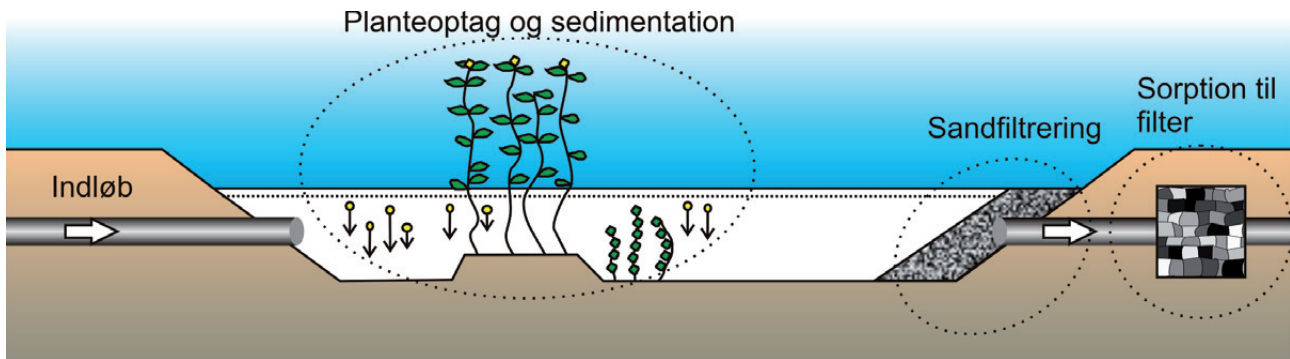
Ved dimensionering af et regnvandsbassin, hvor der tages højde for såvel hydraulisk som rensningsmæssig god funktion, indgår der en lang række hensyn (Hvitved-Jacobsen, 1990; Hvitved-Jacobsen et al., 2004; Vollertsen et al., 2009; Hvitved-Jacobsen et al., 2010). Af disse forhold er opholdstidsfordelingen af den tilførte stofmængde fra det afstrømmede regnvand den grundlæggende parameter, idet der skal sikres tilstrækkelig tid til at rensprocesserne kan

forløbe. Bassiner med en opholdstid på mindst 72 timer ved en gentagelsesperiode for underskridelse heraf på 3-4 måneder giver "stabil og optimal" rensning. Under danske forhold svarer dette typisk til et permanent vandvolumen af størrelsesordenen 200-250 m³ pr. reduceret ha. Størrelsen af magasineringsvoluminet kan variere afhængig af de lokale muligheder, og er ofte forholdsvis lille.

Selv et godt dimensioneret vådt regnvandsbassin vil afhængig af en lang række eksterne forhold bestemt af eksempelvis oplandet og nedbørsforhold udvise variabilitet i evne til at rense for forurenende stoffer fra oplandet. Niveaulet for rensning skal derfor illustreres ved et eksempel. Som eksempel vælges et vådt regnvandsbassin i Oslo, Norge, som modtager afstrømmet regnvand fra et opland på 2,2 ha, og som er dimensioneret efter ovenstående princip. Når netop dette bassin vælges som eksempel skyldes det primært, at monitorering af renssevnen er sket over en periode på et fuldt år, men også fordi det svarer til den generelle erfaring med anlæggene.

Parameter (enhed)	Middelkoncentration i tilløb	Middelkoncentration i afløb	Rensegrad (%)
TSS (mg/L)	246	43	82,5
Total N (mg/L)	1,49	1,05	29,5
Total P (mg/L)	0,674	0,262	61,1
Ortho-P, filt. (mg/L)	0,388	0,146	62,4
Olie og fedt (mg/L)	5,0	0,9	82,0
Total PAH (µg/L)	1,77	0,26	85,3
Bly (µg/L)	17,1	4,1	76,1
Zink (µg/L)	272	78	71,3
Kobber (µg/L)	86	36	58,1
Cadmium (µg/L)	0,21	0,08	61,9
pH (-)	7,4	7,6	-
Ledningsevne (mS m ⁻¹)	39	42	-

Table 1. Årsmiddelværdi af stofkoncentration i tilløb og afløb samt den resulterende årsmiddelværdi af rensgraden for et vådt regnvandsbassin i Oslo, Norge, jf. tekst (Åstebøl og Coward, 2004)



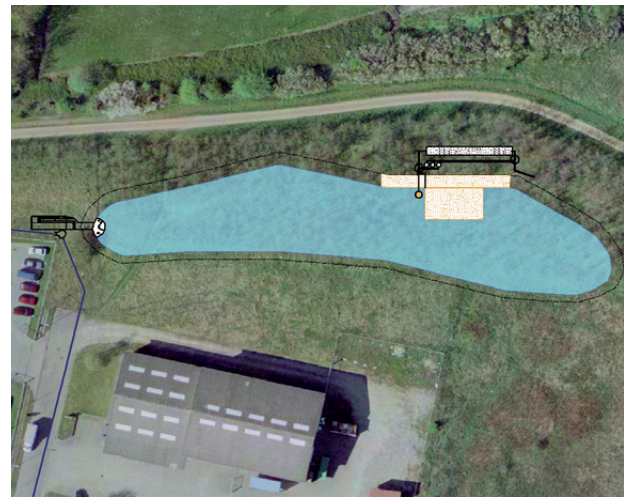
Figur 2.
Principskitse af anlægget i Odense med angivelse af de centrale dele af bassinet, hvor renseprocesser finder sted.

I relation til Tabel 1 er det væsentligt at bemærke, at et godt dimensioneret vådt regnvandsbassin evne til at rense manifesterer sig i en udløbskoncentration, der er mere eller mindre uafhængig af koncentrationen i indløbsvandet. Et vådt regnvandsbassin opfører sig dermed som de fleste andre rensningsanlæg, eksempelvis kommunale anlæg til rensning af den daglige spildevandsstrøm. Imidlertid har der været tradition for at angive en rensegrad i procent. Problemet hermed er, at høj indløbskoncentration pr. definition resulterer i en tilsvarende høj rensegrad, hvilket grundlæggende set er uheldigt ved en vurdering af systemets renseevne. Såfremt der eksempelvis over tid vil kunne ske ændringer (reduktioner) i det afstrømmede regnvands koncentrationer af forurenende stoffer, er det derfor væsentligt for korrekt vurdering af rensegraden i forhold til anlæggets dimensionering at være sig denne problemstilling bevidst.

Med henvisning til Tabel 1 kan det konstateres, at der for de fleste parametre opnås pæne resultater for rensningen i et så simpelt anlæg, som er vådt regnvandsbassin må siges at være. Rensegrader i størrelsesordenen 60-85% er typiske med kvælstof (nitrogen) som undtagelse. Rensningen sker primært ved fjernelse (sedimentation og adsorption) af den partikulære del af forureningen og kvælstof forekommer primært i opløst form. At opløste fraktioner af stofferne fjernes i mindre grad antydes også ved det forhold, at ledningsevnen i udløbet er omtrent uændret i forhold til tilløbsværdien. Da effekten af forurenende stoffer, eksempelvis tungmetaller, i særlig grad er knyttet til de opløste og kolloide fraktioner, bliver det et væsentligt aspekt ved en videregående rensning at kunne reducere disse fraktioner af forureningen.

Det EU-støttede LIFE-TREASURE projekt – ganske kort

LIFE-TREASURE projektet er omtalt i flere sammenhænge. For detaljer i denne forbindelse skal derfor henvi-



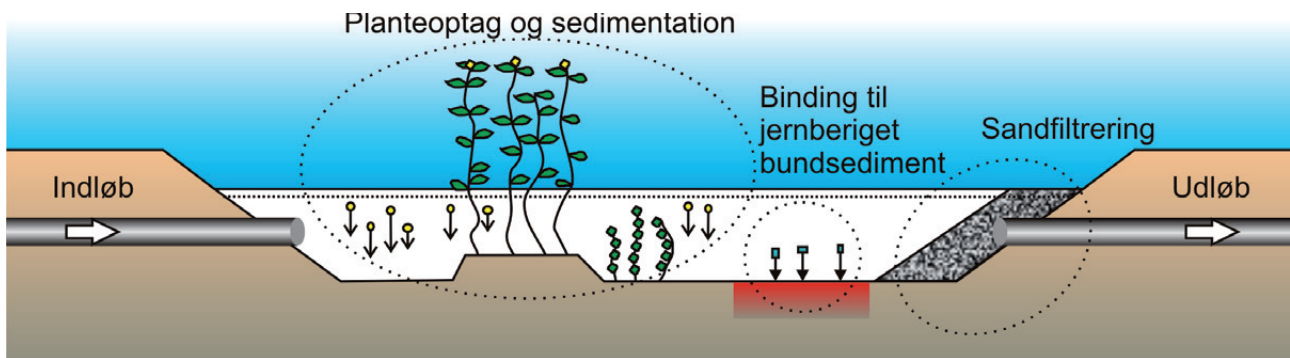
Figur 3.
Planskitse af anlægget i Odense med angivelse af indløbsbygværk og filternes placering.

ses til de officielle dokumenter til EU, jf. www.life-treasure.com samt oversigtsdokumentet EU LIFE-TREASURE (2009). I det følgende beskrives projektet derfor kun kortfattet med vægt på de rensemetoder, som er blevet implementeret. Endvidere kan der henvises til det indlæg, som forfatterne til denne artikel holdt på EVA-temadagen den 27. maj 2010, jf. EVA's hjemmeside. Detaljer vedrørende valg af udstyr samt dimensionering af eksempelvis filtre vil kunne findes i disse dokumenter.

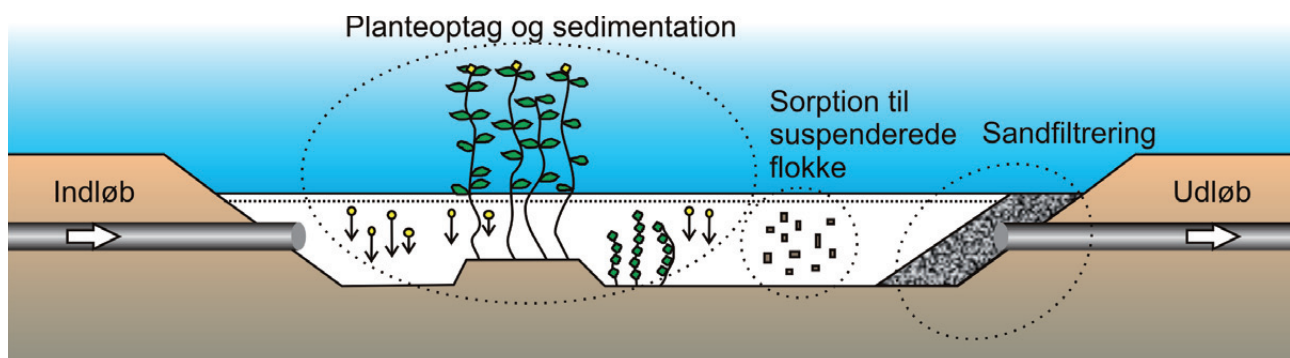
I afsnit 1 er det nævnt, at forskellige typer af teknologier for rensning af afstrømet regnvand er blevet valgt for anlæggene i Odense, Århus og Silkeborg. I det følgende beskrives de tre anlægs principielle opbygning kort.

Mekanisk filtrering og sorptionsfiltrering (anlægget i Odense)

Anlægget i Odense kombinerer et mekanisk filter med et filter til sorption, hvorved forstås et filter, hvor det porøse materiale fysisk-kemisk kan tilbageholde forurenende stoffer. Ved denne teknologi vil såvel finpartikulært stof som opløste og kolloide stoffer kunne fjernes fra vandfasen



Figur 4.
Principskitse af anlægget i Århus.



Figur 5.
Principskitse af anlægget i Silkeborg.

via fysiske eller fysisk-kemiske processer. Figur 2 viser en principskitse af anlæggets opbygning. Som illustration ses endvidere i Figur 3 en planskitse af anlægget.

Våde regnvandsbassiner med jernberiget bundsediment (anlægget i Århus)

Anlægget i Århus er et traditionelt udformet og dimensioneret vådt regnvandsbassin, hvor bundsedimentet er blevet beriget med jernoxid. Ved anvendelse af denne teknologi forventes det, at finpartikulært stof samt opløste og kolloide stoffer vil kunne fjernes fra vandfasen ved adsorption. Figur 4 viser en principskitse af anlæggets opbygning. Inden udløb passerer vandet fra bassinet et sandfilter.

Fældning med aluminiumsalte (anlægget i Silkeborg)

Ved tilløbet til bassinet i Silkeborg er der etableret anlæg for flowproportional dosering af aluminiumhydroxid i basisk opløsning. Efter blanding med det indkommende regnvand dannes der pga. ændrede fysisk-kemiske betingelser flokke af aluminiumhydroxid, som efterfølgende kan danne floklignende partikler med en række forurenende stoffer. Såvel finpartikulært stof som opløste og kolloide stoffer vil derved kunne fjernes ved sedimentation i bas-

sinet eller tilbageholdes i sandfilteret. Figur 5 viser en principskitse af anlæggets opbygning.

Resultater og erfaring

Som indledningsvis nævnt er teknologierne beskrevet i Afsnit 3 generelt set velkendte, men hidtil kun sporadisk implementeret for videregående rensning af afstrømmet regnvand. De resultater og den erfaring, som et enkelt projekt kan bidrage med, er begrænset. Dette forhold må man nødvendigvis tage højde for. Ikke desto mindre er der opnået viden, som tegner et billede af hvilke metoder, der bør sættes på, og hvilke der må vurderes som mindre hensigtsmæssige. Dette gælder ikke blot de opnåede rensere-resultater, men i lige så høj grad driftsmæssige forhold.

Hvad rensere-resultaterne angår bliver succeskriteriet grundlæggende set et spørgsmål, om der kan opnås en rensning, som bliver ”markant” bedre end det et traditionelt vådt regnvandsbassin kan levere, og som kan opfylde højt fastsatte udledningskriterier. Sammenligningsgrundlaget bliver derfor i korthed de resultater, som fremgår af eksemplet i Tabel 1. Det er i denne forbindelse centralt at nævne, at monitoringen af anlæggene – FØR den videregående rensning blev implementeret – viste, at samtlige tre anlæg rensede vandet som forventet.

I det følgende kommenteres resultater og erfaringer vedrørende anlæg for videregående rensning af afstrømmet regnvand.

Mekanisk filtrering

For samtlige tre typer af anlæg gælder, at de er forsynet med mekaniske filtre (sandfiltre) ved udløbet. Den væsentligste problemstilling er i denne forbindelse risiko for tilklogning af filteret. Selvom der i selve bassinet fjernes partikulært stof, viser erfaringen, at der stadig i udløbsvandet vil være små partikler, der kan forårsage klogning og dermed resultere i lav hydraulisk kapacitet.

Det var på forhånd forventet at problemet kunne opstå, og følgende filtertyper blev derfor afprøvet:

- Vertikalt filter
- Skråtliggende filter
- Horisontalt filter

Til samtlige filtre blev der valgt en sandkvalitet med en kornstørrelsesfordeling anvendelig til nedsivningsanlæg. Det var forventet, at det vertikale filter ville reducere problemet med tilklogning, hvilket imidlertid ikke i ønskelig grad fandt sted. For at undgå frigivelse af et jern- og manganindhold i sandet bør det endvidere sikres, at filterne ikke henligger konstant vandfyldte med risiko for delvis permanente anaerobe forhold, som kan medføre opløsning af disse stoffer og senere udfældning som okker og dermed tilklogning. Ved varierende belastning af filteret sikres, at dette periodevis under tørvejr vil være afdrænet og dermed aerobt. Det anbefales derfor, at bassin og filtre hydraulisk set bliver adskilte, og at overfladen af sandfilteret er i niveau med det permanente vandspejlsniveau i bassinet.

På baggrund af projektets resultater må det ved fremtidig dimensionering af sandfiltre i udløb fra våde regnvandsbassiner anbefales ikke at benytte en hydraulisk ledningsevne, der er større end ca. 0,3 m/døgn (1,2-1,3 cm/time). Denne værdi er væsentlig lavere end den, der blev benyttet ved dimensionering af filterne i de tre anlæg. En hydraulisk ledningsevne på 0,3 m/døgn giver eksempelvis ved en udløbsvandføring fra bassinet på 1 L pr. sekund pr. ha et arealkrav på ca. 285 m² filter pr. ha reduceret opland. Denne størrelsesorden bygger på de umiddelbare resultater fra projektet. Ved dette valg er der ikke taget højde for den mulige positive betydning, som beplantningen med tagrør med tiden vil kunne få i form af et veludviklet rodnet.

Med hensyn til sandfiltrenes renssevne kan det generelt konstateres, at disse effektivt er i stand til at reducere kon-

centrationen af forurenende stoffer, primært ved fjernelse af (fin)partikulært stof, men forventeligt også i nogen grad kolloide og opløste stoffraktioner, jf. Tabel 2. Den opnåede renssevne kan vurderes ved at sammenligne værdierne i Tabel 2 med afløbskoncentrationerne i Tabel 1. Det er i visse tilfælde konstateret, at sandfiltrene frigiver stof, eksempelvis nikkel ved anlægget i Silkeborg, hvilket tilskrives sandkvaliteten. Det må forventes, at lignende fænomener for andre stoffer vil kunne forekomme, eksempelvis som det er set for fosfor i anlæggene i Odense og Århus, men over tid vil denne udvaskning forventeligt blive reduceret markant.

Sorptionsfiltrering

Virkingen af sorptionsfiltrering, dvs. filtrering gennem et porøst medie, som er fysisk-kemisk aktivt, blev undersøgt på anlægget i Odense. I det aktuelle tilfælde blev sandfilter og sorptionsfilter af monitoringsmæssige årsager fysisk

Parameter (enhed)	Middelkoncentration i afløb fra filter
TSS (mg/L)	3 - 14
Total N (mg/L)	0,6 - 1,3
Total P (mg/L)	0,02
Ortho-P, filt. (mg/L)	0,005 - 0,04
Total PAH (µg/L)	0,01
Bly (µg/L)	0,3 - 0,6
Zink (µg/L)	20 - 28
Kobber (µg/L)	2 - 5
Cadmium (µg/L)	0,05

Tabel 2.
Koncentrationsniveauer opnået ved mekanisk rensning (sandfiltrering) af afstrømmet regnvand fra våde regnvandsbassiner.

adskilt, men under virkelige forhold vil en sandwichkonstruktion med sorptionsfilteret under sandfilteret være at anbefale. I det aktuelle tilfælde bestod materialet i sorptionsfilteret af dolomit i form af knuste østersskaller. Dette materiale blev valgt pga. gode sorptionsegenskaber og prisbillighed, men en lang række andre effektive materialer er kommercielt tilgængelige.

Resultater vedrørende sorptionsmaterialets tilbageholdelse af stof fremgår direkte af Tabel 3 ved sammenligning med den målte koncentration efter sandfilteret. I det aktuelle tilfælde var koncentrationerne af kobber og zink i det afstrømmede regnvand usædvanligt høje, men selv i disse tilfælde er sorptionsfilteret i stand til at reducere koncentrationerne mærkbart. Generelt kan det konkluderes, at

selv højt fastsatte udledningskrav kan overholdes med et sorptionsfilter og foranliggende sandfilter i at vådt regnvandsbassin. Målinger viste endvidere, at toksiciteten af miljøfremmede stoffer i det afstrømmede regnvand er reduceret sammenlignet med regnvandet i bassinet.

Stof (enhed)	Koncentration efter sandfilter	Koncentration efter sorptions filter (rensegrad i %)
TSS (mg/L)	14	4 (72%)
Bly, Pb (µg/L)	0,4	0,6 (-42%)
Cadmium, Cd (µg/L)	0,05	<0,05
Krom, Cr (µg/L)	<0,5	0,5
Kobber, Cu (µg/L)	25	4 (83%)
Kviksølv, Hg (µg/L)	0,06	<0,05
Nikkel, Ni (µg/L)	6	5 (7%)
Zink, Zn (µg/L)	28	4 (85%)
ΣPAH (µg/L)	0,01	0,01 (-3%)
Tot. olie/fedt (mg/L)	0,2	0,1 (21%)
Total N (mg/L)	1,30	1,08 (17%)
Ortho-P, filt. (mg/L)	0,038	0,006 (84%)
Total P (mg/L)	0,175	0,025 (86%)

Tabel 3. Middelkoncentrationer og rensegrader for sorptionsfilteret.

Dimensionering af sorptionsfilteret kan illustreres med fosfor som eksempel. Baseret på de gennemførte målinger tilføres sorptionsfilteret i Odense fra sandfilteret på årsbasis 13 kg P svarende til, at der skal fjernes ca. 600 gP pr. ha reduceret opland pr. år. Vælges – jf. afsnit 4.1 – pga. risiko for tilklogning et filterareal på 285 m² pr. ha reduceret opland, vil det svare til, at der under sandfilteret skal etableres et 14 cm tykt lag af sorptionsfiltermateriale (knuste østersskaller) for at sikre en effektiv levetid af filteret på 100 år.

Jernberiget bundsediment

Effekten af at berige bundsedimentet med jernsalte blev undersøgt i det våde regnvandsbassin i Århus. Effekten har imidlertid ikke kunnet identificeres på stoffjernelsen. Monitoringsperioden har været forholdsvis kortvarig og er gennemført umiddelbart efter at jernsaltet er blevet udbragt. Desuden er regnvandsbassinet nyanlagt og sedimentprocesserne har dermed ikke stabiliseret sig. Disse forhold kan have haft en vis – men forventelig ikke afgørende – indflydelse på sorptionsegenskaberne af bundsedimentet.

Det væsentligste forhold mht. effekt af jernindholdet er en reduceret tilstedeværelse af svævende alger. Det er velkendt, at der i danske lavvandede søer kan identificeres en sammenhæng mellem jernindholdet i sedimentet og sorptionen af fosfor (Jacobsen, 1977; Jensen et al., 1992). Endvidere anvendes jern dosering ved sørestauration for at reducere forekomsten af svævende alger.

Der er en række forhold, som taler for ikke at benytte denne metode:

- Det er en arbejdskrævende proces at få tilført og fordelt jernsaltet i bassinet.
- Det må forventes, at tilførsel af jern hyppigt må gentages.
- Der er om end kortvarigt, dvs. med en effekt over nogle få timer, et markant fald til ca. pH=2 i forbindelse med udbringning af jernsaltet, lige som der midlertidigt og kortvarigt forekommer kraftig rustfarvning af vandet indtil flokdannelse har fundet sted.

Fældning med aluminiumsalte

Dosering af aluminiumsalte til det afstrømmede regnvand ved indløbet til regnvandsbassinet i Silkeborg har ikke i mærkbar grad reduceret de niveauer af de forurenende stoffer, som forekommer i bassinet uden denne dosering. Metoden har imidlertid giver det resultat, at vandet i bassinet er blevet mere klart end det forventeligt ville have været uden denne dosering, hvilket tilskrives det forhold, at de dannede aluminiumflokke har fjernet svævende alger.

Metoden er teknologisk simpel både at etablere og samtidigt at drive og kontrollere. Hyppig tilsyn for kontrol af doseringsudstyret samt tilførsel af kemikalie er imidlertid nødvendig. Doseringen af aluminiumsalt til indløbsvandet er i løbet af monitoringsperioden gradvist blevet nedsat til en slutværdi på 5 g aluminium/m³. En lavere doseringskoncentration vil muligvis kunne resultere i en mere optimal strategi for opnåelse af samme effekt.

Der er ikke i forbindelse med aluminiumdoseringen observeret toksiske effekter eller forhøjede værdier af aluminium i udløbet fra bassinet (Wium-Andersen et al., 2010).

Konkluderende bemærkninger

Våde regnvandsbassiner er effektive, simple og robuste lavteknologiske systemer for reduktion af en bred vifte af forurenende stoffer, som forekommer i afstrømet regnvand. Bassinerne fjerner imidlertid primært partikulært stof. Hvor der stilles høje kvalitetskrav til regnvandsudled-

ningerne i form af reduktion i opløste og kolloide stoffraktioner og tilsvarende lav risiko for toksiske effekter, må bassinerne forsynes med teknologiske systemer, der fjerner disse to stoffraktioner mere effektivt. Det har været det overordnede formål med EU LIFE-TREASURE projektet at afprøve og demonstrere sådanne muligheder.

Sandfilter og sorptionsfilter

Et sorptionsfilter, eksempelvis bestående af kalcit/dolomit, der er aktivt over for stofferne i afstrømmet regnvand, er en effektiv løsning til markant reduktion af opløste og kolloide stoffraktioner. Forudsætningen er, at sorptionsfilteret er kombineret med et foranliggende, periodevis afdrænet sandfilter for tilbageholdelse af finpartikulært stof. Sandfiltre og sorptionsfiltre er relativt simple at anlægge og kræver minimum af tilsyn og vedligeholdelse gennem filterenes levetid. På trods af at det våde regnvandsbassin fjerner en meget væsentlig del af de partikulære stoffer, er der risiko for tilklogning af filteret. For at bibeholde nødvendig kapacitet i forbindelse med udledning af det rensede regnvand fra bassinet, må sandfilteret – og dermed det underliggende sorptionsfilter – dimensioneres med et stort overfladeareal. Med disse bemærkninger kan det anbefales at benytte metoden til videregående rensning af afstrømmet regnvand, der skal overholde højt fastsatte vandkvalitetskrav. Et sandfilter alene uden underliggende sorptionsfilter er en løsning, der vil øge renseevnen af et vådt regnvandsbassin.

Jernberiget bundsediment

Etablering af et vådt regnvandsbassin med jernberiget bundsediment har ikke i væsentlig grad reduceret allerede etablerede koncentrationsniveauer af forurenende stoffer. Indholdet af svævende alger (fytoplankton) i bassinet er imidlertid i forhold til et forventet niveau lavere. Det er en arbejdskrævende proces at udlægge jernsaltet i bassinet og processen må hyppigt gentages. Baseret på erfaringerne fra projektet kan det ikke anbefales at benytte metoden til videregående rensning af afstrømmet regnvand.

Dosering med aluminiumsalte

Dosering af aluminiumsalte i indløbet til et vådt regnvandsbassin har ikke i væsentlig grad reduceret allerede opnåede koncentrationsniveauer af forurenende stoffer. Indholdet af svævende alger (fytoplankton) i bassinet er imidlertid i forhold til et forventet niveau væsentlig lavere, hvilket tilskrives flokdannelsen. Metoden er simpel både at etablere og at drive, men kræver hyppige tilsyn og supplering af kemikalier. Metoden kan anbefales i situationer, hvor opnåelse af klart vand i et bassin er et væsentligt kvalitetskriterium.

Referencer

- EU LIFE-TREASURE (2009), Funktion, dimensionering og drift af våde bassiner for videregående rensning af afstrømmet regnvand i byer, Teknisk Vejledning, pp 48.
- FHWA (1996), Evaluation and management of highway runoff water quality, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-PD-96-032, pp 457.
- Hvitved-Jacobsen, T. (1990), Design criteria for detention pond quality. In H.C. Torno (Ed.), Urban Stormwater Quality Enhancement - Source Control, Retrofitting and Combined Sewer Technology, ASCE (American Society of Civil Engineers) publication, 111-130.
- Hvitved-Jacobsen, T., J. Vollertsen, H.I. Madsen og J.J. Linde (2004), Er vi klædt på til at rense byernes regnvand om elleve år?, Dansk Vand, 72(6), 312-317.
- Hvitved-Jacobsen, T., J. Vollertsen, A.H. Nielsen (2010), Urban and Highway Stormwater Pollution: concepts and engineering, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp 544. ISBN 978-1-4398-2685-0.
- Jacobsen, O.S. (1977), Sorption of phosphate by Danish lake sediments, Vatten 3, 290-298.
- Jensen, H.S., P. Kristensen, E. Jeppesen and A. Skytthe (1992), Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. Hydrobiologia, 235/236, 731-743.
- Vollertsen, J., K.H. Lange, J. Pedersen, P. Hallager, A. Brink-Kjær, A. Laustsen, V.W. Bundesen, H. Brix, C. Arios, A.H. Nielsen, N.H. Nielsen, T. Wium-Andersen and T. Hvitved-Jacobsen (2009), Advanced stormwater treatment – comparison of technologies, 11th Nordic Wastewater Conference (NORDIWA), Odense, Denmark, November 10-12, 2009, pp 10.
- Wium-Andersen, T., A.H. Nielsen, T. Hvitved-Jacobsen and J. Vollertsen (2010), Reduction of stormwater runoff toxicity by wet detention ponds. In: G.M. Morrison, S. Rauch and A. Monzón (eds.) Highway and Urban Environment, Springer Verlag, Book Series: Alliance for Global Sustainability Series, Vol. 17, 169-176.
- Åstebøl, S.O. og J.E. Coward (2004), Overvågning av rensebaseng for overvann fra E6 Skullerudkrysset i Oslo, 2003-2004. Rapport fra COWI as, Norge, til Statens vegvesen, Norge, pp 29.

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Ulrik Højbjerg (formand)

EnviDan
Vejlssøvej 23, 8600 Silkeborg
e-mail: uhb@envidan.dk
Tlf. 8680 6344

Lene Bisballe (kasserer)

Moe & Brødsgaard A/S
Tørringvej 7, 2610 Rødovre
e-mail: lbi@moe.dk
Tlf. 4457 6000

Jan Nielsen

Rambøll
Hannemanns Allé 53, 2300 København S
e-mail: jxn@ramboll.dk
Tlf. 5161 8928

Lene Bassø

Aarhus Vand A/S
Bautavej 1, 8210 Århus V
e-mail: lba@aarhusvand.dk
Tlf. 8947 1142

Kasper Juel-Berg

Københavns Energi, Vand og Afløb, Plan
Ørestads Boulevard 35, 2300 Købehavn
e-mail: kjb@ke.dk
Tlf. 2795 4668

Niels Overgaard

Vandcenter Syd
Vandværksvej 7, 5000 Odense C
e-mail: nio@vandcenter.dk
Tlf. 6313 2326

Jan Scheel

Niras
Vestre Havnepromenade 9, 9100 Aalborg
e-mail: jns@niras.dk
Tlf. 3078 7560

e-mail:
eva@evanet.dk