Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

METSAM

MiljøEffektiv Teknologi til intelligent SAMstyring af spildevandssystemer

Krüger A/S, juni 2012

Titel:

METSAM, MiljøEffektiv Teknologi til intelligent SAMstyring af spildevandssystemer

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2012

Redaktion:

Alex T. Jørgensen, Carsten Thirsing, Dines Thornberg, Johanna Sörensen, Mai Sørud, Margit L. Christensen, Michael L. Petersen, Tina Kunnerup, Tine B. Önnerth, Troels S. Poulsen og Morten Grum

Illustration:

Johanna Sörensen, Michael L. Petersen

Kort:

ArcMap

ISBN nr.:

xxxxxx

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord **5**

Konklusion og sammenfatning **7**

Summary and Conclusion **10**

1. Indledning **13**

2. Udvikling **15**

2.1 Realtidsstyring af afløbssystemer 15

2.1.1 Beregningsopsætning 16

2.1.2 Erfaringer med DORA 17

2.2 SewerView 18

2.2.1 Datagrundlag 18

2.2.2 Brugergrænsefladen 18

2.3 Afstrømningsprognoser og deres sammenkobling til styringsmoduler 21

2.3.1 Regnprognose 21

2.3.2 Modelopstilling 22

2.3.3 Sammenkobling af realtidsstyringsmoduler og afstrømningsprognoser 24

2.3.4 Sammenkobling af afstrømningsprognoser og regnstyring på renseanlæg 25

3. Spildevandscenter Avedøre **26**

3.1 Baggrund 26

3.2 Opstilling 26

3.2.1 Ejby Øst pumpestation, PS01 28

3.2.2 Vallensbæk pumpestation, PS02 28

3.2.3 Grøn Kile, RB03 29

3.2.4 Høje Taastrup Syd, RB04 29

3.2.5 Spildevandscenter Avedøre, Indløbspumpestation 29

3.2.6 Spildevandscenter Avedøre, RB01 30

3.3 Offline test 30

3.3.1 Regndata 30

3.3.2 Afstrømningsprognose 31

3.3.3 Testdatoer 31

3.3.4 Effekt af DORAs styring 32

3.3.5 Følsomhedsanalyse af cost 38

3.4 Online test 40

3.5 Implementering 41

3.6 Resultater og diskussion 42

4. Københavns Energi og Lynetten **44**

4.1 Baggrund 44

4.2 Opstilling 44

4.2.1 Lersøledningen 46

4.2.2 Colosseum 46

4.2.3 Skt. Annæ Plads 47

4.2.4 Vestamager 47

4.2.5 Østamager 47

4.2.6 Strandvænget ... 47
4.2.7 Kløvermarken ... 47
4.2.8 Lynetten ... 48
4.3 Offline test ... 48
4.3.1 Regndata ... 48
4.3.2 Afstrømningsprognose ... 48
4.3.3 Testdatoer ... 49
4.3.4 Effekt af DORAs styring ... 49
4.4 Online test ... 52
4.5 Implementering ... 55
4.6 Resultater og diskussion ... 58

5. Damhusåen ... 60
5.1 Baggrund ... 60
5.2 Opstilling ... 60
5.3 Offline test ... 63
5.3.1 Regndata ... 63
5.3.2 Afstrømningsprognose ... 63
5.3.3 Testdatoer ... 64
5.4 Resultater og diskussion ... 64
5.5 Scenarieberegninger ... 66
5.5.1 Alle pumpekapaciteter øges (SC-1) ... 66
5.5.2 Afløbskapaciteten fra Enghave Kanal øges (SC-2) ... 67
5.5.3 Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges (SC-3) ... 69
5.5.4 Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges yderligere (SC-4) ... 70
5.6 Konklusion ... 72

6. Perspektivering ... 73
6.1 Tekniske fremtidsmuligheder ... 74

7. Formidling ... 75

Bilag 1: PLC specifikation for Spildevandscenter Avedøre

Bilag 2: Styring af PS01 pumpestation

Bilag 3: Offline tests for oplandet til Spildevandscenter Avedøre

Bilag 4: Test af cost for Lynetten

Bilag 5: PLC specifikation for Lynetten

Bilag 6: Offline test for oplandet til RA Lynetten

Bilag 7: Online test for oplandet til RA Lynetten

Bilag 8: Igangsætning METSAM

Forord

Dette projekt – METSAM - er blevet til ud fra ønsket om at vise mulighederne for at udnytte de **eksisterende** spildevandssystemers kapacitet bedre, med online styring på et overordnet plan i kombination med de nuværende mere lokale enhedsstyringer. Det overordnede plan betyder, at der tages hensyn til en ny type informationer om kommende nedbør (2 timers varsel), fordelingen af nedbør, den **aktuelle** vandmængde i systemerne, og ikke mindst den aktuelle kapacitet gennem renseanlægget og i bassiner i oplandet. Anvendelsen af disse informationer i overordnet online styring vil søge at optimere spildevandets vej i systemet i den enkelte mellemstore regnhændelse, så mest muligt spildevand renses, bassinvolumener udnyttes bedst muligt, og den samlede mængde overløb minimeres og sker til de mindst følsomme recipienter.

Baggrunden er, at forsyningsselskaber i såvel Danmark som udland står over for mange udfordringer, hvor blandt andet klimaforandringer (forebyggelse og tilpasning), vandrammedirektivet og badevandsdirektivet, er nogle af de service- og miljømæssige udfordringer, der ikke nødvendigvis trækker i samme retning. Med aktiv online styring kan man optimere udnyttelsen af eksisterende spildevandssystemer og dermed reducere investeringerne i ny-anlæg.

Formålet er at **udvikle, sammenkoble, teste og demonstrere intelligente styringsteknologier**, som kan håndtere udfordringerne ved at optimere udnyttelsen af eksisterende spildevandssystemer.

Aktuelt er der fokuseret på at udvikle ny software til et overordnet styringsmodul samt på at konfigurere og sammenkoble styringen af de to spildevandsoplande:

- Renseanlæg Lynetten (primært fælleskloakeret)
- Spildevandscenter Avedøre (primært separatkloakeret)

På det tredje opland i projektet er det overordnede styringsmodul anvendt som alternativ beregningsmetode på forskellige scenarier, for en kommende mulig udbygning af oplandet til renseanlæg Damhusåen.

Projektet er igangsat 1. december 2010, med afslutning 1. juni 2012. Parterne bag projektet har besluttet at videreføre og videreudvikle projektet for at opnå endnu flere erfaringer.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Krüger A/S og Udviklingssamarbejdet (Københavns Energi, Lynettefællesskabet I/S og Spildevandscenter Avedøre). Projektet har et samlet budget på 7,3 mio. kr. med støtte fra Miljøstyrelsen på knap 2 mio. kr.

Til projektet er der tilknyttet en **styregruppe** bestående af:

Torben Knudsen, direktør, Lynettefællesskabet I/S
Per Jacobsen, forsyningsdirektør, Københavns Energi
Jens Prisum, direktør, Spildevandscenter Avedøre
Leif Bentsen, direktør, Krüger A/S

Desuden er der tilknyttet en **faglig og teknisk sparringsgruppe**, som består af følgende udvalgte personer fra de deltagende virksomheder og Naturstyrelsen:

Niels Bent Johansen, udviklingschef, Københavns Energi
Carsten Thirsing, projektleder/IT-chef, Lynettefællesskabet I/S
Helmer Petersen, projektchef, Spildevandscenter Avedøre
Ole Fritz Adeler, afdelingschef, Krüger A/S
Theis Gadegaard, markedschef, Krüger A/S
Jens Jørgen Linde, chefkonsulent, Krüger A/S
Karin Dahlgren, akademiingeniør, Naturstyrelsen

Projektet er støttet af Miljøministeriet ved By- og Landskabsstyrelsen (pr. 1/1 2011 ændret til Naturstyrelsen), inden for programmet "Miljøeffektiv Teknologi 2010".

Konklusion og sammenfatning

Formålet med METSAM-projektet er at **udvikle, demonstrere og evaluere en omkostningseffektiv realtidsstyringsteknologi i fuld skala**, som vil kunne optimere eksisterende spildevandssystemer. Dette er relevant bl.a. i forhold til klimatilpasning, vandmiljø og serviceniveau.

Formålet med en overordnet realtidsstyring er at få en bedre udnyttelse af eksisterende og fremtidige spildevandssystemer, hvor spildevandssystem er defineret som både afløbssystem og renseanlæg. Ved at udnytte volumen i afløbssystemet bedre kan udbygningsomkostninger skæres ned, samtidig med at der kan ledes mere vand til renseanlæg, frem for at det ledes urenset til recipient. Den overordnede realtidsstyring vil aldrig stå alene, men bør bruges i kombination med anlæg af bassiner, frakobling af regnvand, og lokal rensning af overløbsvand.

Der er i dette projekt udviklet en ny overordnet realtidsstyringsteknologi til afløbssystemer, hvor der bl.a. er implementeret en styringsmetode fra forskningsprojektet Storm and Wastewater Informatics, gennemført under det strategiske forskningsråd. Realtidsstyringsteknologien er hovedsageligt blevet testet ved hjælp af offline tests, men har også kørt i online tests, og er blevet implementeret i projektområdet for Lynettens opland. For Spildevandscenter Avedøres opland har online tests været sparsomme på grund af IT-kommunikationsudfordringer, og implementering i projektperioden for dette projektområde har derfor ikke været mulig.

En dynamisk risikoanalyse sikrer, at eventuelle uundgåelige overløb sker på de miljømæssigt mest hensigtsmæssige steder. Offline tests med modelberegninger af afløbssystemerne indikerer, at den overordnede realtidsstyring er i stand til at omfordele vandet i styringspunkterne, således at overløb i højere grad sker der, hvor (miljø)omkostningerne, også benævnt cost, er lavest. I visse oplande, hvor fordelingen i dag er fastlagt på et spinkelt grundlag, opnås der ved en overordnet realtidsstyring et mere objektivt grundlag for fordelingen af disse overløb.

Resultaterne er sparsomme, og for at kunne fastlægge effektens størrelse anbefales det, at der arbejdes mod gennemførelse af flere offline tests. Således vil det blive muligt at opbygge et egentligt statistisk grundlag, der kan danne basis for en vurdering af metoden og dens evner til at opnå de ønskede mål.

Der har i projektperioden ikke været ordentlig lejlighed til at demonstrere effekterne af styringerne i en række ægte driftssituationer, men der satses på at fortsætte med at køre med styresystemerne i deres nuværende form, for således at teste dette i et halvt til et helt år fremover.

Cost på overløb er en af de væsentlige parametre i forhold til hvor vandet styres hen under regn. En følsomhedsanalyse af cost-parametrene tyder dog på, at det er svært at tvinge systemerne til at holde vand tilbage.

Overordnet set kan følgende konkluderes:

- Der er udviklet ny overordnet realtidsstyring (software) til afløbssystemer.
- Det er muligt at koble radarbaserede afstrømningsprognoser sammen med styring af afløbssystem og renseanlæg.

- Der er opstillet simuleringsmiljø, hvor effekten af den overordnede styring kan evalueres ved beregninger med hydrauliske modeller, og med brug af radardata. Simuleringsmiljøet kører online på en styringsserver, mens regnhændelsen sker og kan også benyttes til offline efterevaluering af regnhændelser.
- Beregningerne for enkelte regnhændelser viser varierende effekt, hvilket stemmer overens med undersøgelser foretaget i forskningsprojektet Storm and Wastewater Informatics [Vezzaro, L. og Grum, M., A generalized Dynamic Overflow Risk Assessment (DORA) for urban drainage RTC– 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade, 2012]. Her ses det, at der for den enkelte regnhændelse godt kan være en begrænset eller endda negativ effekt, selv om der set over flere hændelse er en generel reduktion af overløbsmængder.
- Der er opstillet to prototyper på overordnede styringssystemer til fælles styring af afløbssystemer og renseanlæg.
- Der er skabt en interaktiv, grafisk brugergrænseflade, som giver et umiddelbart indblik i fordelingen af vand i systemet. Den giver også mulighed for at gå tilbage og animere tidligere regnhændelsers forløb.
- Den opstillede styring tager hensyn til regnhændelsernes geografiske variation, således at den sikrer optimal fordeling af vand i afløbssystemet. Teorien bag modellen til dette formål er dog ikke testet direkte på enkelthændelser.

Ud fra den del som omhandler Damhusåen, kan der desuden konkluderes følgende:

- Offline beregninger belyser sammenhængen mellem lednings- og pumpekapaciteter, og hvad der opnås ved indførelse af en overordnet realtidsstyring. Sammenhængen viser, at en vis grad af fleksibilitet i afløbssystemet er nødvendig, for at der kan opnås et godt resultat.
- Gennem dette projekt er der ikke skabt et klart billede af i hvor høj grad det er muligt at fortage besparelser i anlægsinvesteringer ved indførelse af en overordnet, regnprognose-baseret realtidsstyring, hvilket ellers var forventet. Dette skyldes, at det under projektet ikke har været muligt at gennemregne tilstrækkeligt mange regnhændelser, til at der kan drages konklusioner vedrørende dette.

I det følgende er konklusionerne for de tre projektoplande - Spildevandscenter Avedøre, Lynetten og Damhusåen - kort gennemgået.

Spildevandscenter Avedøres opland er hovedsageligt separatkloakeret. I dette opland viste offline tests i to ud af tre tilfælde en klar gevinst ved anvendelse af den nye realtidsstyring. Det var muligt helt at undgå overløb i nogle af de omkostningsmæssigt dyre punkter, og i stedet flytte overløb til renseanlægget, hvor omkostningen var væsentligt lavere. Offline tests viste også, at de samlede overløbsmængder generelt steg, men at overløb i stedet skete i de punkter, hvor de gjorde mindst skade. For flere af punkterne blev den maksimale vandføring øget fra status til scenarie-beregningerne, og det vides ikke hvor stor betydning dette har haft for resultaterne i offline tests. Online tests og implementering blev begrænset på grund af IT-kommunikationsudfordringer, og det er derfor svært at konkludere noget ud fra disse tests. Online tests nåede dog at vise, at kommunikationen kan køre, og at styringen således kan testes yderligere og implementeres når IT-problemerne er løst.

Lynettens opland er hovedsageligt fælleskloakeret. I dette opland viste offline tests små reduktioner af overløbsomkostningerne. For de betragtede regnhændelser lykkedes det ikke at undgå overløb i et eller flere af styringspunkterne, men resultaterne viste, at det ved anvendelse af den nye overordnede realtidsstyring var muligt at reducere overløbsmængden ganske betydeligt. Ved små regnhændelser tilbageholdes vand i afløbssystemet, således at bypass på renseanlægget reduceres. Ved de almindelige regnhændelser flyttes risikoen for overløb til de kystnære områder i afløbssystemet, afhængigt af den opstillede costbestemmelse. Online tests blev anvendt til at kvalitetssikre output fra den nye realtidsstyring samt til at beregne setpunkter, som blev anvendt

under implementeringen. I april og maj 2012 er der gennemført live-forsøg med den nye overordnede realtidsstyring på dele af Lynettens oplandsstyringspunkter. Disse live-beregninger har ikke givet nogen spændende resultater under regn, da der ikke har været nok tilstrækkelige regnhændelser, dog har beregningerne afsløret et behov for justeringer i styringsalgoritmen, som nu er blevet implementeret.

For **Damhusåens opland** er der kun gennemført offline tests. Her er det forsøgt at undersøge, om den nye overordnede realtidsstyring kan anvendes som planlægningsværktøj. Der er opstillet en numerisk model for afløbssystemet indeholdende eksisterende og fremtidige volumener, og det er herefter forsøgt at beregne, hvordan den nye overordnede realtidsstyring påvirker overløbsmængderne under forskellige scenarier. Dette er gjort ud fra den betragtning, at et reduceret overløbsvolumen vil kunne sidestilles med et bassinvolumen, der kunne være reduceret. Resultaterne bygger på beregninger med enkeltregnhændelser, og der er derfor ikke mulighed for at kunne foretage en helhedsvurdering. Konklusionen er, at resultaterne bør suppleres med flere beregninger og herefter undersøges yderligere, før der kan drages en endelig konklusion vedrørende omfanget af de besparelser i anlægsinvestering, der kan forventes ved implementering af styringen.

Forsyningsselskaber over hele Europa står over for store anlægsinvesteringer for at leve op til vandrammedirektivet, badevandsdirektivet og lokale rekreative og miljømæssige målsætninger. Her fremstår en overordnet realtidsstyring af spildevandssystemet som en væsentlig teknologi i forhold til at minimere de samfundsmæssige omkostninger til bassiner og rensekapacitet. Med METSAM-projektet er der taget et afgørende skridt i retning af at skabe en tilgang og løsning, der bredt giver mulighed for at gennemføre disse besparelser i anlægsinvestering og reduktion af miljøpåvirkning.

Summary and Conclusion

The purpose of the METSAM project is to **develop, demonstrate, and evaluate a full-scale cost-effective real time control technology** which is able to optimize existing sewer systems. This is relevant, for example in relation to climate adaption, water environment and service level.

The aim of an overall real time control is to obtain a better utilization of existing and future systems. By utilizing the volume in the sewer system more efficiently, it is possible to reduce extension costs and at the same time lead more water to the treatment plants instead of leading it untreated to the recipient. The overall real time control can never stand alone, but should be used in combination with building of tanks, disconnection of stormwater, and local treatment of overflow water.

Under the present project, a new overall real time control technology for sewer systems has been developed, implementing, among other things, a control method from the research project Storm and Wastewater Informatics realized under The Danish Council for Independent Research (Det Strategiske Forskningsråd). The real time control technology has mainly been tested in offline tests, but has also operated in online tests and has been implemented in the project area for the catchment area of Lynetten. For the catchment area of Spildevandscenter Avedøre, there have been only few online tests due to IT communication challenges, and consequently it has not been possible to implement the technology in the project period for this project area.

A dynamic risk analysis secures that any unavoidable overflow is limited to the environmentally most appropriate places. Offline tests with model calculations of the sewer systems indicate that the overall real time control is capable of redistributing the water in the control points so that the overflow tends to take place where the (environmental) costs, also called cost, are lowest. In certain catchment areas, where the present distribution has been determined on more slender grounds, an overall real time control will form a more objective basis for the distribution of these overflows. The results are not final, and in order to determine the full effect it is recommended to conduct further offline tests. Such tests will enable an actual statistic basis to be built up, on which the method and its capability to obtain the desired goal can be evaluated.

Cost on overflow is one of the essential parameters in relation to where the water is led during rain. A sensitivity analysis of the cost parameters, however, seems to indicate that it is difficult to force the systems to retain the water.

In overall terms, the following can be concluded:

- A new overall real time control (software) for sewer systems has been developed.
- It is possible to link radar-based run-off prognoses with control of sewer system and treatment plant.
- A simulation environment has been established where the effect of the overall control can be evaluated by means of calculations in hydraulic models and using radar data. The simulation environment operates online on a control server during the rain event and can also be used in offline post-evaluation of rain events.
- The calculations for individual rain events show varying effect which agrees with investigations performed under the research project Storm and Wastewater Informatics [Vezzaro, L. og Grum, M., A generalized Dynamic Overflow Risk Assessment (DORA) for urban drainage

RTC– 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade, 2012]. It is seen that for the individual rain event there may be a limited, or even negative effect even if there is a general reduction of the overflow quantities measured over several rain events.

- An interactive, graphic user interface has been created which gives an immediate insight in the distribution of water in the system. It also makes it possible to go back and animate the progress of previous rain events.
- This new control also considers the geographic variation of the rain events, thus ensuring an optimal distribution of water in the sewer system. The theory behind the model for this purpose, though, has not been tested direct on individual rain events.

From the part dealing with Damhusåen, the following can be concluded:

- Offline calculations illustrate the connection between pipe and pump capacities and what is obtained by introducing overall real time control. The connection shows that a certain flexibility in the sewer system is necessary to obtain a good result.
- The present project does not give a clear picture of the possibility to reduce plant investment costs by introducing overall, rain prognosis based real time control, although this had been expected. This is due to the fact that during the project, there has not been a sufficient number of rain events to make conclusions on this issue.

The conclusions for the three catchment areas – Spildevandscenter Avedøre, Lynetten and Damhusåen – are briefly described below.

The **Spildevandscenter Avedøre catchment area** is mainly a separate sewer system. In this area, offline tests showed in two out of three cases a clear benefit from using the new real time control. It was possible to completely avoid overflows at some of the most costly points and instead move the overflow to the treatment plant where the costs are considerably lower. Offline tests also showed a general increase of the total overflow quantity, but also that the overflow occurred at the points where they did the least harm. At several points, the maximum water flow increased from status to scenario calculations, and the influence of this on the results in the offline tests is not known. Online tests and implementation were limited due to IT communication challenges. Therefore it has been difficult to conclude anything on the basis of these tests. However, online tests succeeded in proving that the communication can work, and that the control can be tested further and implemented when the IT problems have been solved.

The **Lynetten catchment area** is mainly provided with a combined sewer system. Offline tests in this area showed small reductions of overflow costs. During the tested rain events, it was not possible to avoid overflow at one or more of the control points, but the results showed that by using the new overall real time control it was possible to reduce the overflow considerably. During small rain events, water is retained in the sewer system so that bypass on the treatment plant is reduced. During ordinary rain events, the risk of overflow is moved to the coastal areas in the sewer system, depending on the defined cost distribution. Online tests were used to ensure the quality of the output from the new real time control and to calculate set points which were used during the implementation. In April and May 2012, live-tests with the new overall real time control were carried out at some of Lynetten's control points in the catchment area. These live-tests have not shown any interesting results during rain, due to lack of adequate rain events; however, the live-tests have revealed a need for adjustments in the control algorithm which have now been implemented.

For the **Damhusåen catchment area**, only offline tests have been performed. The purpose was to investigate whether the new overall real time control can be applied as a planning tool. A numerical model for the sewer system has been set up, including existing and future volumes, and calculations were made of the impact of the new overall real time control on the overflow quantities

in different scenarios. This was done on the assumption that a reduced overflow volume can be compared with a tank volume that could have been reduced. The results are based on calculations from single rain events, and therefore it is not possible to make an overall assessment. The conclusion is that the results should be supplemented with further calculations and investigated in more detail. Based on the results of these investigations, the size of the savings in plant investment costs to be expected after implementation of the control can be finally evaluated.

Water Utility Companies all over Europe are facing huge plant investments in order to fulfil the water framework directive, the bathing waters directive as well as local recreational and environmental objectives. In this context, overall real time control of the sewer system stands as a significant technology in the attempt to minimize the costs for tanks and treatment capacity. With the METSAM project, an important step has been taken towards creating an approach and a solution that will enable these savings in plant investment and reduction of the environmental impact to be achieved.

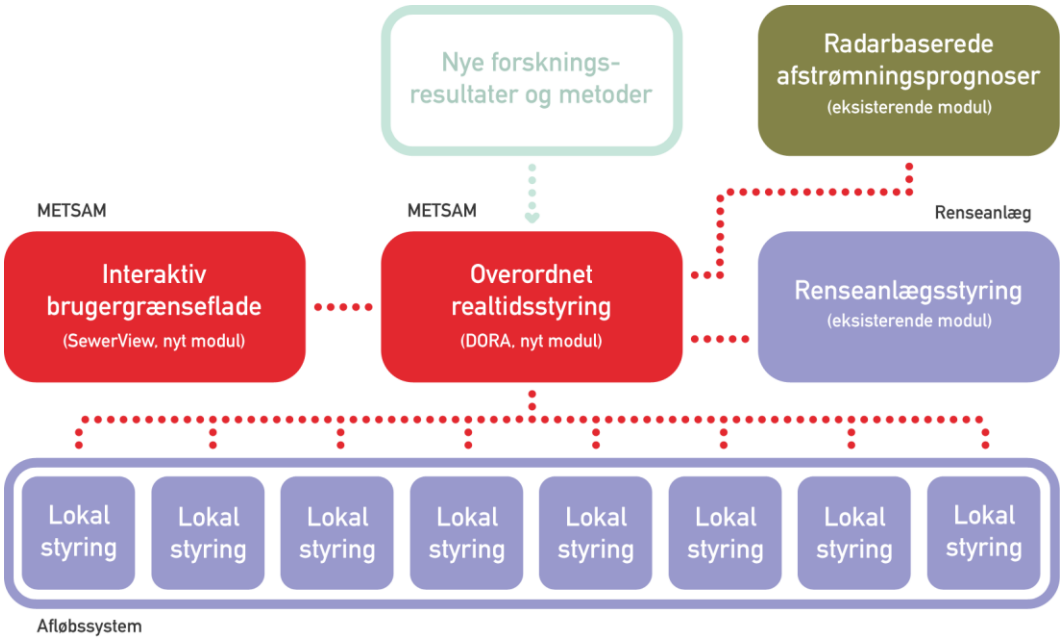
1. Indledning

Når det regner, fyldes afløbssystemet med en blanding af regnvand og spildevand, og nogle gange løber det over. I København og på Københavns Vestegn løber det hovedsagelig direkte i Øresund og Køge Bugt, men også en del i den indre havn og i vandløbene. Sker der overløb til de indre vande, kan badevandskvaliteten ikke altid opretholdes, og badning på nærliggende strande og i havnebade må opgives.

I fælleskloakerede afløbssystemer findes en række forsinkelsesbassiner, hvor det fortyndede spildevand kan gemmes, til regnen er forbi for herefter at ledes til rensning. Alle bassiner er tilknyttet et overløbsbygværk, hvor det opspædede spildevand kan løbe mod en recipient, hvis bassinet er fyldt. En del af bassinerne tømmes ved hjælp af en pumpe eller et spjæld, som det er muligt at styre. De nuværende styringer af bassinerne er fortrinsvis baseret på lokale målinger, hvilket betyder, at de enkelte bassiner har hver deres styring for tømning og fyldning, en styring der typisk afhænger af niveauet i den ledning, der fører spildevandet videre. Denne styring er derfor uafhængig og uvidende om situationen andre steder i afløbssystemet og på renseanlægget.

Formålet med METSAM-projektet (Miljø-Effektiv Teknologi til intelligent SAMstyring af spildevandssystemer) er at udvikle, demonstrere og evaluere en omkostningseffektiv realtidsstyringsteknologi i fuld skala, som vil kunne optimere eksisterende spildevandssystemer.

I METSAM er der udviklet en overordnet realtidsstyring af afløbssystemet. METSAM vil koordinere mellem kapaciteter forskellige steder i hele spildevandssystemet – herunder renseanlæggenes kapacitet, som typisk er flaskehals i systemet – og dermed være med til at sørge for, at der sker mindst mulig skade på recipienterne i regnvejr som følge af overløb, samt at mest muligt vand føres videre til rensning på renseanlæggene.



Billede 1 Illustration af udviklingen indeholdt i METSAM-projektet.

I METSAM er DORA (Dynamic Overflow Risk Assessment) selve maskinen bag den overordnede realtidsstyring. DORA er et resultat af en kombination af ny teknik og viden og giver mulighed for, at der udføres mere intelligente styreindgreb i afløbssystemet. Med viden i realtid om regnforudsigelse, afstrømning på overflader, flow i afløbssystemet, samt behandlingskapaciteten på renseanlægget, finder DORA ud fra en dynamisk risikovurdering for overløb alternative muligheder for at holde vandet tilbage i de bassiner, hvor det er mest hensigtsmæssigt. På lignende måde som kameraer og hastighedstavler styrer trafikken overordnet, skal det opspædte spildevand ved hjælp af målinger, spjæld og pumper dirigeres i afløbsledningerne for derved at tømme bassinerne på den mest fordelagtige måde.

Integrationen mellem afløbssystem og renseanlæg sker ved at udnytte en omstilling til en særlig styring, hvorved rensekapaciteten på renseanlægget kan øges til et højere flow end sædvanligt. Denne omstilling fungerer bedst med nogle timers forvarsel , men bør omvendt ikke ske, uden at der er behov for det. Ved at kombinere viden om regnens forventede geografiske udbredelse med viden om opbevaringsmulighederne i bassinerne kan kapaciteten på renseanlægget reguleres mere effektivt.

Den forventede geografiske udbredelse opnås ved en fortolkning af DMIs radardata, hvor der opnås en viden om, at regnvejret f.eks. vil blive mere intensivt i syd end i nord. Dette giver mulighed for koordineret at styre mere vand fra de sydlige områder til renseanlæggene for på den måde at give de sydligt placerede bassiner mulighed for at rumme resten af det nedbørsopblandede spildevand, og dermed undgå eller mindske overløb.

2. Udvikling

2.1 Realtidsstyring af afløbssystemer

DORA beregner løbende en risiko for overløb i udvalgte punkter, typisk på steder i afløbssystemet hvor der findes en fysisk overløbsmulighed og et magasineringsvolumen med regulerbar tømning og forsøger at minimere dem samlede risiko.

Risikoberegningen medtager mange faktorer i vurderingen af en relativ omkostning. Omkostningen er ikke målt i kroner, men snarere en sandsynlighed gange en konsekvens. Faktorerne der medregnes er:

- Volumen af bassinet samt hvor fyldt det er
- Den forventede tilstrømning af vand til bassinet
- Omkostning ved overløb til recipienten, kaldet cost
- Min- og maksgrænser på den videreførende kapacitet i hvert punkt
- Renseanlæggets aktuelle kapacitet

Styringspunkterne i systemet aflaster til forskellige recipienter. DORA tager højde for recipienternes følsomhed over for nedbørsopblandet spildevand med den cost, som er tilknyttet hvert styringspunkt. Cost-værdien er enhedsløs og indgår i cost-funktionen. Størrelsen af det enkelte punkts cost er kun vigtig, når den betragtes i forhold til cost for de andre punkter. Har punkt A en cost på 1 og punkt B en cost på 10, betyder det, at et overløb ved B er 10 gange ”dyrere” end et overløb ved punkt A. Overløb til en følsom recipient vil medføre en højere omkostning end ved overløb til en mere hårdfør recipient, og dette forsøger styringen at tage højde for ved at ændre afløbet for hvert styringspunkt, således at overløb undgås helt, eller ved at sørge for at et overløb som det ikke kan undgås finder sted, sker hvor det gør mindst skade. DORA forsøger altså at minimere den samlede cost, som beregnes i cost-funktionen.

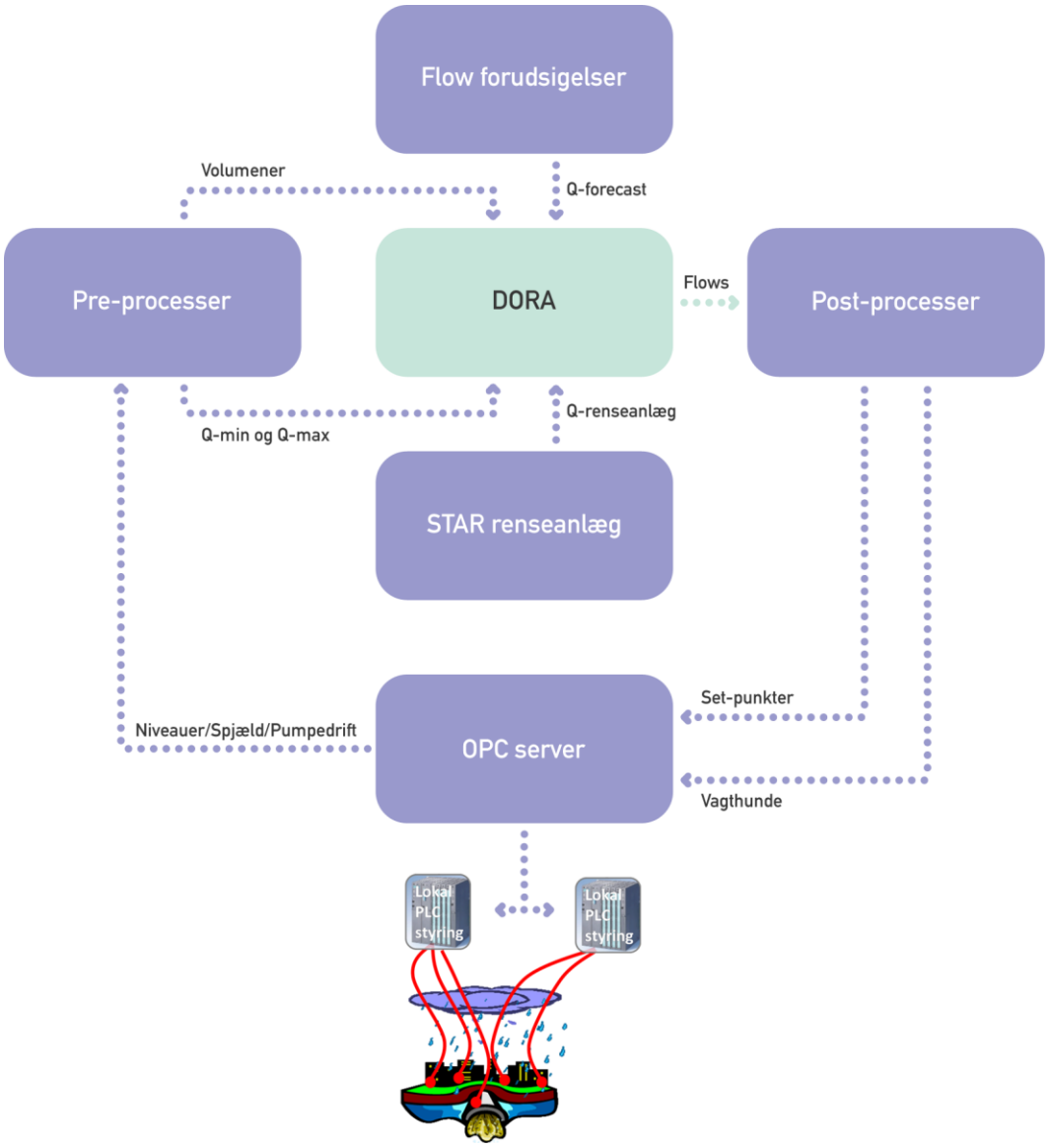
På samme måde som for cost-funktionen er der for hvert overløbsbygværk også tilknyttet en Discount-funktion, som dog kun spiller en rolle for optimeringen, når bassinerne er næsten tomme, og overløbsrisikoen derfor er lav. Discount-funktionen efterligner strategien fra en traditionel lokal realtidsstyring ved, at den tildeler en lavere cost til kontrolindstillingerne, som derved sikrer en hurtigere tømning af bassinerne. Dette medfører, at oplandene er bedre rustet til eventuelle regnhændelser, der måtte falde efter regnforudsigelsens tidshorisont.

DORA er i stand til at udføre to sideløbende risikoberegninger og derved levere to forskellige styringsstrategier. Den ene er baseret kun på tørvejrsflow og nuværende vandstand i bassinerne. Den anden er ligeledes baseret på tørvejrsflow og nuværende vandstand i bassinerne, men tager også højde for afstrømningsprognoser, således at denne styringstrategi også bygger på den forventede fyldning af bassinerne, ud fra hvor og hvordan nedbøren nu og i nær fremtid falder over oplandene.

Ved en optimeringsprocedure bliver den relative risiko udregnet således, at risikoen er jævnt fordelt over alle punkter, med mindst mulig forventede omkostninger, hvorefter styringen indstiller mod en sådan optimeret vandfordeling i det virkelige afløbssystem. Realtidsstyringen vil således kunne forbedre koordineringen mellem, hvor meget vand renseanlæggene kan modtage, og hvor hurtig en bassintømning der er hensigtsmæssig i forhold til prognoserne.

2.1.1 Beregningsopsætning

Ud over DORA-modulet består opsætningen af styringen også af et pre- og postmodul, som hhv. omsætter data fra SRO-anlægget til anvendelige data for DORA og omsætter output fra DORA til styrings-setpunkter i SRO'en. Billede 2 viser en oversigt over beregningsgangen.



Billede 2 Oversigt over kommunikation i forbindelse med DORAs styring.

2.1.1.1 Pre-processer

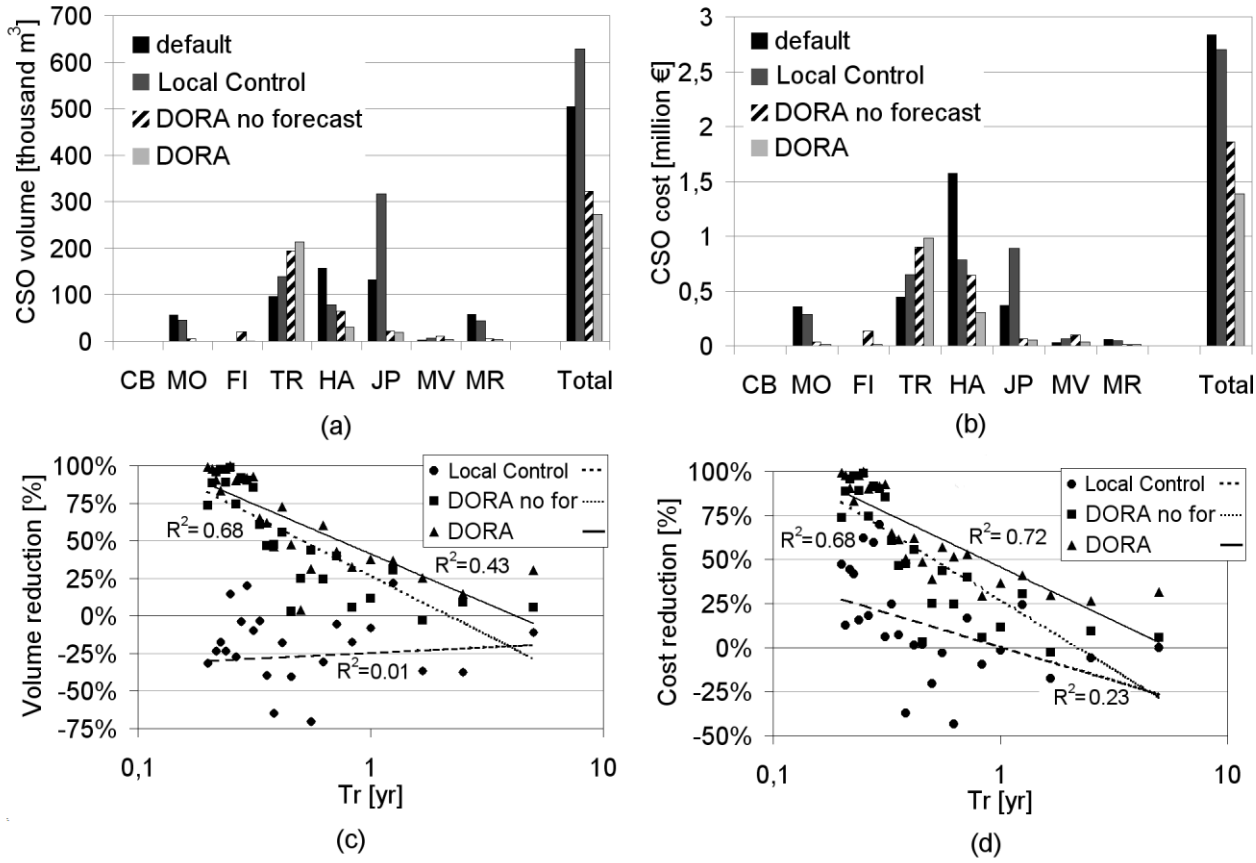
I pre-processor indlæses data fra SRO'ens OPC-server. Dette vil typisk være niveauer i bassiner og pumpesumpe, nuværende spjældindstillinger, pumpedrift og andre informationer om systemet. Disse omdannes i pre-processorne til anvendelige data for den overordnede styrestrategi DORA, f.eks omdannes et niveau i et bassin til et volumen ud fra en beskrivelse af bassingeometrien. DORA skal bruge volumener i styringspunkter samt øjeblikkelige minimum- og maksimumvandføringer. I offline beregninger kommunikerer pre-processerne med modellen i stedet for en OPC-server.

2.1.1.2 Post-processer

Output fra DORA er et optimalt flow for hvert styringspunkt. Ofte er de lokale PLC'er ikke programmeret således, at det er muligt at sende et flow til dem som setpunkt. I post-processerne omsættes de optimale flows derfor til setpunkter, som sendes til OPC-server og derfra videre til PLC'er, som vil give det ønskede flow. I offline beregninger kommunikerer post-processerne med modellen i stedet for en OPC-server.

2.1.2 Erfaringer med DORA

Sideløbende med METSAM-projektet er DORA også benyttet i forskningsprojektet Storm and Wastewater Informatics (SWI). Her er der kørt beregninger med forsimplede modeller af afløbssystemet i Aarhus. Disse forsimplede modeller beskriver ikke virkeligheden lige så godt som modellerne, der er anvendt i dette projekt, men det har muliggjort gennemførelsen af så mange beregninger, således at resultaterne kan betragtes statistisk. Der er lavet beregninger med et statussystem uden styringer, et system med lokale RTC-styringer, et system med DORAs styring uden forecast, samt et system med DORAs styring med forecast. Billede 3 viser resultaterne fra disse tests.



Billede 3 Resultater fra tests med DORA og en forsimplet model. [Vezzaro, L. og Grum, M., A generalized Dynamic Overflow Risk Assessment (DORA) for urban drainage RTC– 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade, 2012]

På billede 3 er der fire forskellige grafer. Graf (a) viser det totale overløbsvolumen for alle de testede hændelser. Graf (b) viser de samlede omkostninger for alle de testede hændelser. Graf (c) viser ændringen i overløbsvolumen i forhold til status for de forskellige hændelser. Graf (d) viser ændringen i cost i forhold til status for de forskellige hændelser.

Betragtes resultaterne i billede 3 ses det, at DORAs styring generelt ser ud til at reducere både overløb og cost. Sammenlignes resultaterne for de enkelte hændelser (c og d) ses det, at reduktionen varierer fra hændelse til hændelse. For nogle af hændelserne er overløbsvolumen og cost med DORA uforandret i forhold til status, mens der for andre opleves en reduktion på op til 100 %. Sammenlagt ser reduktionen ud til at være størst for hændelser med lav gentagelsesperiode (Tr), mens reduktionen for hændelser med højere gentagelsesperiode nærmer sig nul.

I beregningerne med komplicerede modeller i denne rapport har det kun været muligt at beregne på enkelthændelser. Resultaterne fra ovenstående arbejde, som er udført sideløbende med METSAM-projektet, viser, at resultaterne for enkelthændelser varierer så meget, at man ved tilfældig udvælgelse af få hændelser vil have svært ved at konkludere noget endeligt. Ved et større antal hændelser viser resultaterne, at potentialet med DORA er stort.

2.2 SewerView

Det er muligt at overvåge styringen i den eksisterende STAR-brugergrænseflade, men i forbindelse med METSAM-projektet er der også udviklet en ny brugergrænseflade kaldet SewerView. Formålet med SewerView er at give et hurtigt og let overblik over systemets og styringens øjeblikkelige tilstand samt at muliggøre analyser af hændelser, efter at de er overstået. I det følgende gennemgås de SewerView, som er opsat for oplandene for hhv. Lynetten og Spildevandscenter Avedøre (SCA). På trods af at det er to forskellige lokationer, er de to SewerView i bund og grund ens.

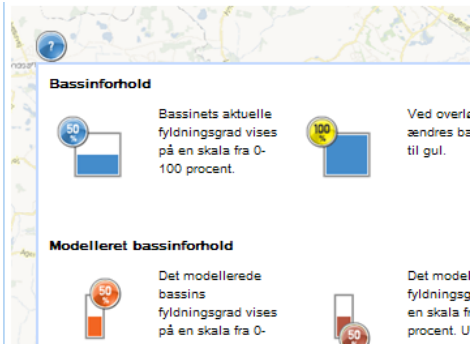
2.2.1 Datagrundlag

STAR-databasen ligger også til grund for SewerView. Ligesom den eksisterende STAR-brugergrænseflade henter SewerView sine data fra denne database. Dataene kommer ind i STARs database fra det respektive forsyningsselskabs SRO-maskiner.

Ud fra værdierne i databasen er SewerView i stand til at vise det tilhørende foruddefinerede ikon. Dette kan være f.eks. bassinfyldninger, pumpedrift, spjældindstillinger eller lignende.

2.2.2 Brugergrænsefladen

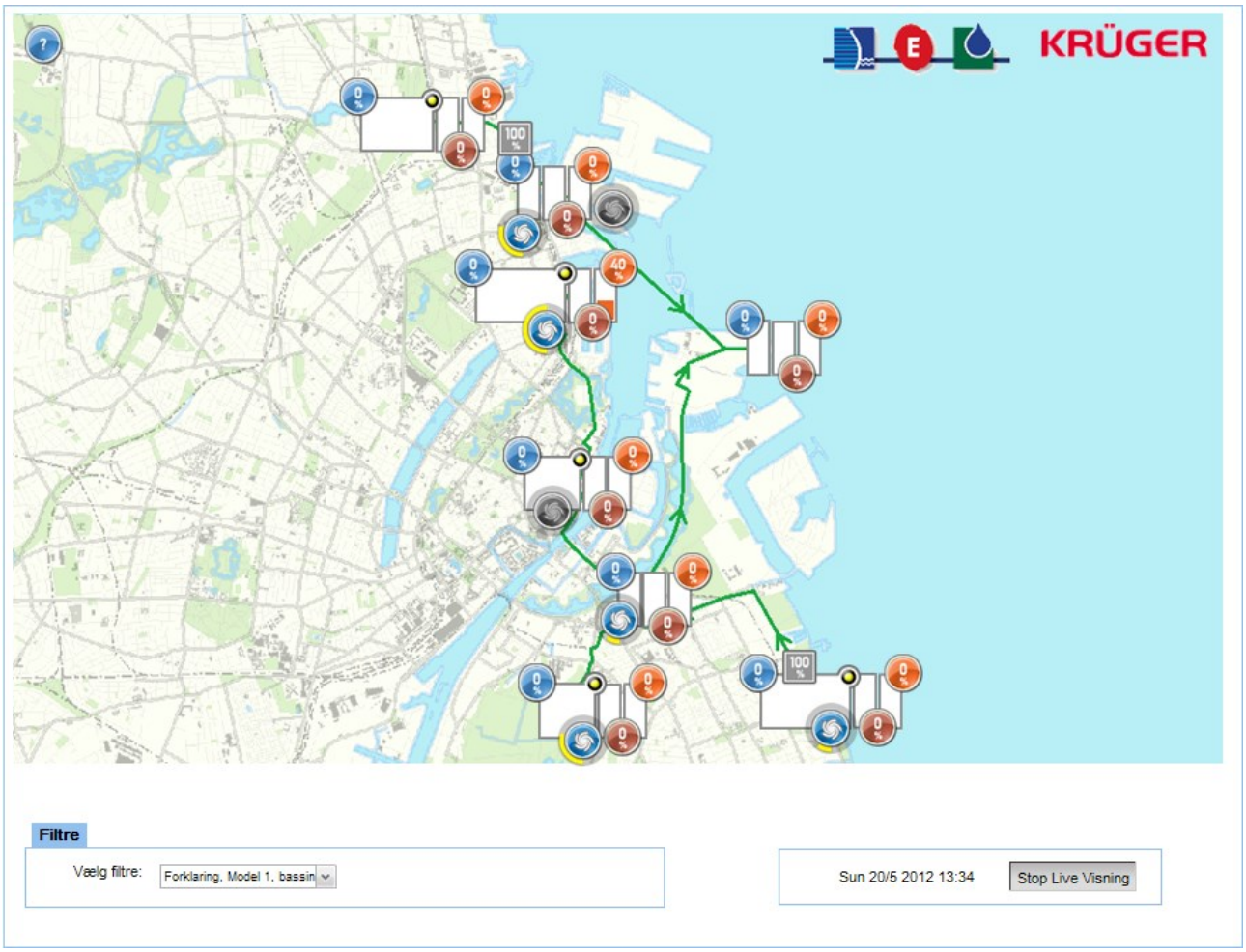
SewerView er browser-baseret, dvs. at den i teorien kan ses fra en hvilken som helst PC eller tablet, som har en nyere internet-browser. I realiteten afhænger det naturligvis af de sikkerheds-restriktioner som forsyningsselskaberne har på, hvem der har adgang til data.



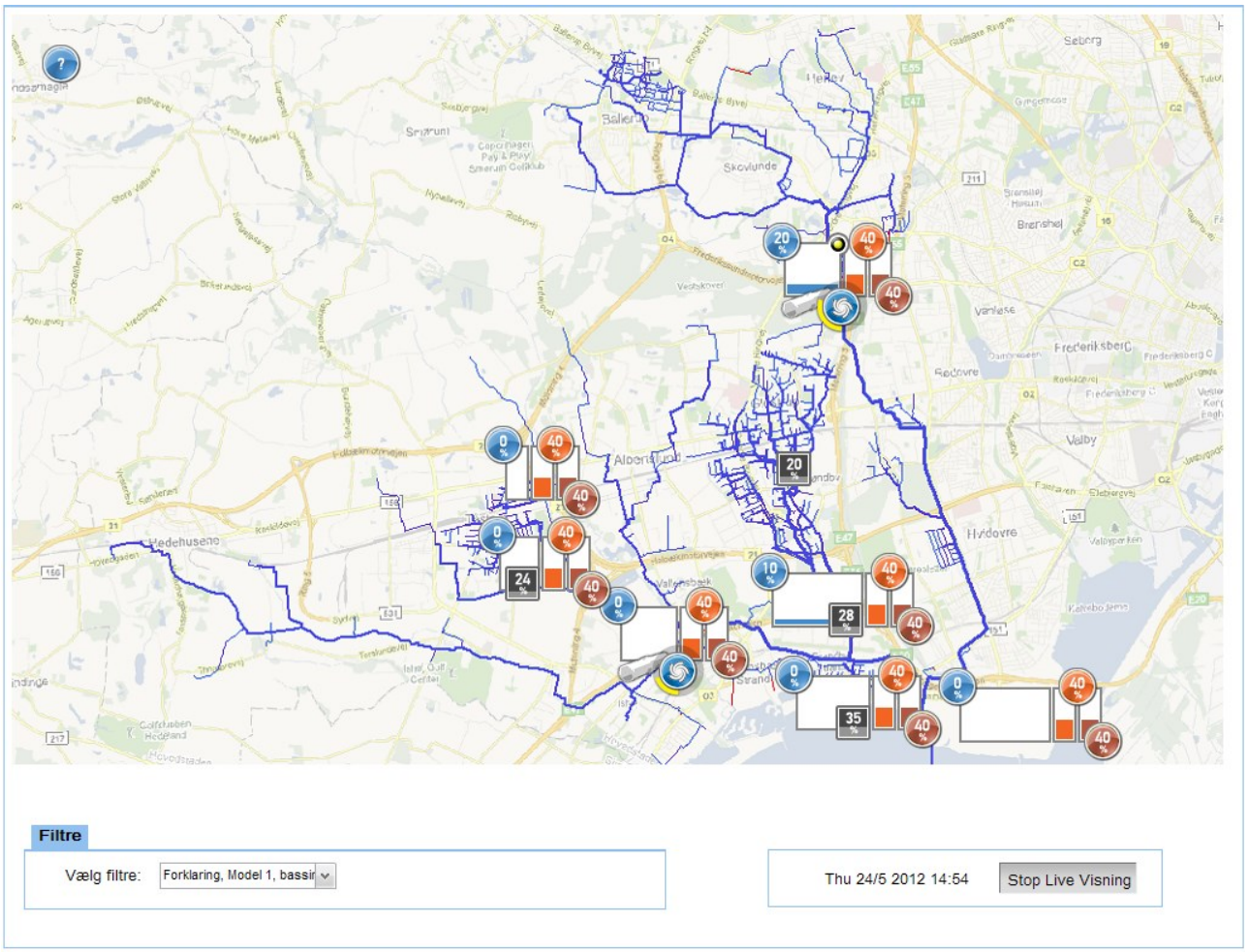
Billede 4 Signaturforklaring i SewerView.

Ved adgang til SewerView mødes brugeren af et oversigtsbillede over systemet og dets øjeblikkelige tilstand. Der kan ses flere forskellige typer ikoner. Ønsker man en forklaring af de forskellige ikontyper, kan man føre musemarkøren over spørgsmålstegnet i venstre hjørne af oversigtsbilledet. Herved fremkommer en forklaring til de forskellige ikoner, der vises på skærmen. Som udgangspunkt findes der ikoner for bassinfyldning (målinger, model med statusstyring og model med DORAs styring), pumpedrift, spjældåbning samt driftsstatus på DORA. Der er mulighed for at tilføje ekstra ikoner efter forsyningsselskabernes ønske.

Billede 5 viser oversigtsbilledet fra Lynetten, mens billede 6 viser oversigtsbillede fra SCA.



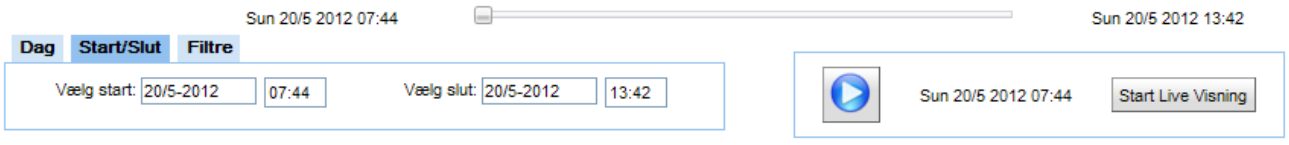
Billede 5 Oversigtsbillede af Lynetten, i Live-visning.



Billede 6 Oversigtsbillede af SCA, i Live-visning.

Så længe visningen er i Live View, er der kun to valgmuligheder: ”Stop Live Visning” og rullemenuen under filtre. Her kan man tænde og slukke for de ikongrupper, som ses på oversigtsbilledet.

Klikker man på knappen ”Stop Live Visning”, fremkommer der flere valgmuligheder ved siden af fanen med filtre. Dette fremgår af billede 7.



Billede 7 Navigationsmenu, når SewerView ikke er i Live-mode.

Når SewerView går ud af Live-mode, kommer fanerne ”Dag” og ”Start/Slut” til syne ved siden af ”Filtre”. Der kommer også en ”Afspil”-knap til syne sammen med en slide-bar. Det er nu muligt at afspille sekvenser af forskellige varigheder, hvor man f.eks. kan følge systemets tilstand igennem en regnhændelse.

2.3 Afstrømningsprognoser og deres sammenkobling til styringsmoduler

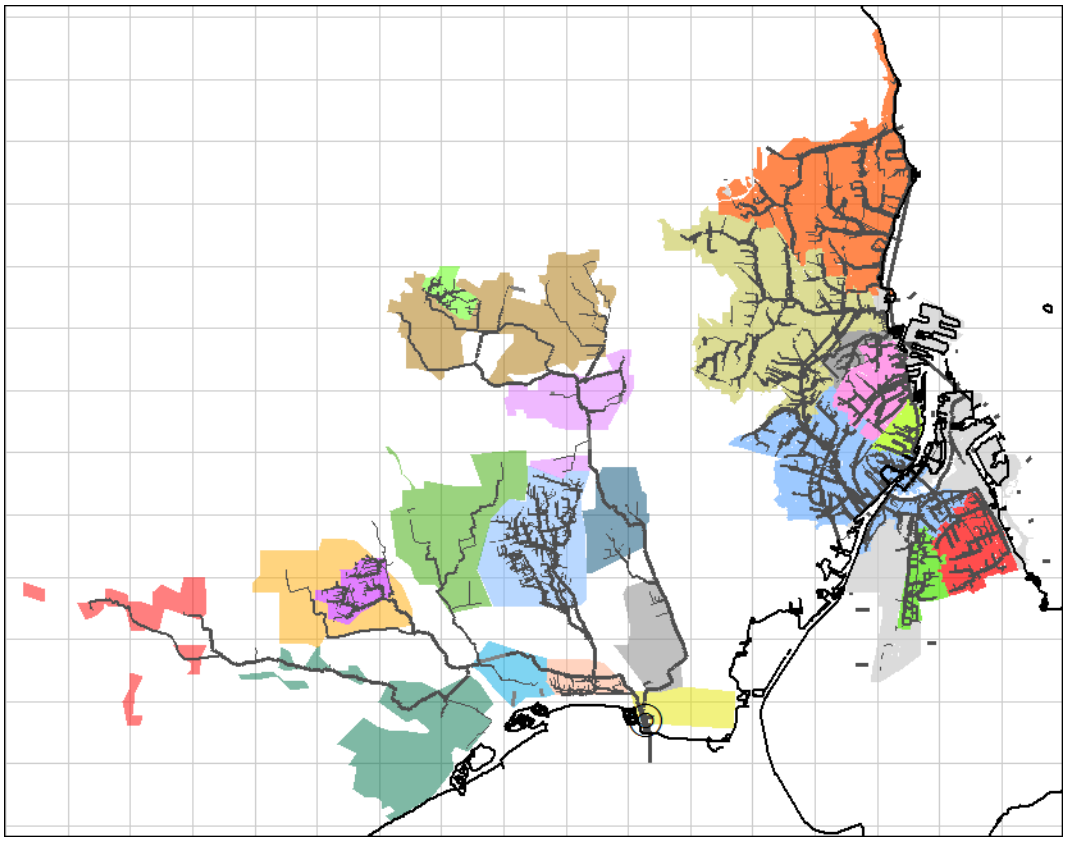
Afstrømningsprognoserne er det input til DORA, som gør styringen proaktiv. Ved at kende afstrømningen fra oplandene op til 2 timer i forvejen, kan styringen sørge for at tilbageholde eller videresende vandet efter behov.

Regnprognosen beregnes ud fra radardata og videreberegnes til en afstrømningsprognose for hvert af de enkelte deloplande. Til dette benyttes en konceptuel model, der beskriver både spildevands- og regnvandsafstrømning. Modellen kalibreres løbende via målinger i afløbssystemet, så der til enhver tid findes et opdateret skøn på, hvor meget vand der kan forventes at strømme til de enkelte bassiner i løbet af de næste to timer. Opstillingen er nærmere beskrevet i rapporten Vejrradar-baseret styring af spildevandsanlæg [Aalborg Universitet og Krüger A/S, DCE Technical Report No. 95, 2012]. I det følgende afsnit beskrives kun det, som er specifikt for METSAM. Afstrømningsmodeller bruges i METSAM til oplandet for SCA og Lynetten.

I afsnit 2.3.4 beskrives, hvordan afstrømningsprognoserne er sammenkoblede med DORA, hvilket er en vigtig del af udviklingen i METSAM. I afsnit 2.3.3 beskrives, hvordan afstrømnings-prognoserne er sammenkoblede med opstart af ATS-styring på renseanlæggene.

2.3.1 Regnprognose

Afstrømningsprognosen i METSAM-projektet baseres på regnprognoser, som Aalborg Universitet leverer ud fra data fra DMIs radar på Stevns. På billede 8 ses radaroplandenes udbredelse og radarens grid for SCAs og Lynettens opland.

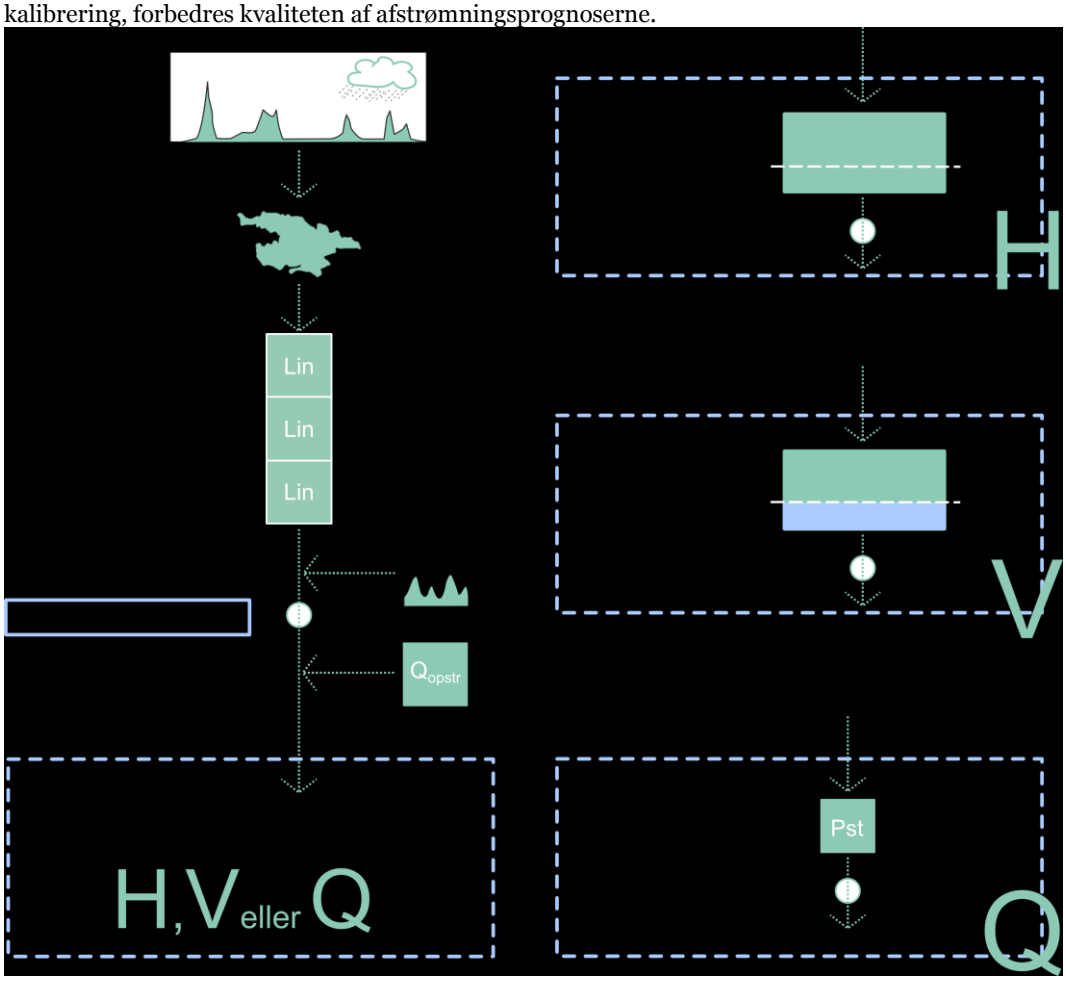


Billede 8 Radaroplande markeret i forskellige farver. Det grå grid viser Stevnsradarens grid på 2.000 x 2.000 meter. T.v. SCAs opland, t.h. Lynettens opland.

2.3.2 Modelopstilling

Modellerne for afstrømningsprognoser bruges til at forudsige afstrømning fra de enkelte deloplande. I modellerne er en eller flere regnprognoser koblet til det pågældende opland. Tre lineære reservoirer udtrykker den forsinkelse, som sker gennem afløbssystemet. Flow fra de lineære reservoirer og tørvejrsvandføringen giver tilsammen det totale flow fra oplandet, og det er dette flow som udgør prognosen i DORA, og som bruges til opstart af automatisk regnvejrsstyring ved renseanlæggene.

Modellerne kalibreres i realtid efter målt vandstand, volumen i bassin eller flow. På billede 9 illustreres de forskellige modeltyper (H for vandstands-, V for volumen- og Q for flowkalibrering), og kalibreringsdelen vises til højre i figuren. Hvor der anvendes volumen, er dette beregnet ud fra vandstandsmålere i bassinerne. Udløbsflow er i de flow-kalibrerede modeller målt ($Q_{ud,\ måling}$), mens de i de andre modeller typisk er kontinuerligt beregnet ud fra målt vandstand og/eller spjældposition ($Q_{ud,\ "måling"}$). Ved at anvende kontinuerlige måledata fra oplandet til online kalibrering, forbedres kvaliteten af afstrømningsprognoserne.



Billede 9 Konceptuel model for tilstrømningsprognoserne som bruges til DORA og til regnvejrsstyring. Den øverste del af modellen er ens for de tre typer modeller (til venstre i figuren). Den nederste del af modellen (også t.v.) afhænger af, om modellen bliver kalibreret med vandstandsmåling (H), beregnet bassinvolumen (V) eller flowmåling (Q). Disse tre varianter illustreres til højre i figuren.

På tabel 1 (Lynetten) og tabel 2 (SCA) ses de afstrømningsprognoser, som bruges i DORA. På tabel tabel 3 ses de afstrømningsprognoser, som bruges til opstart af ATS-styring på Lynetten renseanlæg og SCA renseanlæg.

TABEL 1
AFSTRØMNINGSPROGNOSER SOM BRUGES I DORA FOR LYNETTENS OPLAND, MED ANGIVELSE AF MODELTYPE OG FIGURHENVISNING SAMT BEMÆRKNING TIL MODELOPSTILLINGEN.

Punkt	Modeltype	Bemærkning	Figur
Gentofte	Kalibrering efter flow	Kalibreres efter flow ved Lynetten. Tilstrømning fra Strandvænget mellem Gentofte og Lynetten.	Q
Lersøledningen	Kalibrering efter volumen	Udløbsflow skønnes kontinuerligt ud fra spjældposition og vandstand ved spjæld.	V
Strandvænget	Kalibrering efter flow	Tilstrømning fra Lersøledningen. Maks. udløbsflow er sat til 2,4 m3/s i kalibrering.	Q
Colosseum	Kalibrering efter niveau	Udløbsflow målt ved Pst. Kalkbrænderihavnsgade	H
Skt. Annæ Plads	Kalibrering efter niveau	Tilstrømning fra Colosseum. Udløbsflow skønnes kontinuerligt ud fra vandstand i afskærende ledning. Usikker prognose, en flowmåler på den afskærende ledning vurderes at kunne forbedre modellen.	H
Vestamager	Kalibrering efter niveau	Udløbsflow fra flowmåler i nedstrøms system.	H
Vestamager	Kalibrering efter flow	Tilstrømning fra Sankt Annæ, Vestamager og Østamager. Maks. udløbsflow er sat til 8,0 m3/s i kalibrering.	Q
Østamager	Kalibrering efter niveau	Udløbsflow fra flowmåler i nedstrøms system.	H

TABEL 2
AFSTRØMNINGSPROGNOSER SOM BRUGES I DORA FOR SCA'S OPLAND, MED ANGIVELSE AF MODELTYPE OG FIGURHENVISNING SAMT BEMÆRKNING TIL MODELOPSTILLINGEN.

Punkt	Modeltype	Bemærkning	Figur
Hedehusene / Ishøj	Kalibrering efter flow		Q
Høje Taastrup (samlet)	Kalibrering efter flow		Q
Vallensbæk	Kalibrering efter flow	Flow fra det lokale opland, ikke PS02	Q
Albertslund	Kalibrering efter flow		Q
Grøn Kile, RB03	Kalibrering efter niveau	Mulighed for omløb ved bassin vha. spjæld. Modellen kalibrerer kun, når der måles vand i bassinet.	H
Høje Taastrup, RB04 (sydligt bassin)	Kalibrering efter niveau	Modellen kalibrerer kun, når der måles vand i bassinet. Udløbsflow skønnes kontinuerligt ud fra vandstand og spjældposition.	H
Høje Taastrup, RB05 (nordligt bassin)	Kalibrering efter niveau	Modellen kalibrerer kun, når der måles vand i bassinet. Mulighed for omløb ved bassin. Udløbsflow skønnes ud fra tømningshastighed.	H
Ejby Øst, PS01	Kalibrering efter niveau	Problematisk kalibrering da pumpedrift i stedet for flow ud af pst. Automatisk kalibrering delvist aktiv.	H
Vallensbæk, PS02	Kalibrering efter niveau	Problematisk kalibrering da pumpedrift i stedet for flow ud af pst. Automatisk kalibrering delvist aktiv.	H

TABEL 3
AFSTRØMNINGSPROGNOSER SOM BRUGES TIL START AF ATS-STYRING, MED ANGIVELSE AF MODELTYPE OG FIGURHENVISNING SAMT BEMÆRKNING TIL MODELOPSTILLINGEN.

Punkt	Modeltype	Bemærkning	Figur
Til Lynetten RA fra nordlig ledning	Kalibrering efter flow	Maks. udløbsflow er sat til 3,05 m3/s i kalibrering.	Q
Til Lynetten RA fra sydlige ledninger	Kalibrering efter flow	Flow fra begge, sydlige ledninger er lagt sammen i modellen. Maks. udløbsflow er sat til 8,5 m3/s i kalibrering.	Q
Til SCA RA	Kalibrering efter flow	Overordnet model	Q

2.3.3 Sammenkobling af realtidsstyringsmoduler og afstrømningsprognoser

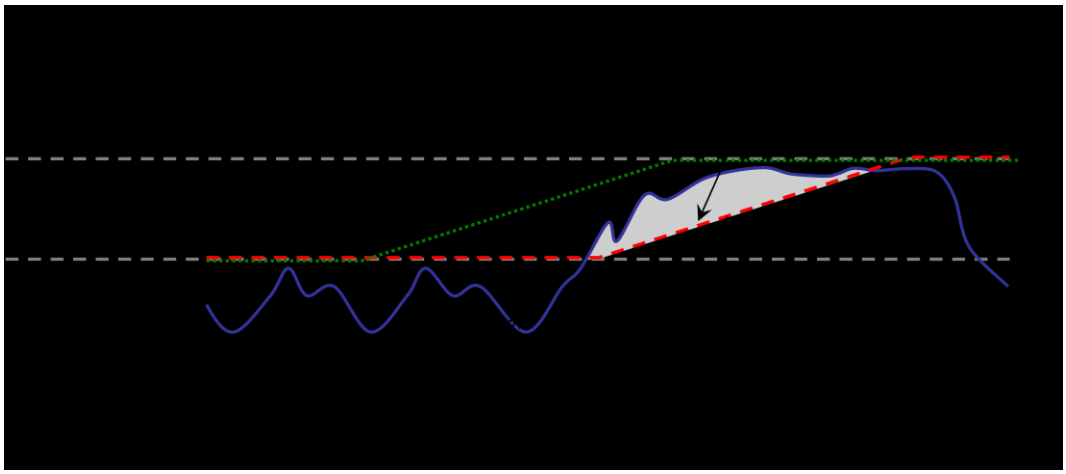
Afstrømningsprognoser indgår som en væsentlig del af den risikobetragtning, som DORA er. Ved at tilføje prognoser ændres styrestrategien fra at være reaktiv til at være proaktiv. Ud fra den til rådighed værende transport- og rensekapacitet i systemet kan styrestrategien dermed søge at skabe opmagasineringsplads de steder i systemet, hvor behovet snart måtte opstå.

En regnprognose fra en radar vil altid være behæftet med en vis grad af usikkerhed. Dette forplanter sig videre til afstrømningsprognosen, der derfor vil være det væsentligste usikkerhedsmoment i DORAs risikoberegning. I den nuværende opstilling tildeles afstrømningsprognosen en statistisk usikkerhed, hvilket forårsager, at der selv i de situationer hvor der ikke er meget vand i bassinerne, alligevel altid vil være en risiko for overløb, så længe der er udsigt til regn. Den tildelte usikkerhed afviger sandsynligvis fra den faktiske usikkerhed, men foreløbige undersøgelser fra SWI tyder på, at den tildelte statistiske fordeling har samme form og egenskaber som den faktiske usikkerhed, omend den generelt har en tendens til at overvurdere størrelsen af usikkerheden.

De radarbaserede afstrømningsprognoser forudsiges to timer ud i fremtiden, men under kraftige regnhændelser vil kun en kortere periode af forudsigelserne bruges til selve risikoberegningen i DORA. Dette skyldes, at DORA også tager højde for systemets aktuelle middelfyldningshastighed. Under kraftigere regnhændelser kan systemets aktuelle omstændigheder have større betydning for styringens optimale udvikling i forhold til at anvende afstrømningsprognoserne, der har en tilknyttet grad af usikkerhed. Ved svage regnhændelser benyttes derimod med fordel hele forudsigelsen.

2.3.4 Sammenkobling af afstrømningsprognoser og regnstyring på renseanlæg

Billede 10 illustrerer, hvordan en afstrømningsprognose kan opstarte regnstyring på renseanlægget (ATS, Aeration Tank Settling), allerede inden tilløbsvandmængden stiger. Hvis ATS-styringen kan startes med passende varsel f.eks. to timer før regnvandet kommer til anlægget, kan den hydrauliske kapacitet af biodelen hæves ~50-60%, afhængig af en række øvrige forhold som slam-koncentration og slambundfældningsegenskaber.



Billede 10 Opstart af ATS med afstrømningsprognose. Rød kurve viser STAR-tilladelse for max.flow gennem biodel uden flowforvarsel. Grøn kurve viser STAR-tilladelse for max. flow gennem biodel med flowforvarsel. Blå kurve viser aktuelt flow til anlæg.

Fordelen ved at bruge en afstrømningsmodel til opstart af ATS er muligheden for at behandle en større vandmængde i biodelen totalt set over en regnhændelse og dermed reducere overløb. Omkostningen for renseanlægget er en lille reduktion i kapaciteten for kvælsoffjernelse, men fordelen ved øget hydraulisk kapacitet betyder, at regnstyringen kan fortsætte i dagevis uden problemer i forhold til udledningskrav.

3. Spildevandscenter Avedøre

3.1 Baggrund

Oplandet til SCA består af afløbssystemet i Høje Taastrup, Ishøj, Hundige, Vallensbæk, Brøndby, Glostrup, Hvidovre, Rødovre, Albertslund, Ballerup og Herlev. Disse oplande er hovedsageligt separatkloakerede, men der er dog også fælleskloakerede oplande, i både Høje Taastrup, Brøndby Strand, Glostrup, Hvidovre og Ballerup.

SCA ejer kun hovedledningerne, og det er derfor kun denne del af systemet, der er betragtet i forbindelse med METSAM-projektet. Det er dog også her, at de største bassin- og ledningsvolumener befinder sig.

DORAs styring er etableret således, at den optimale vandføring for hvert styringspunkt altid befinder sig mellem en defineret minimum- og maksimumvandføring, Q_{min} og Q_{max}. SCA har stillet som krav, at maksimumvandføringen i den nye overordnede realtidsstyring også skal ændres fra status til den nye styring. Indløbspumpestationen er blevet ombygget under METSAM-projektet, og dens kapacitet er i den forbindelse øget med nær 50 %.

Undervejs i projektet har et af de altoverskyggende problemer for gennemførelse af METSAM-projektet i SCAs opland været en langsom internetforbindelse. SCAs forbindelse ud af huset har i lange perioder kørt med så lav hastighed, at kommunikation af data er fejlet. Dette har haft betydning for udveksling af data mellem de forskellige systemer.

3.2 Opstilling

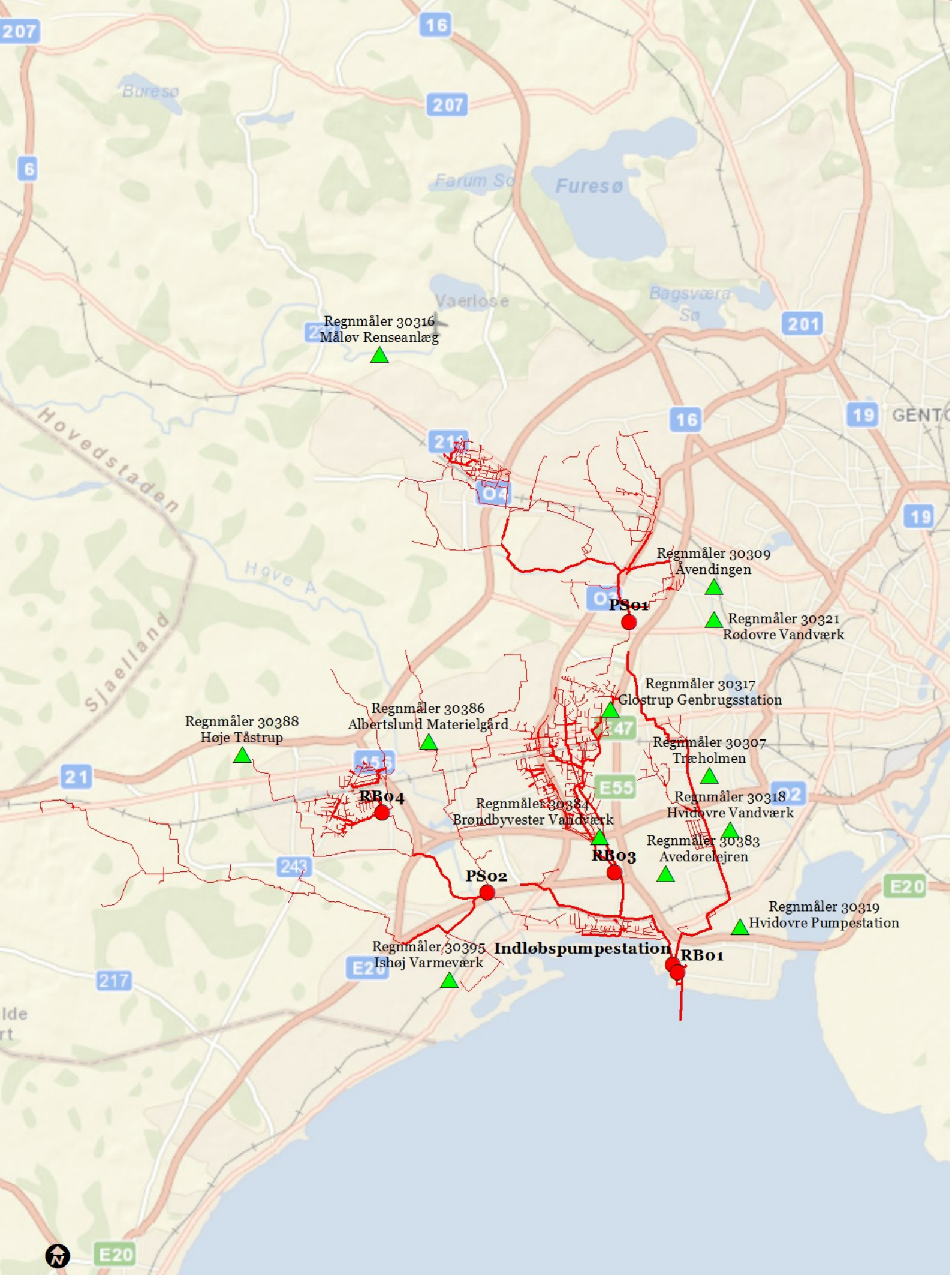
Overordnet set er der udvalgt seks styringspunkter i SCAs opland, der er forskellige både med hensyn til volumen, tømningsmåde, cost og fremtidig styring. De udvalgte styringspunkter er:

- RB01, Spildevandscenter Avedøre
- Indløbspumpestation, Spildevandscenter Avedøre
- RB03, Grøn Kile
- RB04, Høje Tåstrup Syd
- PS01, Ejby Øst pumpestation
- PS02, Vallensbæk pumpestation

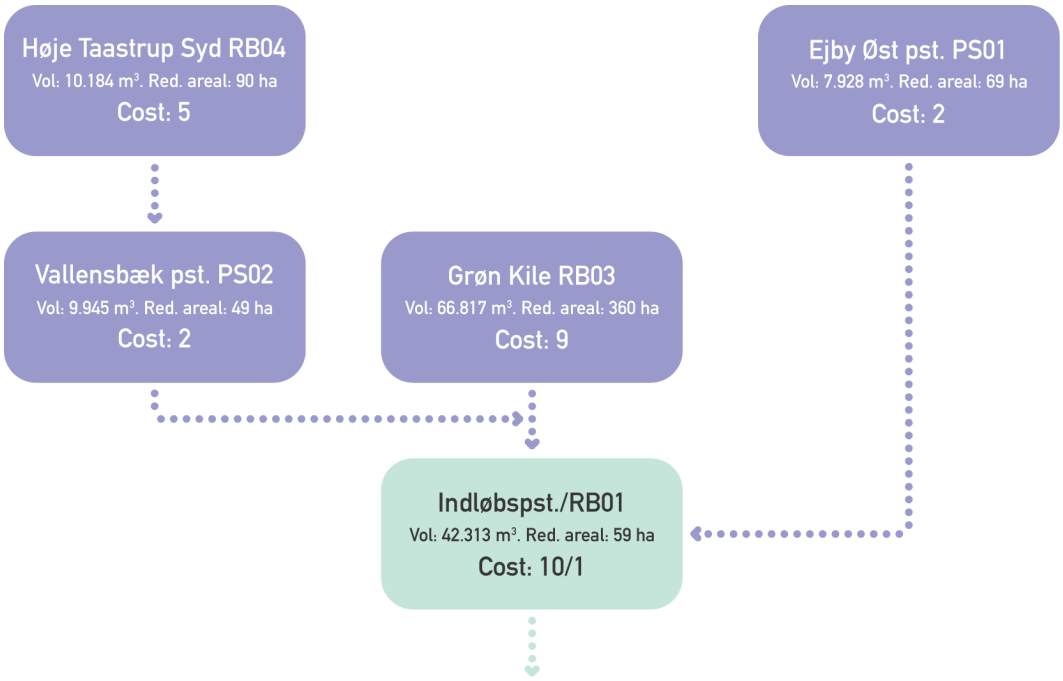
Styringspunkterne består af tre pumpestationer (pst.) og tre bassiner. Pumpestationerne er ikke kendetegnet ved at have et stort volumen, men der er til gengæld en del volumen i ledningerne, der leder hen til pumpestationerne.

For hvert punkt har SCA vurderet cost forbundet med overløb fra de overløb, der knytter sig til hvert styringspunkt. Billede 11 viser oplandsarealer, bassinvolumener og vurderet cost (pr. m^3) for de forskellige styringspunkter i systemet, samt en skematisk oversigt over sammenhængen mellem styringspunkterne.

I bilaget *PLC specifikation for Spildevandscenter Avedøre* findes en nærmere beskrivelse af, hvad der styres på i hvert punkt.



Spildevandscenter Avedøre opland (det fælleskloakerede system)



Billede 11 Skematisk oversigt over sammenhæng mellem styringspunkterne samt deres hoveddata.

I det følgende er punkterne listet sammen med en beskrivelse af deres karakteristika.

3.2.1 Ejby Øst pumpestation, PS01

Pst. PS01 er beliggende i Ejby, hvor den modtager vand fra Herlev og Ballerup. Der er ikke mulighed for overløb i PS01, men er pumperne stoppet længe nok, vil der på et tidspunkt ske overløb fra bygværket S10000S, beliggende ca. 2 km opstrøms PS01. På trods af den store afstand er koteforskellen mellem S10000S og PS01 så lille, at der tidligere er observeret overløb i forbindelse med regnhændelser, hvor PS01 ikke har kunnet følge med. Overløb fra S10000S sker til Harrestrup Å. Under overløbskanten i S10000S er der i alt ca. 7.900 m³ volumen, bestående af rørvolumen ned til PS01 samt volumen i pumpesumpen.

PS01 er udstyret med en grundlastpumpe, der kan yde ca. 1.200 m³/t, og fire regnvandspumper som hver kan yde ca. 2.000 m³/t. Tømningen af volumenet tilknyttet PS01 er i status begrænset til maksimalt to pumper ad gangen og en deraf følgende maksimal ydelse på 4.000 m³/t. Efter aftale med SCA er det i den nye styring muligt at tømme med tre pumper ad gangen og dermed opnå en ydelse på 6.000 m³/t. I denne nye styring inddrages den aktuelle vandstand i et punkt nedstrøms for pumpestationen. En nærmere beskrivelse af den nye styringsopsætning kan ses i bilaget *Styring af PS01 pumpestation*.

Overløb fra PS01 er sat til at have en cost på 2 på en skala fra 1 til 10.

3.2.2 Vallensbæk pumpestation, PS02

Pst. PS02 er beliggende i Vallensbæk, hvor den modtager vand fra Høje Taastrup, Hundige, Ishøj, og Taastrup (bl.a. fra RB04). Overløb sker i umiddelbar nærhed af PS02 i bygværket LA1098H. Overløb fra LA1098H sker til Bækrenden, som via Store Vejleå løber ud i Køge Bugt. Volumenet for punkt PS02 består af volumen i pumpesumpen samt rørvolumen i ledningerne, hvoraf rørvolumenet udgør den klart største del. Volumenet under overløbskanten er i alt på ca. 9.900 m³.

PS02 er udstyret med en grundlastpumpe, der kan yde ca. 1.000 m³/t, og fire regnvandspumper som hver kan yde ca. 2.000 m³/s. Ved tømning af volumenet tilknyttet PS02 kan alle pumper køre samtidig, hvilket svarer til en maksimal ydelse på ca. 9.000 m³/t.

Overløb fra PS02 er sat til at have en cost på 2 på en skala fra 1 til 10.

3.2.3 Grøn Kile, RB03

Bassin RB03 er beliggende i Brøndby, hvor det modtager vand fra Albertslund, Glostrup og Brøndby. Overløb fra RB03 sker til Rosenå, som har udløb i Køge Bugt. Under overløbskanten er der ca. 66.800 m³ bassinvolumen i RB03.

Afløbet fra RB03 kan styres via et spjæld. Det er dog ikke alt vand fra oplandet til RB03 som passerer dette spjæld, da noget af afløbet fra området kan strømme udenom RB03 via et spjæld ved Tranestien. Dette spjæld styres der ikke på, og det samlede afløb fra RB03-området er således summen af afløb fra Tranestien og afløb fra spjældet ved RB03. Spjældåbningen ved RB03 er i den nuværende styring afhængig af vandstanden i hhv. RB01 og RB03 samt af vandføringen i ledningen med vand fra RB03 og Tranestien, kaldet Grøn Kile. Efter aftale med SCA er det i den nye styring muligt at åbne spjældet mere, end det var tilladt i status. Åbningen af spjældet er i den nye styring en funktion af opstuvningsniveauet i Grøn Kile og DORA output, dog med en øvre grænse som kan defineres og ændres af SCA.

Overløb fra RB03 er sat til at have en cost på 9 på en skala fra 1 til 10.

3.2.4 Høje Taastrup Syd, RB04

Bassin RB04 er beliggende i den sydlige del af Høje Taastrup, hvor det modtager vand fra en del af Høje Taastrup. Overløb fra RB04 sker til Mølleå, som via Vallensbæk Mose ender i Store Vejleå, der har udløb i Køge Bugt. Under overløbskanten er der ca. 10.200 m³ bassinvolumen i RB04.

Afløbet fra RB04 kan styres via et spjæld, hvor spjældåbningen i den nuværende styring er afhængig af vandstanden i hhv. RB01 og RB04. Efter aftale med SCA bliver spjældåbningen i den nye styring fuldstændig styret af DORA, dog med en øvre grænse som kan defineres og ændres af SCA.

Overløb fra RB04 er sat til at have en cost på 5 på en skala fra 1 til 10.

3.2.5 Spildevandscenter Avedøre, Indløbspumpestation

Indløbspumpestationen er beliggende på Avedøre Holme, hvor den modtager vand fra hele afløbsoplandet. Overløb fra indløbspumpestationen sker til Brøndby Havn. Under overløbskanten er der ca. 24.300 m³ rørvolumen og volumen i pumpesumpen. Overløbskanten befinder sig i kote 0 m, men da SCA har udtrykt ønske om, at vandstanden aldrig må overskride kote -3,5 m (grundet opstrøms opstuvningsforhold), er volumen i stedet sat til ca. 21.100 m³.

Indløbspumpestationen har under METSAM-projektet gennemgået en renovering, hvor de gamle pumper er erstattet med nye. Kapaciteten af pumpestationen er i den forbindelse øget fra at være ca. 14.000 m³/t til nu 20.000 m³/t. I offline-tests er det antaget, at indløbspumpestationen også i status har en kapacitet på 20.000 m³/t.

Grundet ombygningen har det ikke været muligt at medtage og etablere en styring af indløbspumpestationen, men volumenet indgår dog stadig i den overordnede beregning af optimale vandføringer. For at sikre at opstuvningsniveauet i indløbspumpestationen ikke overstiger kote -3,5 m, er der indlagt en begrænsning i DORAs styring, som bør bevirke, at tilløbet til pumpestationen ikke overstiger 20.000 m³/t.

Indløbspumpestationen kører således med den eksisterende styring. Den del af den indpumpede mængde vand som ikke kan løbe gennem biologien i renseanlægget, ender i RB01.

Overløb fra indløbspumpestationen er sat til at have en cost på 10 på en skala fra 1 til 10. På grund af den indsatte begrænsning på tilløbet er overløb meget usandsynligt fra dette punkt.

3.2.6 Spildevandscenter Avedøre, RB01

Bassin RB01 er beliggende på renseanlægget ved spildevandscenteret og modtager vand fra indløbspumpestationen. Overløb fra RB01 sker via udløbspumpestation til en havledning, som ender en kilometer ude i Øresund. Da udløbspumpestationen efter ombygning har samme kapacitet som indløbspumpestationen, vil overløb til Køge Bugt kun ske ved et eventuelt havari. Risikoen for dette er ikke medtaget i opsætningen. Under overløbskanten er der ca. 45.300 m³ bassinvolumen i RB01.

Der styres ikke på afløbet fra RB01, som via et spjæld tømmer til indløbspumpestationen, når der her er ledig kapacitet. Overløb fra RB01 er derfor en funktion af tilløb til indløbspumpestationen og kapaciteten af den biologiske rensning.

Overløb fra RB01 er sat til at have en cost på 1 på en skala fra 1 til 10.

3.3 Offline test

Der er gennemført en række offline tests, der har til formål at teste styringen i DORA på et virkelighedsnært model-setup. På denne måde kan det dokumenteres, at styringen ikke skaber utilsigtede problemer, samt at dokumentere at styringen gør som tilsigtet under "alle" tænkelige forhold.
Fejl og mangler i systemerne er fundet og behandlet løbende undervejs i testprocessen. Den endelige dokumentation for, at systemet fungerer hensigtsmæssigt, ligger implicit i dokumentationen under afsnittet "Effekt af DORAs styring".

3.3.1 Regndata

I offline tests er der anvendt målt nedbør fra SVK-målerne 30307, 30309, 30316, 30317, 30318, 30319, 30321, 30383, 30384, 30386, 30388 og 30395, der efter et nærhedsprincip dækker hele afløbssystemet. Under de regnhændelser der er betragtet i forbindelse med offline tests, er der på skift konstateret kortere- eller længerevarende nedbrud på enkelte målere. Data fra disse målere er under nedbrud derfor ikke medtaget i beregningerne, men er i stedet erstattet med data fra en eller flere omkringliggende målere. Målerne anvendt til beregninger fremgår af tabel 4.

TABEL 4
ANVENDTE SVK-MÅLERE I FORBINDELSE MED OFFLINE TESTS.

SVK-målernr.	Navn
30307	Træholmen
30309	Åvendingen
30316	Målev Renseanlæg
30317	Glostrup Genbrugsstation
30318	Hvidovre Vandværk
30319	Hvidovre Pumpestation
30321	Rødovre Vandværk
30383	Avedørelejren
30384	Brøndbyvester Vandværk
30386	Albertslund Materielgård
30388	Høje Taastrup
30395	Ishøj Varmeværk

Placeringen af de enkelte SVK-målere i forhold til afløbssystemet fremgår af oversigtsbilledet.

3.3.2 Afstrømningsprognose

En vigtig del af DORA er de afstrømningsprognoser, der fortæller, hvor meget vand styringspunkterne kan forvente at modtage i løbet af de næste to timer. En nærmere beskrivelse af disse kan ses i afsnit 2.3.

Undervejs i projektet er prognosemodellerne blevet opdateret og kalibreret, og som konsekvens af dette er der kun regnprognoser tilgængelige fra omkring december 2011. På grund af SCAs dårlige internetforbindelse er der dog ikke tale om en sammenhængende serie af prognoser. Fra december 2011 til maj 2012 er der således kun en enkelt regnhændelse – 4. januar 2012 – der både medfører overløb, og hvor der samtidig er så nogenlunde gode radardata tilgængelige til, at der kan laves en prognose. Denne prognose dækker ca. 70 % af regnhændelsens udbredelse, resten af tiden vil DORA dog tro at det er tørvejr.

For at øge mængden af offline tests med tilgængelige regnprognoser er der opstillet en meget forsimplet model til generering af afstrømningsprognoser. I disse forsimplede prognoser er data fra SVK-målere blot ganget med de tilhørende oplandsarealer, med en antagelse om at vandet strømmer af til bassinet med det samme. Dette ligger ret langt fra virkeligheden, men bevirker alligevel at DORA kan få prognosedata på andre datoer end de, der er tilgængelige fra de "rigtige" afstrømningsprognoser.

3.3.3 Testdatoer

Ud over regnhændelsen 4. januar 2012 hvor der var tilgængelige radardata, er der til tests suppleret med SVK-målerdata fra to regnhændelser til generering af forsimplede afstrømningsprognoser. Testdatoerne fremgår af tabel 5.

TABEL 5
HÆNDELSER DER ER ANVENDT VED OFFLINE TESTS.

Hændelse	Dybde
16. juni 2007	36-48 mm
22. juni 2007	36-47 mm
4. januar 2012	6-26 mm

3.3.4 Effekt af DORAs styring

Der er gennemregnet tre scenarier for hver af regnhændelserne:

- Gennemregning med statusmodellen (eksisterende styring)
- Gennemregning med DORAs styring, uden prognose
- Gennemregning med DORAs styring, med prognose (FP = Forsimplet Prognose)

Her er statusmodellen sammenligningsgrundlaget. Modellen uden DORAs styring er sat op primært for at lave en sammenligning med modellen med DORAs styring.

3.3.4.1 Nøgletal for hændelser

I tabel 6 er de samlede costs for de tre hændelser vist for hvert scenarie.

TABEL 6
SAMLET COST FOR DE TRE SCENARIER I HVER AF DE TRE HÆNDELSER.

Dato	Status	Uden prognose	Med prognose
16. juni 2007	85.222	96.629	54.538 (FP)
22. juni 2007	124.201	120.266	96.727 (FP)
4. januar 2012	0	15.018	15.829

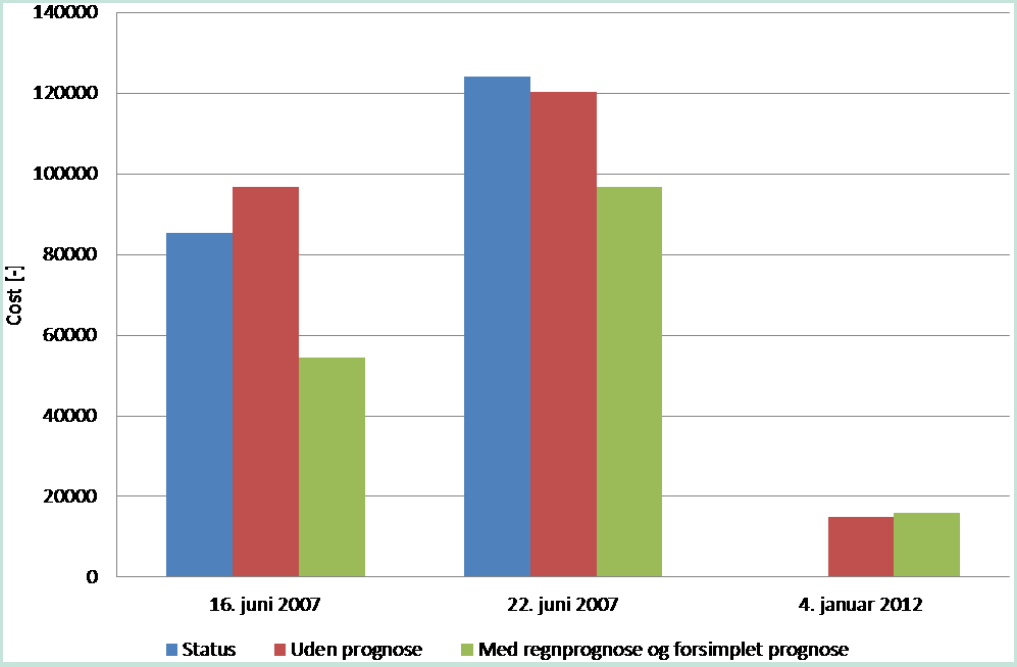
Tabellen viser, at for hændelsen 16. juni 2007 stiger den samlede cost fra status til DORAs styring uden prognose, mens den samlede cost er lavest for DORAs styring med forsimplet prognose. For hændelsen 22. juni 2007 falder den samlede cost for begge scenarier med DORAs styring, men styringen med forsimplet prognose giver dog de bedste resultater. For hændelsen den 4. januar 2012 er der ikke noget overløb i status. Det er DORAs styring, der medfører, at der kommer overløb. Cost uden prognose og cost med prognose er stort set identiske, men cost er dog en smule højere med prognose.

Af tabel 7 fremgår overløbsvolumenerne for de tre scenarier og de tre hændelser.

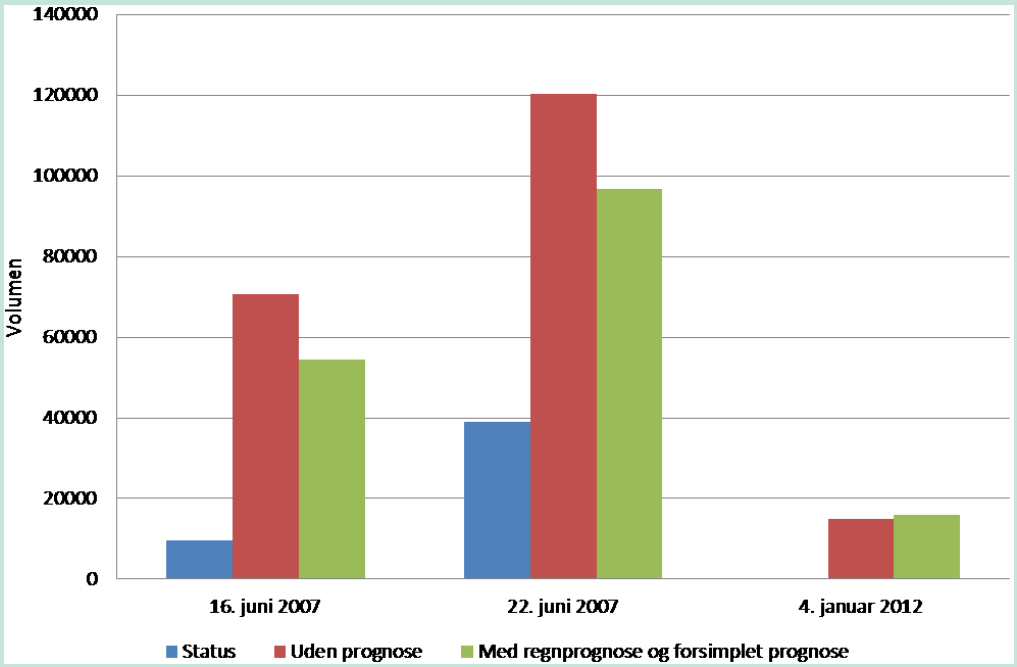
TABEL 7
SAMLET OVERLØBSMÆNGDE FOR DE TRE SCENARIER I HVER AF DE TRE HÆNDELSER.

Dato	Status	Uden prognose	Med prognose
16. juni 2007	9.578	70.745	54.538 (FP)
22. juni 2007	38.895	120.266	96.727 (FP)
4. januar 2012	0	15.018	15.829

Tabellen viser at overløbsvolumenerne stiger betragteligt, når DORA anvendes, men sammenlignes der med resultaterne i tabel 6 kan det udledes, at de overløb der forekommer, sker på et billigere sted end i status. Data fra tabellerne er vist på figur 1 og figur 2.



FIGUR 1
SAMLET COST FOR DE BERØRTE OVERLØB, FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS I SCA.



FIGUR 2
SAMLET AFLASTET VOLUMEN [M³] FOR DE BERØRTE OVERLØB, FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

I det efterfølgende gennemgås resultatet fra to af regnhændelserne.

3.3.4.2 16. juni 2007

For hændelsen 16. juni 2007 er der ifølge overløbsregistreringer overløb i RB03 og RB04. Den samlede cost fra beregningerne fremgår af tabel 8, mens overløbsmængderne fremgår af tabel 9.

TABEL 8
SAMLET COST FOR HÆNDELSEN 16. JUNI 2007.

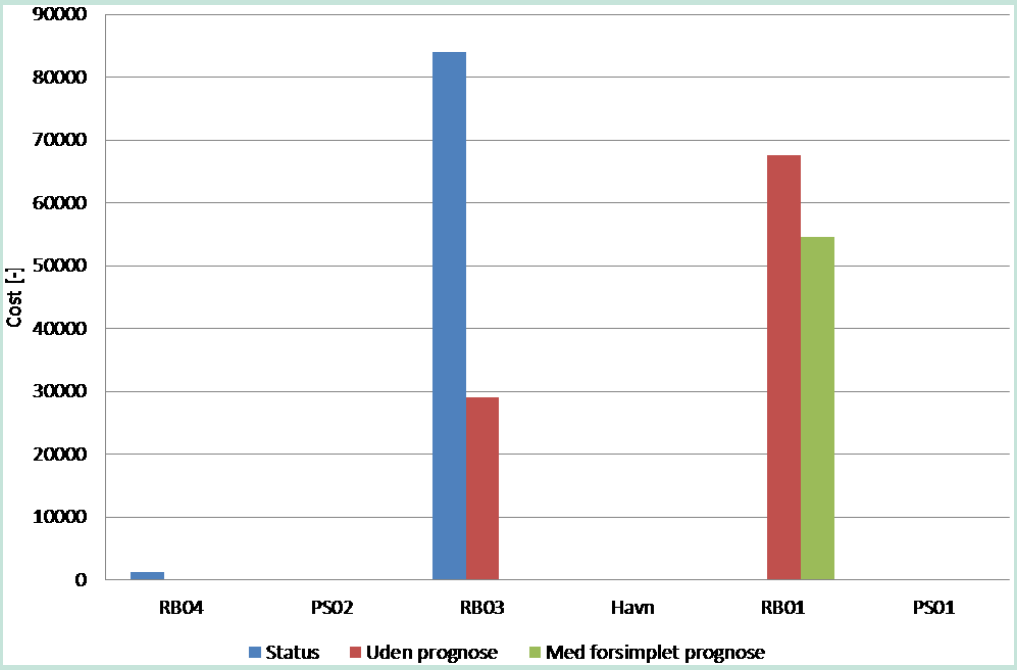
Punkt	Status	Uden prognose	Med prognose
RB04	1.223	0	0
PS02	0	0	0
RB03	83.998	29.120	0
Havn	0	0	0
RB01	0	67.510	54.538
PS01	0	0	0
I alt	**85.222**	**96.629**	**54.538**

TABEL 9
SAMLET OVERLØB FOR HÆNDELSEN 16. JUNI 2007.

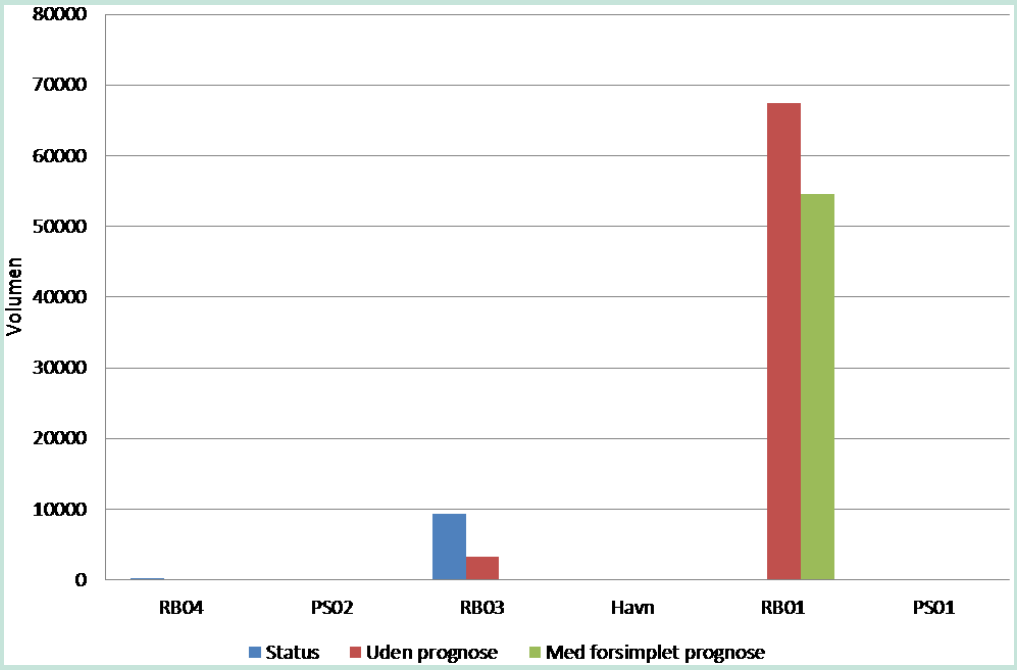
Punkt	Status	Uden prognose	Med prognose
RB04	245	0	0
PS02	0	0	0
RB03	9.333	3.236	0
Havn	0	0	0
RB01	0	67.510	54.538
PS01	0	0	0
I alt	**9.578**	**70.745**	**54.538**

Tabel 9 viser, at der i statusberegningen også er overløb i RB03 og RB04. DORAs styring uden prognose flytter rundt på vandet, således at overløb i RB04 og RB03 reduceres eller helt fjernes, mens et stort overløb derimod finder sted ved RB01. Sammenlignes cost for status ift. scenariet uden prognose, ses det i tabel 8, at cost er størst for scenariet uden prognose.

Med forsimplet prognose er der kun overløb i RB01, og overløbsmængden er tilmed mindre end scenariet uden prognose. Ser man på cost, er omkostningen reduceret med 64% fra status til scenariet med forsimplet prognose. Den samlede overløbsmængde stiger derimod med 739 % fra status til scenariet uden prognose, og med 569 % fra status til scenariet med forsimplet prognose. Figur 3 og figur 4 viser tabeldataene grafisk.



FIGUR 3
COST FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 16. JUNI 2007.



FIGUR 4
OVERLØBSMÆNGDE [M³] FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 16. JUNI 2007.

3.3.4.3 4. januar 2012

For hændelsen 4. januar 2012 er der ifølge overløbsregistrereringer overløb i RB01. Den samlede cost fra beregningerne fremgår af tabel 10, mens overløbsmængderne fremgår af tabel 11.

TABEL 10
SAMLET COST FOR HÆNDELSEN 4. JANUAR 2012

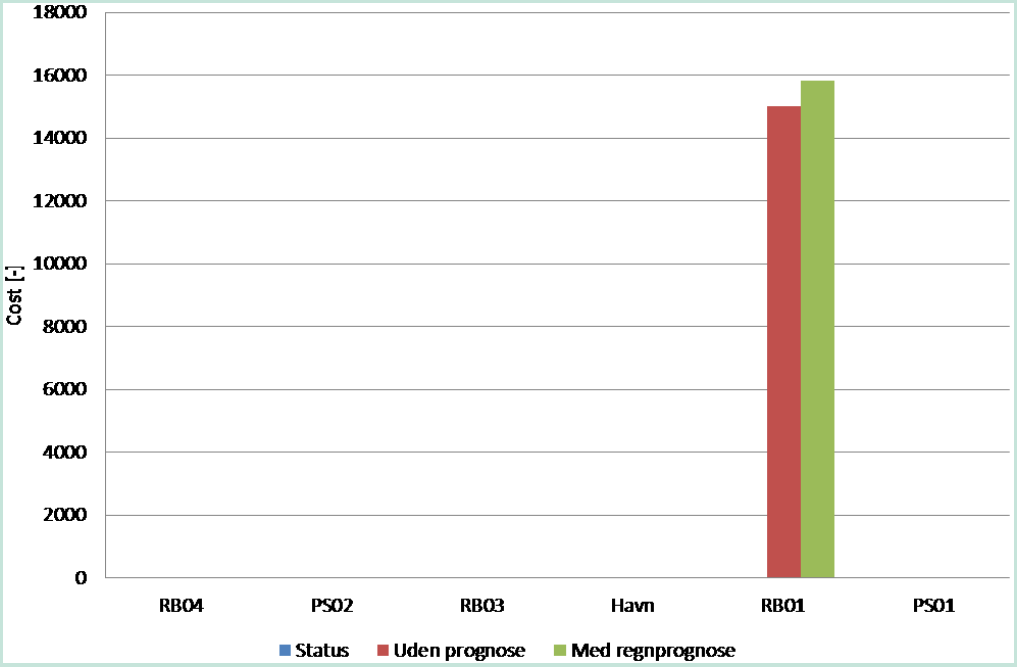
Punkt	Status	Uden prognose	Med prognose
RB04	0	0	0
PS02	0	0	0
RB03	0	0	0
Havn	0	0	0
RB01	0	15.018	15.829
PS01	0	0	0
I alt	**0**	**15.018**	**15.829**

TABEL 11
SAMLET COST FOR HÆNDELSEN 4. JANUAR 2012

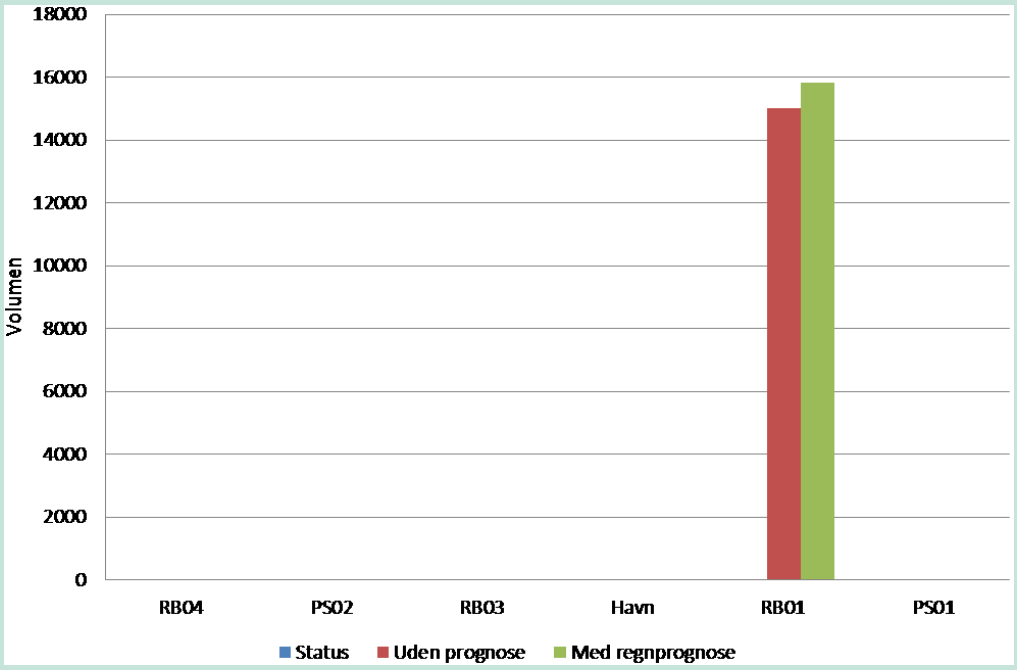
Punkt	Status	Uden prognose	Med prognose
RB04	0	0	0
PS02	0	0	0
RB03	0	0	0
Havn	0	0	0
RB01	0	15.018	15.829
PS01	0	0	0
I alt	**0**	**15.018**	**15.829**

Tabellerne viser at der i statusberegningen ikke er overløb i RB01. Det er ikke analyseret nærmere, hvorfor dette ikke er tilfældet, men en mulig forklaring kan være, at modellen ikke er kalibreret til denne hændelse, eller at afstrømningen også har indeholdt smeltevand og dermed været større end registreret af SVK-målerne. Scenariet uden prognose flytter rundt på vandet, således at der introduceres et overløb i RB01, og scenariet med prognose har en smule mere overløb i RB01. Forskellen er ikke ret stor, men det var forventet, at en prognose ville medføre, at cost blev lavere. At dette ikke er sket, kan skyldes hullerne i prognosen.

Det kan umiddelbart virke som en dårlig styring, når der fremkommer et overløb i RB01 med scenarieberegningerne, som ikke forekommer i status. Man skal dog huske på, at med de antagne costs vil den overordnede styring hele tiden forsøge at minimere risikoen for overløb. Derved er det er sandsynligt, at risikoen har været mindst ved at transportere mere vand ned til RB01. Figur 5 og figur 6 viser tabeldataene grafisk.



FIGUR 5
COST FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 4. JANUAR 2012.



FIGUR 6
OVERLØBSMÆNGDE [M³] FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 4. JANUAR 2012.

Tabeller og figurer for hændelserne 22. juni 2007 kan findes i bilaget *Offline tests for oplandet til Spildevandscenter Avedøre*. Disse viser samme tendenser som hændelsen 19. juni 2007.

3.3.5 Følsomhedsanalyse af cost

DORA anvender cost til at vægte de forskellige styringspunkter, når systemet skal styres, og der udføres en følsomhedsanalyse af, hvordan forskellige costs påvirker styringen. Til dette bruges scenarierne, som fremgår af tabel 12. Regnhændelserne fra offline tests er alle gennemregnet med de forskellige cost-scenarier.

TABEL 12
DE SCENARIER DER UNDERSØGES IFM. FØLSOMHEDSANALYSEN AF COST.

Punkt	FP	Cost x 10	Flad cost	Lav varians
RB04	5	50	1	2
PS02	2	20	1	2
RB03	9	90	1	3
Havn	10	100	1	3
RB01	1	1	1	1
PS01	2	20	1	2

Det kan umiddelbart være svært at sammenligne samlet cost for de forskellige scenarier, da cost netop er forskellig. Dette er løst ved at sætte cost i sammenligningen lig med den aktuelle cost divideret med summen af alle costs, således er cost for RB04 i sammenligningen for den forsimplede prognose (FP) sat til:

Cost (RB04, FP) = 5/(5+2+9+10+1+2) = 0,172

mens det i ”Cost x 10” er sat til:

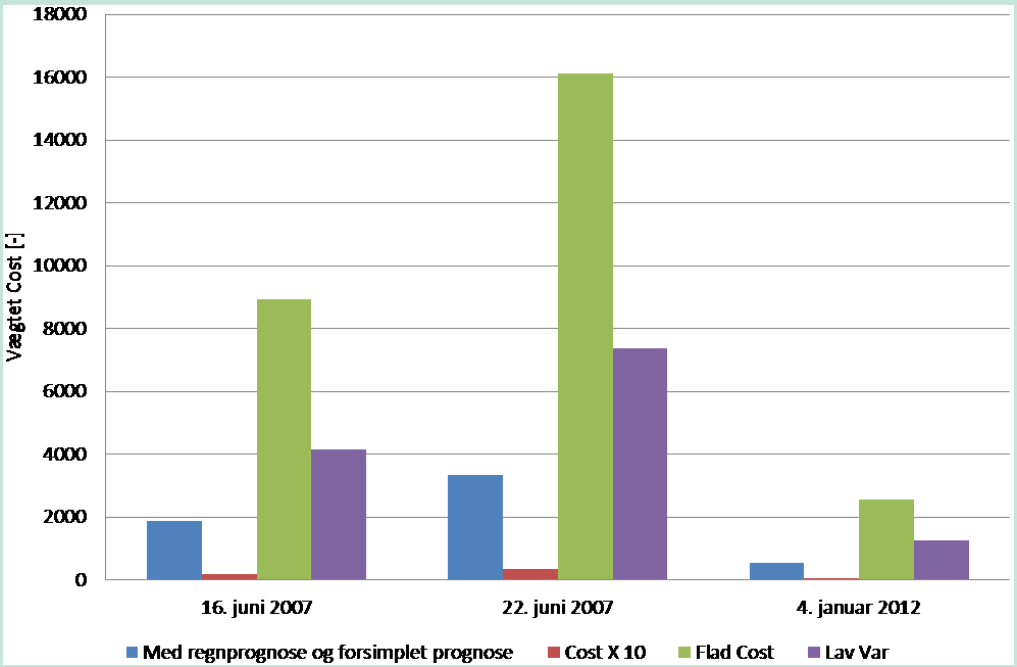
Cost(RB04, Cost x 10) = 50/(50+20+90+100+1+20) = 0,178

De vægtede costs er vist i tabel 13.

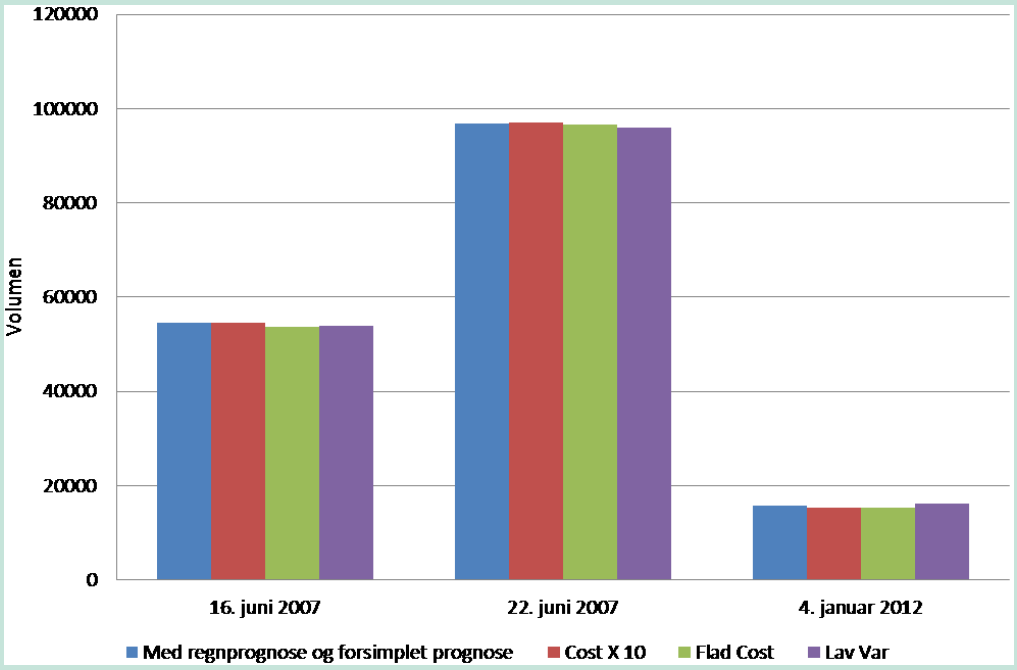
TABEL 13
VÆGTEDE COSTS DER ANDVENDES VED SAMMENLIGNING AF SCENARIERNE.

Punkt	FP	Cost x 10	Flad cost	Lav varians
RB04	0,172	0,178	0,167	0,154
PS02	0,069	0,071	0,167	0,154
RB03	0,310	0,320	0,167	0,231
Havn	0,345	0,356	0,167	0,231
RB01	0,034	0,004	0,167	0,077
PS01	0,069	0,071	0,167	0,154

Figur 7 viser en sammenligning af cost for de forskellige scenarier, mens figur 8 viser en sammenligning af overløbsvolumener.



FIGUR 7
SAMMENLIGNING AF VÆGTET COST FOR DE FORSKELLIGE COST-SCENARIER OG HÆNDELSER.



FIGUR 8
SAMMENLIGNING AF SAMLET OVERLØBSVOLUMEN FOR DE FORSKELLIGE COST-SCENARIER OG HÆNDELSER.

Figur 7 viser en stor variation af den vægtede cost, men de meget identisk udseende overløbs-volumener i figur 8 indikerer, at det blot skyldes, at det ikke er en sammenligning der giver mening. Det er overraskende, at de samlede overløbsvolumener er så ens, som det fremgår af figur 8. Der er flere mulige forklaringer på dette, og det vides ikke, hvilken der er den rigtige. Enten er de styringer der er på punkterne i systemet så snævre, at det ikke er muligt at holde vand tilbage i bassinerne, eller også har cost ikke en ret stor indvirkning på, hvor vandet transporteres hen. Det sidste kan være en konsekvens af den grove usikkerhedsbetragtning, der ligger i den nuværende implementering af DORA.

3.4 Online test

Efter at de indledende offline tests er gennemført, er DORA implementeret på STAR'en på SCA, hvor den kører parallelt med virkeligheden. DORA får således virkelige input fra SRO-systemet og beregner setpunkter på baggrund af disse. De beregnede setpunkter bliver i online testperioden dog ikke benyttet i virkeligheden.

Formålet med disse tests er at sikre to ting: dels at de optimale flows som DORA beregner giver mening, og dels at kontrollere at de dertilhørende setpunkter beregnes korrekt. Samtidig skal paralleldriften bruges til at fange og korrigere utilsigtede forhold inden live-drift.

Desværre var SCA i løbet af projektperioden løbet ind i store problemer med hastigheden på deres internetforbindelse. Elektrisk støj fra de nye indløbspumper gjorde, at hastigheden på netværket kun lige har været stor nok til at trække data ind i SRO-systemet. Det var dog nærmest umuligt at få kontakt til STAR'en via netværket, og radardata – som bruges til afstrømningsprognosen, en meget vigtig del af DORA-inputtet – kunne ikke komme igennem til serveren. Sideløbende kørte der en virtuel kopi af STAR-serveren hos Krüger A/S. Denne kunne modtage radardataene, men til gengæld var der mange udfald på modtagelsen af data fra OPC-serveren hos SCA.

Oveni netværksproblemerne tog det længere tid end beregnet at få nogle af de nye målere – som er nødvendige for, at den overordnede styring kan køre – til at levere data til OPC-serveren. Dette

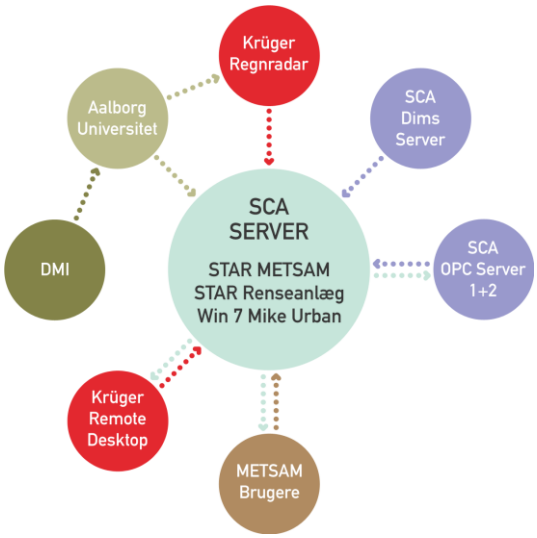
medførte, at det ikke var muligt at kontrollere de setpunkter, som skal beregnes i post-processerne, da de nødvendige data derved ikke var tilgængelige.

Ovenstående problemer medførte, at det eneste der kan konkluderes for online tests i SCAs opland er, at når kommunikationen kører, så beregner DORAs styring nogle optimale flows. Det er også muligt at observere, at disse optimale flows ændrer sig, alt efter hvordan systemets nuværende tilstand er, og alt efter hvordan prognosen udvikler sig.

3.5 Implementering

Som beskrevet i afsnittet online test er online tests ikke gennemført med resultater, som kan bekræfte at systemet er klar til implementering, og derfor er den overordnede styring er ikke forsøgt implementeret i SCAs opland i projektperioden. Implementering har slet ikke været mulig på grund af de selvsamme problemer med internetforbindelsen og tilgængelighed af data fra nye målere.

Billede 12 viser den planlagte kommunikationsopsætning. STAR-serveren hos SCA er det centrale element. På denne maskine er der installeret en STAR Renseanlæg, en STAR METSAM og en Win 7 Mike Urban. STAR Renseanlæg styrer allerede i dag renseanlægget.



Billede 12 IT-opsætning for SCA server.

STAR METSAM skal styre afløbssystemet, og Win 7 Mike Urban skal levere data til de beregninger, som kan ses i SewerView (model med statusstyring og model med DORAs styring).

STAR METSAM og Win 7 Mike Urban skal bruge radardata som input. Disse leveres af DMI via Aalborg Universitet. Der skal bruges to forskellige typer regndata (en slags til modelberegningerne og en anden slags til afstrømningsprognose). Dataene til modellen kommer direkte til Win 7 Mike Urban fra Aalborg Universitet, mens radardataene til prognose går via Krüger Regnradar. Denne bruges til at videreformidle alle de radardata, som Krüger bruger i deres prognosemodeller. Både STAR METSAM og Win 7 Mike Urban bruger de prognoser, som bliver beregnet på STAR METSAM.

Prognosemodellerne skal også bruge måledata fra systemet for at kalibrere beregningerne. Disse måledata kommer dels fra en DIMS-server og dels fra OPC-servere, alle placeret hos SCA. SCA har to OPC-servere, som det meste af tiden bare er spejlinger af hinanden. Det sker dog, at den ene tages ud af drift, og det er derfor besluttet at hente data fra dem begge. Når DORA har beregnet de optimale flows, og post-processerne har omsat dette til setpunkter, sendes de tilbage til OPC-serverne, som videresender det til PLC'erne i oplandet.

Der er to forskellige adgangsniveauer:

- METSAM-brugerne har adgang til at se data, og de kan også lave visse indstillinger til den overordnede styring. På STAR METSAM hos SCA kan METSAM-brugeren ændre på cost for overløb, men også på andre indstillinger for de enkelte styringspunkter (f.eks. pumpekapacitet eller maks. opstuvning i nedstrøms punkt).

- Krüger Remote Desktop giver adgang til alt, der ligger bag ved brugerfladen, som METSAM-brugerne har adgang til. Det er f.eks. opsætning af de beregninger, som ligger i pre- og post-processer, samt opsætning af hvad der kan ses i SewerView og på grafer i STAR-brugerfladen.

Via SCAs SRO-anlæg er det muligt at styre om styringen skal være tændt eller slukket for de enkelte punkter. Billede 13 viser SRO-styringsbilledet, hvorfra den overordnede styring kan slås til og fra.



Billede 13 Aktiveringen af METSAM i SCAs SRO.

3.6 Resultater og diskussion

Der er i løbet af projektperioden opstillet en ny overordnet styring af 4-6 styringspunkter i SCAs opland. I fire af de nye punkter er der etableret en styring, som vil give ændret afløb i forhold til i dag, mens de sidste to punkter blot leverer input til den overordnede styring, uden at der styres på dem efterfølgende.

Den opstillede overordnede styring er testet i offline tests, hvor tre regnhændelser er testet. To af regnhændelserne er testet med en forsimplet prognose på grund af manglende radardata. Den sidste regnhændelse er testet med en prognose, som mangler 30% af datapunkterne.

Offline testresultaterne viser, at DORAs styring ændrer systemets opførsel i forhold til den nuværende styring. Den nye styring muliggør i to ud af tre hændelser, at overløb kan undgås i punkter med høj cost. I stedet bevirker den overordnede styring, at en del mere vand bliver flyttet til punkter med lav cost. I de to hændelser stiger den samlede overløbsmængde meget, men på grund af at overløbet nu sker et sted med lavere cost, bliver den samlede cost væsentligt reduceret. I den sidste hændelse er der ikke noget overløb i status, men i scenarierne med den overordnede styring bevirker styringen, at der kommer overløb. Overløbet sker fra det sted, der har den laveste cost.

Samtlige offline resultater viser, at resultatet bliver væsentligt dårligere, når der ikke er en tilgængelig prognose.

Der er lavet en analyse af, hvilken indvirkning cost har på styringen af systemet, hvor forskellige scenarier undersøges med varierende cost for styringspunkterne. Resultaterne indikerer, at cost måske ikke er den vigtigste parameter, da de forskellige scenarier giver meget ens resultater, når der ses på de samlede overløbsmængder. Det er dog ikke sikkert, at cost alene har skylden for dette, da det er muligt, at systemet ikke har mulighed for at foretage en anderledes styring pga. de begrænsende Q_{min} og Q_{max} værdier, som bruges til input til DORAs styring. Det anbefales, at betydningen af cost dyrkes yderligere for at afgøre, om der kan gives retningslinier for det individuelle forhold mellem forskellige costs.

4. Københavns Energi og Lynetten

4.1 Baggrund

Oplandet til Lynetten er et opland, hvor der allerede er gennemført omfattende optimering af driften af de eksisterende bassiner. På den baggrund forventes det, at der er begrænsede gevinster at hente i dette opland.

4.2 Opstilling

For oplandet til Lynetten er der udvalgt otte punkter, der indgår i styringen. Disse benævnes:

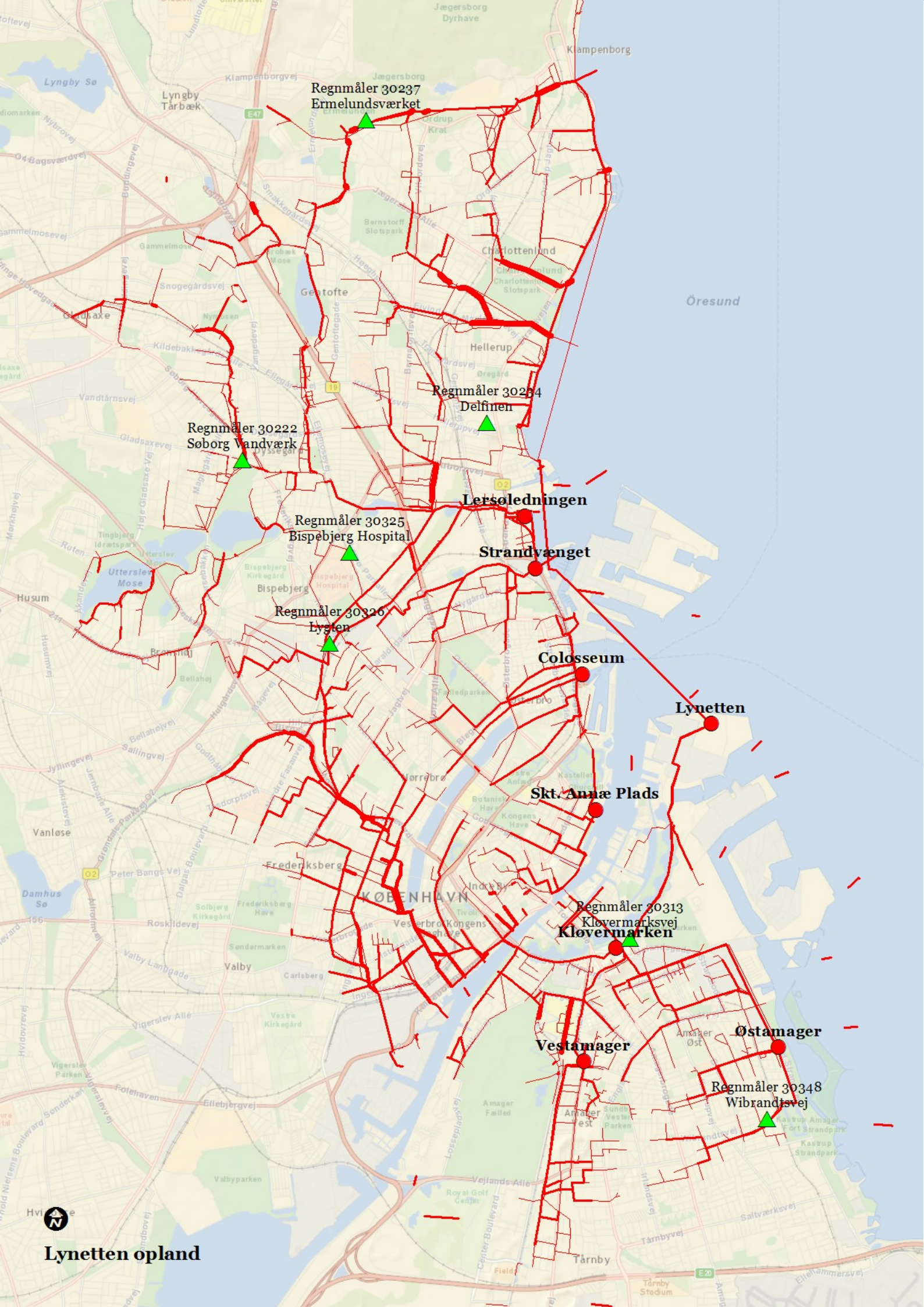
- Lersøledningen
- Colosseum
- Skt. Annæ Plads
- Vestamager
- Østamager
- Strandvænget
- Kløvermarken
- Lynetten

Ved de første fem punkter er der store bassinvolumener, dette er ikke gældende for de sidste tre, der alle har volumener på 200 m^3 eller under. Kløvermarken og Strandvænget er centrale pumpestationer for oplandet, og Lynetten er defineret som indløbet til renseanlægget.

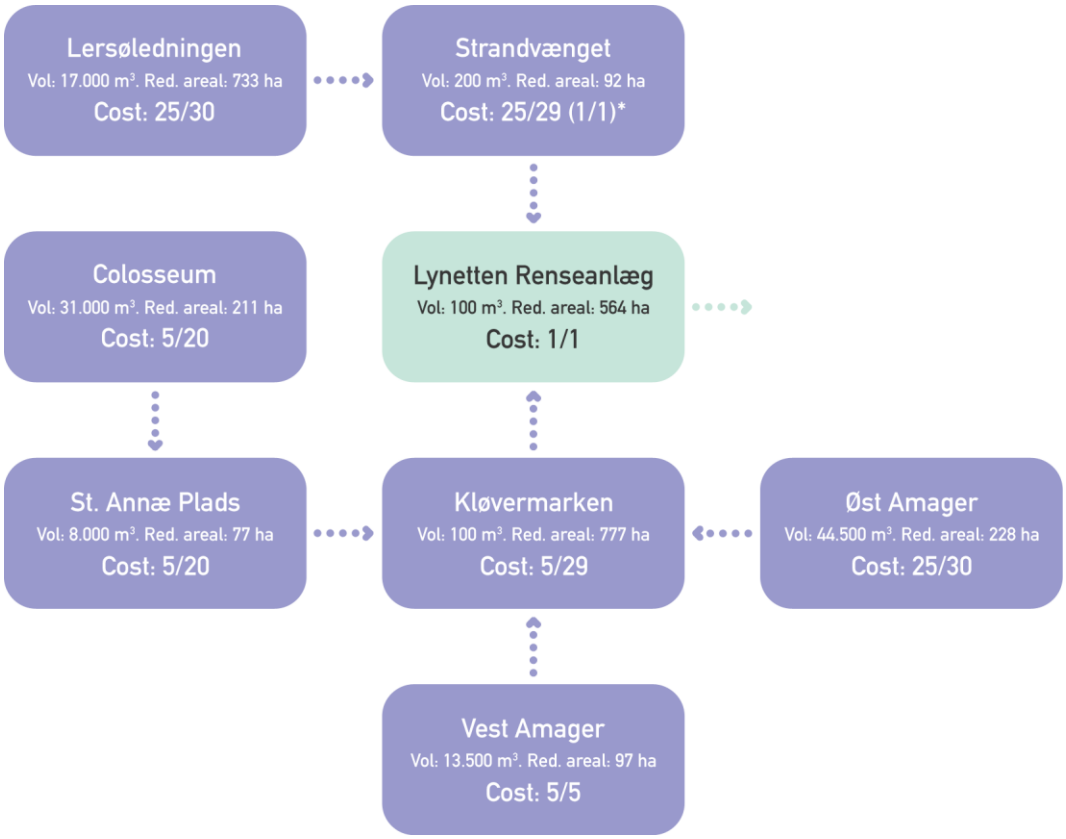
For at kunne anvende DORA til styring på systemet har Københavns Energi (KE) vurderet cost forbundet med overløb fra de forskellige overløb i systemet. Disse værdier indgår sammen med bassinvolumen og oplandsareal som input til DORA. På billede 14 ses oplandsarealer, bassinvolumener og vurderet cost [pr. m^3] for de forskellige styringspunkter i systemet.
For hvert styringspunkt er der angivet to forskellige værdier for cost. Dette skyldes, at omkostningen ved et overløb afhænger af, om vi befinder os i eller uden for badesæsonen.

Der er gennemført en analyse af betydningen af den indbyrdes størrelse af cost for de enkelte punkter. Dette er gjort ved at køre den samme hændelse igennem med cost-værdier varierende mellem 0-5, 0-25 og 0-100. Analysen viser, at for den konkrete hændelse anvendt til tests har størrelsen ingen væsentlig betydning. Mulige forklaringer på dette er, at de styringer der er på punkterne i systemet, er så snævre, at det ikke er muligt at holde vand tilbage i bassinerne, eller også har cost ikke en ret stor indvirkning på, hvor vandet transporteres hen. Dette kan være en konsekvens af den grove usikkerhedsbetragtning, der ligger i den nuværende implementering af DORA. Resultaterne af testen findes i bilaget *Test af cost for Lynetten*.

Ud over input i form af arealer, bassinvolumener og cost skal DORA også bruge kendskab til Q_{min} og Q_{max} for forbindelserne mellem styringspunkterne. Disse værdier er dynamiske størrelser, og den detaljerede beskrivelse af, hvordan de bestemmes findes, i bilaget *PLC specifikation for Lynetten*.



Lynetten opland



Billede 14 Oversigt over bassinvolumener, oplandsarealer og cost for overløb for de enkelte styringspunkter. Under cost er der to tal, der gælder hhv. uden for og i badesæsonen.
* Ved Strandvænget er der to muligheder for overløb dels lokalt via overløbsbygværk (25/29), dels via udpumpning på havledning (1/1).

4.2.1 Lersøledningen

Lersøledningen er beliggende i den nordlige del af Københavns Kommune. Lersøledningen er et rørbassin, der er opdelt i tre dele via spjæld i ledningen. Pt. er det nederste spjæld (Vestagervej) sat ud af drift. I DORA ses Lersøledningen som et bassin. Det effektive bassinvolumen er på ca. 17.000 m³; i tørvejr løber vandet uden om bassinet. Overløb fra Lersøledningen sker til Øresund.

I DORA styres til- og afløbet fra bassinet via et spjæld placeret nedstrøms ved indløbet til Pst. Strandvænget (MV09). Hvis spjældet lukkes, vil der ske tilbagestuvning til Lersøledningen. Det er aftalt med KE, at spjældet ikke må lukkes længere ned end svarende til en åbningsgrad på 15 %, så der altid er plads til tørvejrsflow fra det lokale opland. Flowet fra Lersøledningen til Strandvænget kan variere afhængig af stuvningsniveauerne op- og nedstrøms. Typisk vil flowet under regn ligge mellem 0,3 m³/s og 1,0 m³/s.

4.2.2 Colosseum

Colosseum er et stort bassin beliggende på Østerbro, med et effektivt volumen på ca. 31.000 m³. I DORA styres afløbet fra bassinet via Pst. Kalkbrænderihavnsgade. Denne pumpestation har ikke umiddelbar tilknytning til bassinet, men driften her tilbagestyrer tømmepumperne i bassinet. Fra bassinet sendes vandet videre mod Skt. Annæ Plads. Der er overløb fra bassinet til Københavns Nordhavn.

Pst. Kalkbrænderihavnsgade, der styrer afløbet fra oplandet, har tre pumper med en samlet kapacitet på 0,9 m³/s. Pumperne tilbagestyres fra niveaumålinger nedstrøms

oppumpningsbrønden. Hvis stuvningsniveauet her bliver for højt, neddrosles Pst. Kalkbrænderihavnsgade

4.2.3 Skt. Annæ Plads

Bassinet er et bassin placeret på Skt. Annæ Plads, nord for det nye skuespilhus. Bassinet har et effektivt volumen på ca. 8.000 m^3. I tørvejr kommer der ikke vand i bassinet. I DORA styres der på tømmepumperne i bassinet, der har en kapacitet på 0,3 m^3/s. Tømmepumperne må kun køre, når der er plads i ledningen. Bassinet har overløb til Københavns Havn. Bassinet modtager vand fra Colosseum samt direkte fra oplandet i indre by. Fra Skt. Annæ Plads bassinet sendes vandet videre mod Kløvermarken. Under kraftige regnhændelser kan strømningsretningen i ledningen nedstrøms bassinet vende, og bassinet kan modtage vand fra det nedstrøms opland.

4.2.4 Vestamager

Bassinet på Vestamager består af et bassin i forbindelse med Pst. Grønjordsvej, samt et rørbassin mellem Pst. Grønjordsvej og Pst. Fælleddige Det samlede effektive bassinvolumen er på ca. 13.500 m^3. Bassinet modtager vand fra den vestlige del af Amager. Fra Vestamager bassinet sendes vandet videre mod Kløvermarken. Overløb fra bassinet sker til Nordre Landkanal på Amager.

Afløbet fra bassinet sker via Pst. Grønjordsvej og Pst. Fælleddige. Der er en samlet pumpekapacitet fra de to pumpestationer på ca 1,8 m^3/s, pumpeydelserne reguleres efter niveauet i oppumpningsbrønden.

4.2.5 Østamager

Bassinet på Østamager består af en række rørbassiner. Det samlede effektive volumen er på ca. 44.500 m^3. Bassinet fyldes via overløb fra fællessystemet, og modtager vand fra den østlige del af Amager. Fra Østamager bassinet sendes vandet videre mod Kløvermarken. Overløb fra bassinet sker til Øresund via et overløbsbygværk på Prags Boulevard.

Afløbet fra bassinet sker via tre pumpestationer og et spjæld. Pst. Italiensvej, Pst. Amagerbanen og Pst. Wibrandtsvej er alle beliggende i lavpunkter på rørbassinet. De pumper op til samme oppumpningsbygværk på Italiensvej. Ud over pumpestationerne kan bassinet, ved høje niveauer, delvis tømmes via Nerikegadeventilen, et spjæld mellem bassinet og ledningen til Kløvermarken. Pumpestationerne har en samlet kapacitet på ca. 1,3 m^3/s. Afløbet fra spjældet afhænger af vandspejlsniveauerne i bassinet og i ledningen efter spjældet. Spjældet er PID-styret til ikke at overskride et vist vandspejlsniveau i spildevandsledningen, dette betyder i hovedreglen, at det maksimale flow gennem spjældet er omkring 1,5 m^3/s.

4.2.6 Strandvænget

Strandvænget modtager vand fra Lersøledningen samt et mindre lokalt opland og sender vandet videre til Lynetten. Der er ikke noget volumen af betydning ved Strandvænget. Strandvænget er en af hovedpumpestationerne i oplandet til Lynetten, med to muligheder for overløb. Når pumpekapaciteten mod renseanlægget ikke er tilstrækkelig, pumpes der vand til en lang udløbsledning, der ender i Øresund. Er dette ikke tilstrækkeligt, sker der overløb lokalt til Svanemøllebugten. Pumperne der pumper til Lynetten, har en kapacitet på ca. 2,4 m^3/s.

4.2.7 Kløvermarken

Kløvermarken modtager vand fra Skt. Annæ Plads, Vestamager og Østamager, samt fra et stort lokalt opland, der dækker store dele af Vesterbro, Nørrebro, Frederiksberg, samt det nordlige Amager. Der er ikke noget volumen af betydning i forbindelse med Kløvermarken (ud over rørvolumenet i transportsystemet). Pst. Kløvermarken pumper direkte til Lynetten og er en af hovedpumpestationerne i oplandet. Hvis pumpestationen ikke kan følge med, stiger stuvningsniveauet i systemet, og der vil ske overløb til havnen og kanalerne via en lang række overløbsbygværker i indre by. Pumpekapaciteten for Pst. Kløvermarken er på ca. 8,4 m^3/s.

4.2.8 Lynetten

Lynetten er i DORA sammenhæng indløbet til renseanlægget. Der er ikke noget væsentligt bassinvolumen her. Lynetten modtager vand fra Pst. Kløvermarken, Pst. Strandvænget, samt en pumpestation i Gentofte med en kapacitet på 0,43 m^3/s, der leder vandet via samme ledning som Pst. Strandvænget.

Kommer der mere vand, end renseanlægget kan modtage, sker der overløb til Øresund efter forrensningen. Kapaciteten gennem renseanlægget varierer afhængig af de aktuelle forhold på renseanlægget, såsom slambundfældningsegenskaber, slamkoncentration i luftningstanke, og styringsniveau som tørvejr- eller ATS-regndrift. Se i øvrigt afsnit 2.3. Kapaciteten til biologisk del af renseanlægget kan svinge mellem 2,5 - 6,4 m^3/s (9.000 – 32.000 m^3/h).

4.3 Offline test

Formålet er at gennemregne en række regnhændelser, således at det kan dokumenteres, at DORAs styring ikke skaber utilsigtede problemer. En del af formålet med testberegningerne er således at dokumentere, at systemet gør som ønsket under "alle" tænkelige forhold. Fejl og mangler i systemerne er luget ud undervejs i test-processen. Den endelige dokumentation for at systemet fungerer hensigtsmæssigt, ligger implicit i dokumentationen under afsnittet "Effekt af DORAs styring".

4.3.1 Regndata

I offline tests er der anvendt målt nedbør fra SVK-måler 30222, 30234, 30237, 30313, 30325, 30326 og 30348. SVK-målerne dækker efter et nærhedsprincip afløbssystemet.

SVK-målerne anvendt i beregningerne er alle vist i tabel 14.

TABEL 14
ANVENDTE SVK-MÅLERE I FORBINDELSE MED OFFLINETESTS.

SVK-målernr.	Navn
30222	Søborg Vandværk
30234	Delfinen
30237	Ermelundsværket
30313	Kløvermarksvej
30325	Bispebjerg Hospital
30326	Lygten
30348	Wibrandtsvej

Placeringen af SVK-målerne i forhold til systemet kan ses på oversigtsbilledet.

4.3.2 Afstrømningsprognose

En vigtig del af DORA er de afstrømningsprognoser, der fortæller, hvor meget vand styringspunkterne kan forvente at modtage i løbet af de næste to timer. En nærmere beskrivelse af prognoser kan ses i afsnit 2.3.

Undervejs i projektet er prognosemodellerne blevet opdateret og kalibreret. Som en konsekvens af dette har der kun været prognoser tilgængelige fra omkring december 2011, og det har derfor kun været muligt at beregne effekten af prognose for hændelser efter december 2011.

4.3.3 Testdatoer

Beregningerne er gennemført på fire regnhændelser, som er vist i tabel 15.

TABEL 15
HÆNDELSER ANVENDT VED OFFLINE TESTS.

Hændelse	Dybde
22. juni 2011	18-27 mm
7. august 2011	12-25 mm
4. januar 2012	19-27 mm
18.-20. januar 2012	12-17 mm

For hændelserne i januar 2011 var der problemer med modelleringen af afstrømningsprognoser, og de anvendte prognoser for Lersøledningen og Strandvænget er derfor justeret manuelt efterfølgende.

4.3.4 Effekt af DORAs styring

For at dokumentere effekten af DORAs styring i forholdt til drift uden DORAs styring er der gennemført modelberegninger for en række regnhændelser ud fra forskellige scenarier. Der anvendes regn fra SVK-målere som input til en Mike Urban model, der således danner baggrund for følgende beregninger:

1. Gennemregning med statusmodel (den eksisterende styring).
2. Gennemregning med DORAs styring, uden prognose.
3. Gennemregning med DORAs styring, med prognose.

I tabel 16 og tabel 17 er de overordnede resultater af de modellerede offline tests gengivet.

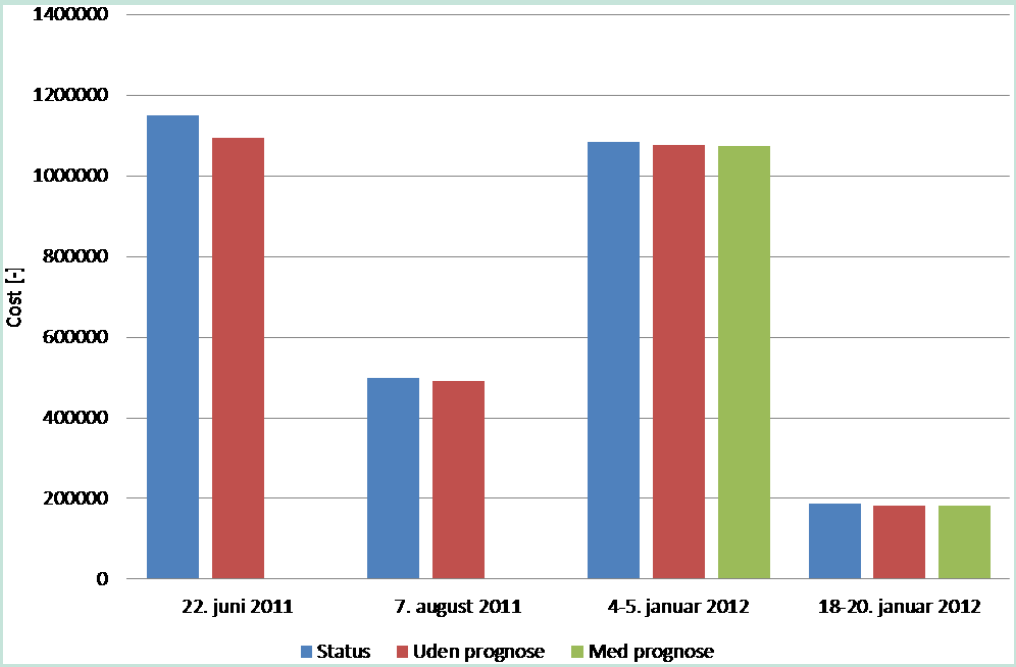
TABEL 16
SAMLET COST FOR HELE OPLANDET FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

Dato	Status	Uden prognose	Med prognose
22. juni 2011	1.149.014	1.092.962	-
7. august 2011	499.694	491.114	-
4.-5. januar 2011	1.084.640	1.075.464	1.074.229
18.-20. januar 2012	186.902	182.752	183.064

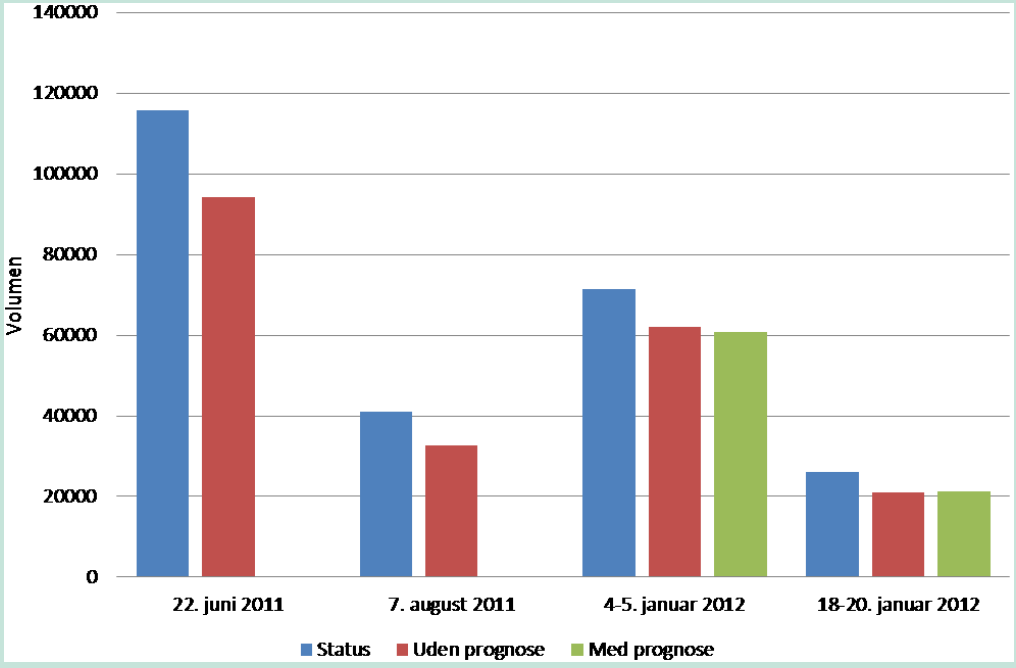
TABEL 17
SAMLET AFLASTET VOLUMEN FOR DE BERØRTE OVERLØB, FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

Dato	Status	Uden prognose	Med prognose
22. juni 2011	115.707	94.179	-
7. august 2011	41.131	32.547	-
4.-5. januar 2011	71.351	62.028	60.677
18.-20. januar 2012	26.080	21.129	21.283

De samme resultater er vist grafisk på figur 9 og figur 10.



FIGUR 9
SAMLET COST FOR HELE OPLANDET FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.



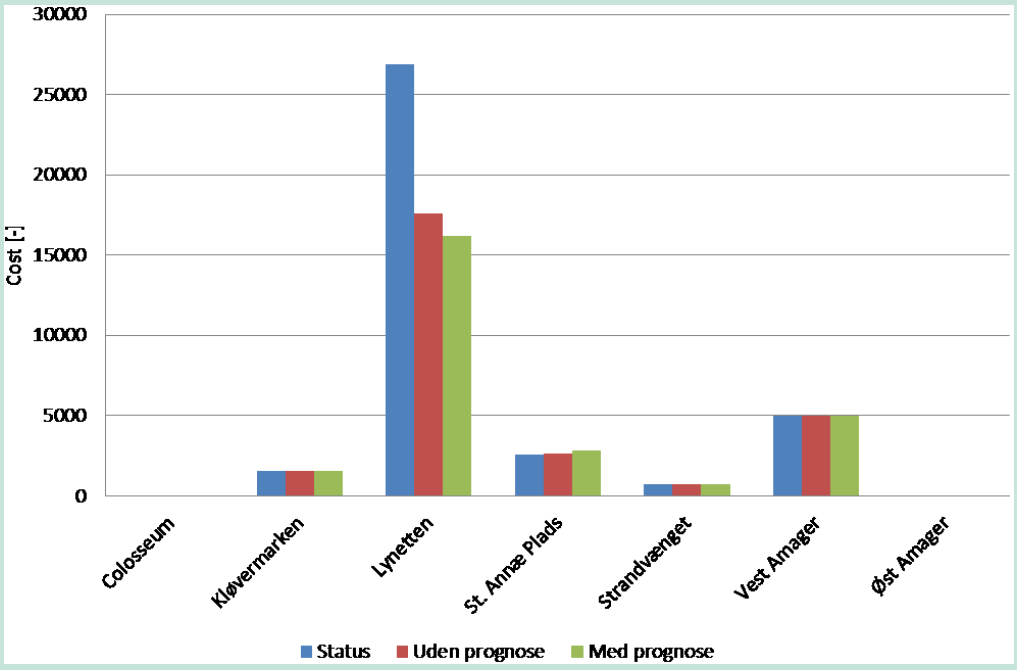
FIGUR 10
SAMLET AFLASTET VOLUMEN [M³] FOR DE BERØRTE OVERLØB, FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

I det følgende beskrives resultaterne for hændelsen 4.-5. januar nærmere. Cost er her sat i forhold til, at hændelsen foregår uden for badesæsonen. Mere detaljerede resultater for alle beregningerne findes i bilaget *Offline test for oplandet til RA Lynetten*.

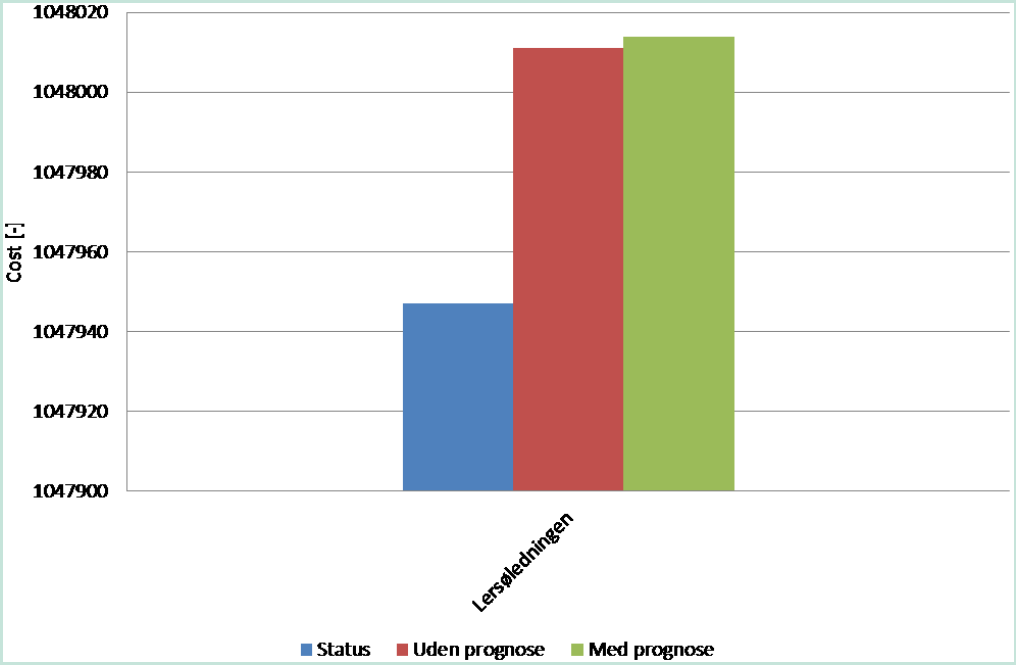
Af tabel 18 fremgår de beregnede cost-værdier for regnen den 4.-5. januar 2012, fordelt på de enkelte styringspunkter i DORA. Af tabellen fremgår det, at reduktionen i cost hovedsageligt skyldes, at cost på Lynetten er reduceret, da vandet holdes tilbage andre steder i systemet. Desuden fremgår det, at langt den største del af omkostningen ved denne regn findes ved overløb fra Lersøledningen. Værdierne er gengivet grafisk på figur 11 og figur 12.

TABEL 18
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL LYNETTEN FOR REGNEN DEN 4-5. JANUAR 2012.

Sted	Status	Uden prognose	Med prognose
Colosseum	0	0	0
Kløvermarken	1.535	1.535	1.535
Lersøledningen	1.047.947	1.048.011	1.048.014
Lynetten	26.885	17.566	16.187
Skt. Annæ Plads	2.549	2.657	2.798
Strandvænget	733	705	705
Vestamager	4.991	4.991	4.991
Østamager	0	0	0
Total cost	**1.084.640**	**1.075.464**	**1.074.229**



FIGUR 11
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER FOR REGNEN DEN 4-5. JANUAR 2012. LERSØLEDNINGEN ER AFBILLEDET FOR SIG SELV PÅ figur 12, DA COST HER ER I EN HELT ANDEN STØRRELSESORDEN END DE ØVRIGE.



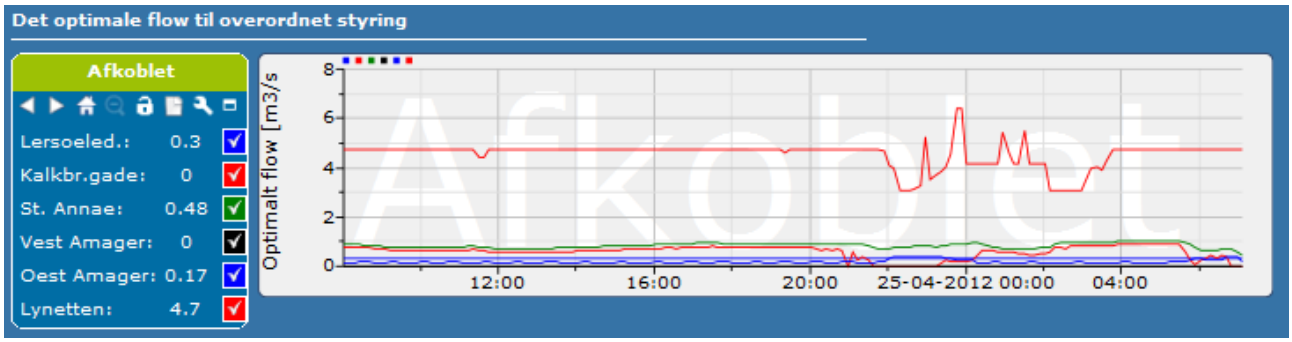
FIGUR 12
COST FOR LERSØLEDNINGEN FOR REGNEN DEN 4-5. JANUAR 2012.

På baggrund af offline tests er det konkluderet, at DORA setup'et fungerer efter hensigten, dvs. DORA reducerer den samlede cost forbundet med en regnhændelse. For de anvendte regnhændelser er cost reduceret med 1-5% på Lynettens opland. Ved de beregnede regndybder havde forcast blot en lille betydning på den samlede Cost. Der må forventes stor varitation i effekten fra regnhændelse til regnhændelse.

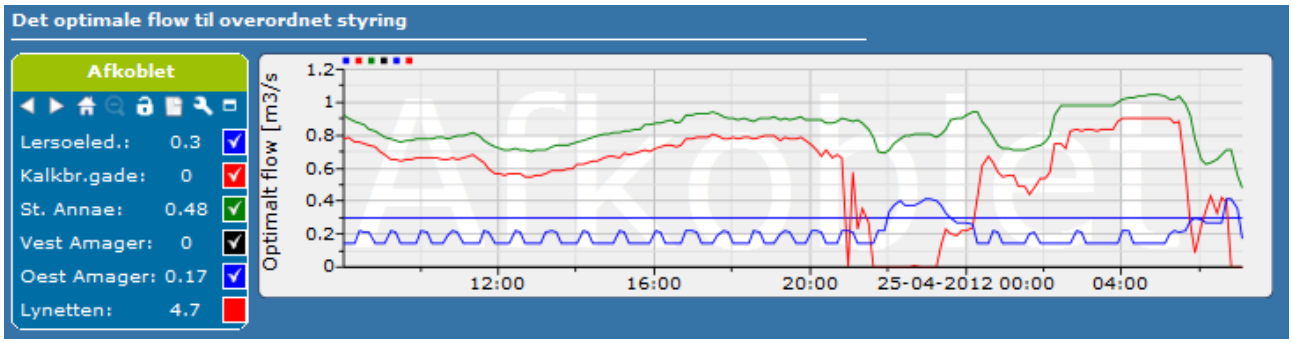
4.4 Online test

Efter at de indledende offline test er gennemført, er DORA installeret på en METSAM STAR, som kører parallelt med virkeligheden. DORA får således virkelige input fra SRO-systemet og beregner setpunkter på baggrund af disse. De beregnede setpunkter benyttes dog ikke i virkeligheden. Disse tests bruges til at sikre to ting: dels at de optimale flow som DORA beregner, giver mening, og dels at de dertilhørende setpunkter beregnes korrekt. Samtidig er paralleldriften brugt til at fange og korrigere utilsigtede forhold inden live-drift.

På billede 15 og billede 16 ses et eksempel på de i online tests af DORA beregnede, optimale flow. På billede 16 er det optimale flow ind på Lynetten slået fra, så variationen i de øvrige flow fremgår tydligere.



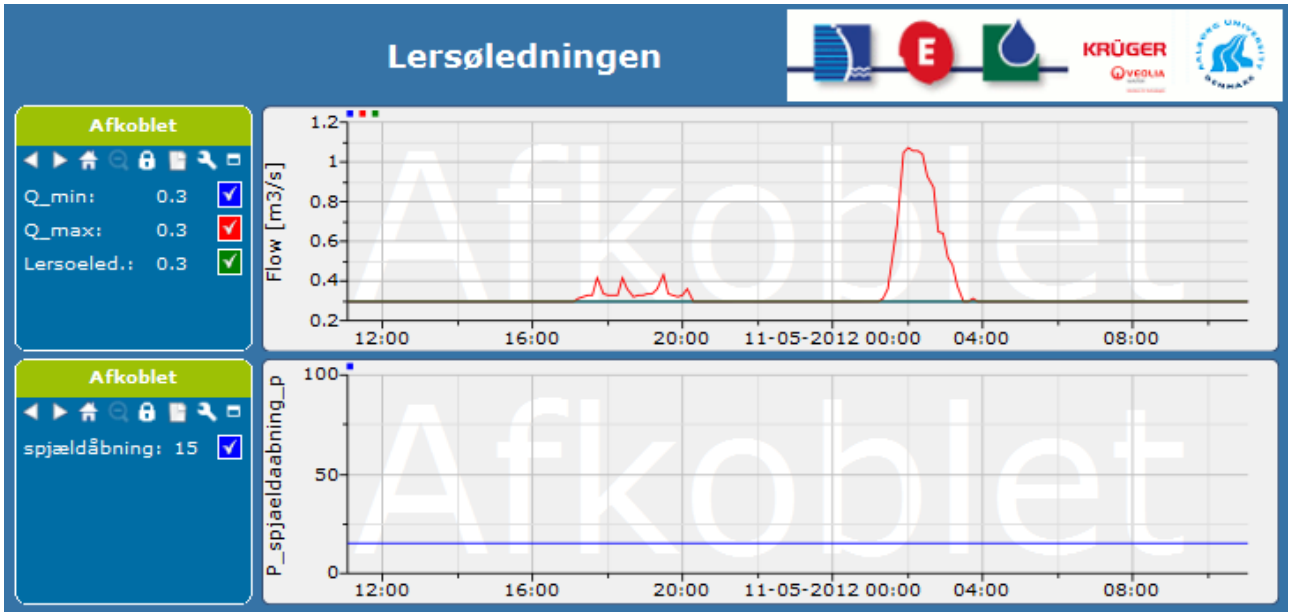
Billede 15 Optimale flow beregnet af DORA for den 25. april 2012.



Billede 16 Optimale Flow beregnet af DORA for den 25. april 2012. Lynetten-flowet er slået fra, så de øvrige variationer fremgår tydeligere.

I det efterfølgende er data for Lersøledningen præsenteret som et eksempel fra online tests. Der er taget udgangspunkt i en mindre regnhændelse den 11. maj 2012.

På den øverste graf på billede 17 ses Q_{min}, Q_{max} og det DORA-beregnede optimale flow. Q_{min} er altid 0,3 m^3/s, hvorimod Q_{max} beregnes på baggrund af vandstandene i systemet.

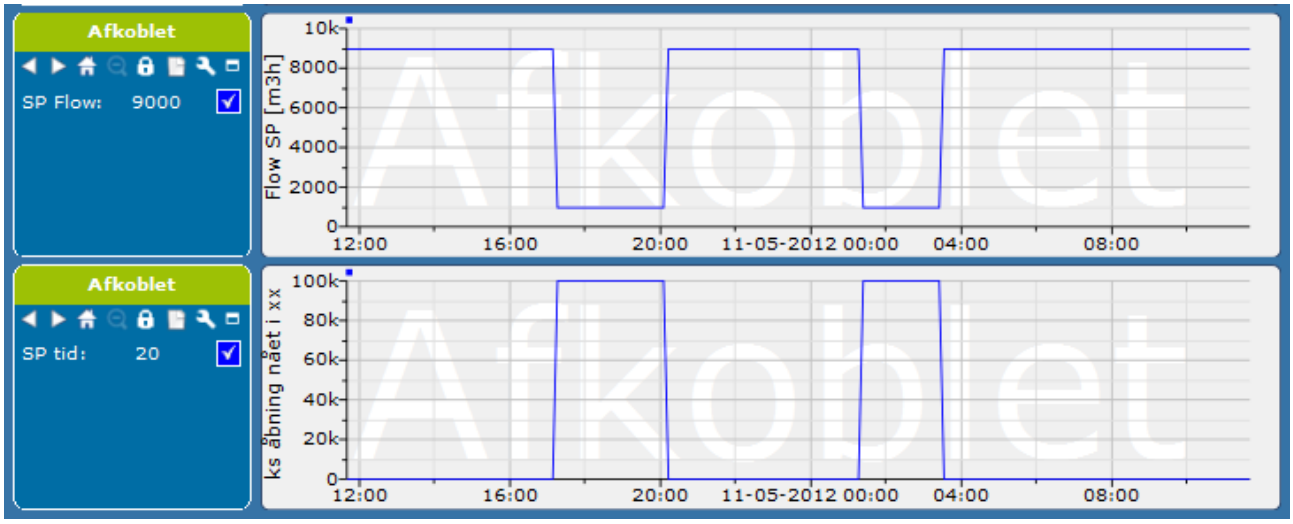


Billede 17 På øverste graf ses Qmin, Qmax samt beregnet optimalt flow for Lersøledningen under en mindre regnhændelse den 11. maj 2012. På den nederste ses det setpunkt, der skal sendes til styringen.

Som det fremgår af den øverste graf, har DORA beregnet, at det er en fordel at holde så meget vand som muligt tilbage i Lersøledningen. Hvis der er tale om en mindre regn, vil dette være en hensigtsmæssig strategi, da den vil reducere overløb ved Lynetten, uden at der sker overløb fra Lersøledningen.

På den nederste graf ses den beregnede spjældåbning. Da ønsket er at tilbageholde så meget vand som muligt, er spjældåbningen beregnet til 15 %, den mindste spjældåbning der kan anvendes i DORA.

På billede 18 ses "SP flow", der er et setpunkt der gør, at styringen skifter fra tørvejrsdrift til regnvejrsdrift, når det angivne flow overskrides. Da der kun kan styres i regnvejrsdrift, sikres det, at dette setpunkt overskrides ved at sætte det til 1.000 m^3/time, i stedet for de 9.000 m^3/time der normalt anvendes. Setpunktet ændres kun til 1.000 m^3/time, når det flow der ønskes, er mindre end Q_{max}. Dette fremgår tydeligt, når grafen sammenholdes med den øverste graf på billede 17.



Billede 18 På graferne ses de setpunkter, der skal sendes til styringen for Lersøledningen under en mindre regnhændelse den 11. maj 2012.

Den nederste graf på billede 18 viser "SP tid", der er et setpunkt der anvendes til at skifte fra regnvejrsdrift tilbage til tørvejrsdrift. Når spjældet har været maksimalt åbent i 20 sekunder, skifter styringen tilbage til tørvejrsdrift. For at styringen ikke skal stå og skifte mellem regnvejrs- og tørvejrsdrift, når det regner, skrives dette setpunkt op til 100.000 sekunder, når det ønskes, at DORA skal styre.

Online tests for Lersøledningen viser således, at tingene fungerer efter hensigten. Dette har ikke været tilfældet med alle styringspunkterne.

Online tests har vist, at DORA vælger Q_{min} for Østamager og Vestamager i tørvejr, hvilket medfører, at der i tørvejr holdes vand tilbage i bassinerne på Amager. Dette er ikke meningen og ikke hensigtsmæssigt. Der arbejdes i skrivende stund på at korrigere beregningsmetoden i DORA, således at dette undgås.

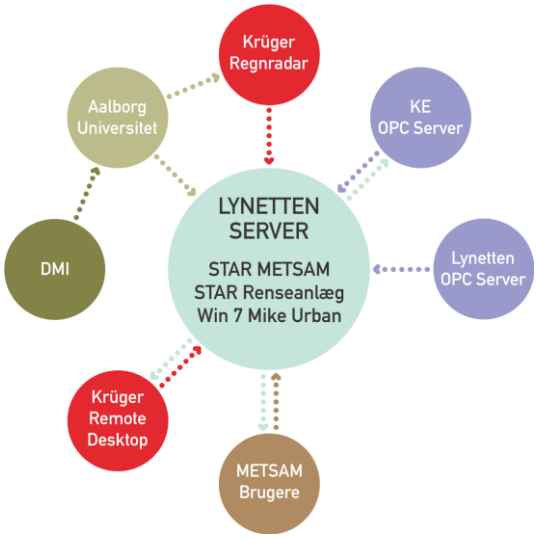
En gennemgang af de øvrige online tests findes i bilaget *Online test for oplandet til RA Lynetten*.

4.5 Implementering

Den overordnede styring er implementeret hos KE og kan aktiveres fra KEs SRO-system.

Implementeringen af DORA er forsøgt gjort ved at anvende de allerede eksisterende styringer i SRO'en, dvs. at der skrives nye (alternative) værdier til de allerede eksisterende setpunkter. På denne måde mindskes PLC-arbejdet, og der er desuden en sikkerhed for, at styringsprincipperne virker.

Billede 19 viser den planlagte kommunikationsopsætning. STAR-serveren på Lynettens Renseanlæg er det centrale element. På denne maskine er der installeret en STAR Renseanlæg, en STAR METSAM og en Win 7 Mike Urban.



Billede 19 IT-opsætning for Lynetten server.

STAR Renseanlæg styrer allerede i dag renseanlægget.

STAR METSAM skal styre afløbssystemet, og Win 7 Mike Urban skal levere data til de beregninger, som kan ses i SewerView (model med statusstyring og model med DORAs styring).

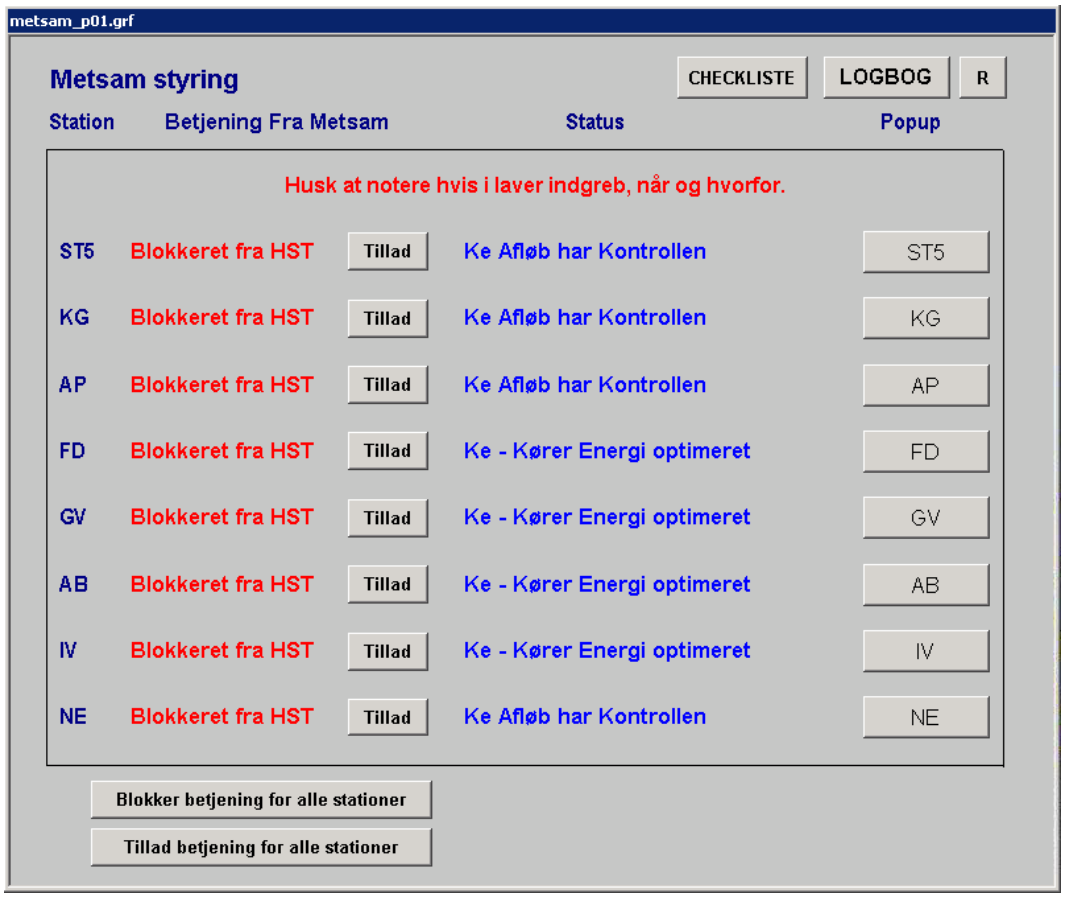
STAR METSAM og Win 7 Mike Urban skal bruge radardata som input. Disse leveres af DMI via Aalborg Universitet. Der skal bruges to forskellige typer regndata (en slags til modelberegningerne og en anden slags til afstrømningsprognose). Dataene til modellen kommer direkte til Win 7 Mike Urban fra Aalborg Universitet, mens radardataene til afstrømningsprognose går via Krüger Regnradar, som bruges til at videreformidle alle de radardata, som Krüger bruger i prognose-modeller. Både STAR METSAM og Win 7 Mike Urban bruger de prognoser, som bliver beregnet på STAR METSAM.

Prognosemodellerne skal også bruge måledata fra systemet for at kalibrere beregningerne. Disse måledata kommer dels fra en OPC-server hos KE og dels fra en OPC-server hos Renseanlæg Lynetten. Når DORA har beregnet de optimale flows, og post-processerne har omsat dette til setpunkter, sendes de tilbage til OPC-serveren hos KE, som videresender dem til PLC'erne i oplandet.

Der er to forskellige adgangsniveauer:

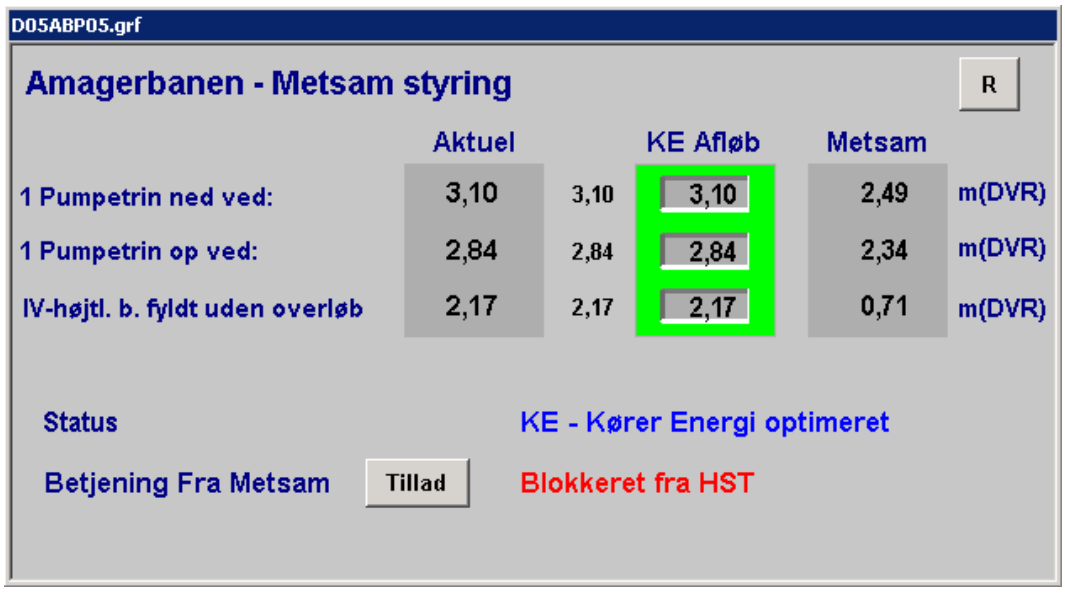
- METSAM-brugerne har adgang til at se data, og de kan også lave visse indstillinger til den overordnede styring. På STAR METSAM i Lynettens opland kan METSAM-brugeren ændre på cost for overløb.
- Krüger Remote Desktop giver adgang til alt, der ligger bag ved brugerfladen, som METSAM-brugerne har adgang til. Det er f.eks. opsætning af de beregninger, som ligger i pre- og post-processer, samt opsætning af hvad der kan ses i SewerView og på grafer i STAR-brugerfladen.

På billede 20 ses et skærmdump med den dialogboks i KEs SRO-system, hvor DORA kan tændes og slukkes punktvist.



Billede 20 Brugergrænseflade i KEs SRO-system, hvor DORA kan tændes og slukkes punktvist.

For hvert SRO-punkt findes der en underdialog, hvor det fremgår, hvilke parametre DORA sender til systemet, samt hvilke parametre der er i systemet, når DORA ikke kører. Et eksempel på en sådan dialogboks, for Amagerbanen, der er en del af Østamager, ses i billede 21..



Billede 21 Brugergrænseflade i KEs SRO-system. Underdialog for Amagerbanen der er en del af Østamager. Til venstre ses de værdier, systemet pt. kører efter. I midten ses KEs standardværdier, og til højre ses DORA-værdierne.

For Amagerbanen sendes værdier til de setpunkter, der bestermmer hvornår Pst. Amagerbanen ændrer hhv. et pumpetrin op og et pumpetrin ned. På den måde kan det bestemmes, hvor mange pumper der skal køre på samme tid. Desuden sendes en værdi til "IV-højtl. b. fyldt uden overløb"., der sikrer, at DORA er i det rigtige "styrings-mode". I bilaget *PLC specifikation for Lynetten* findes en mere detaljeret beskrivelse af implementeringen for de forskellige punkter i systemet.

Til anvendelse i opstartsfasen er der udarbejdet en tjekliste, der omfatter alle punkterne. Listen, der beskriver en række forhold, der skal kontrolleres i forbindelse med online drift af systemet, kan tilgås direkte fra SRO'en. Listen med tilhørende kommentarer fra driften er vedlagt som som bilaget *Igangsætning METSAM*. I dette bilag findes også alle underdialogbokse.

I tabel 19 findes en oversigt over de parametre, der ændres for de forskellige styringspunkter. I kolonnen "Styringspunkt" er navnet i den overordnede styring angivet. I kolonnen "Håndtag" er det angivet, hvilken del af afløbsystemet der styres på for at regulere flowet hen mod det optimale flow beregnet af DORA. I kolonnen "Parametre" er det angivet, hvilke værdier der stilles på i PLC'en for at få den indstilling på "Håndtaget", som giver det ønskede flow.

For punkterne Kløvermarken og Strandvænget styres der ikke direkte, her sker styringen indirekte ved at holde vand tilbage længere oppe i systemet. Styringen på Lynetten sker via en separat implementeret opstart af ATS baseret på en radarbaseret afstrømningsprognose.

TABEL 19
HÅNDTAG FOR STYRINGSPUNKTER.

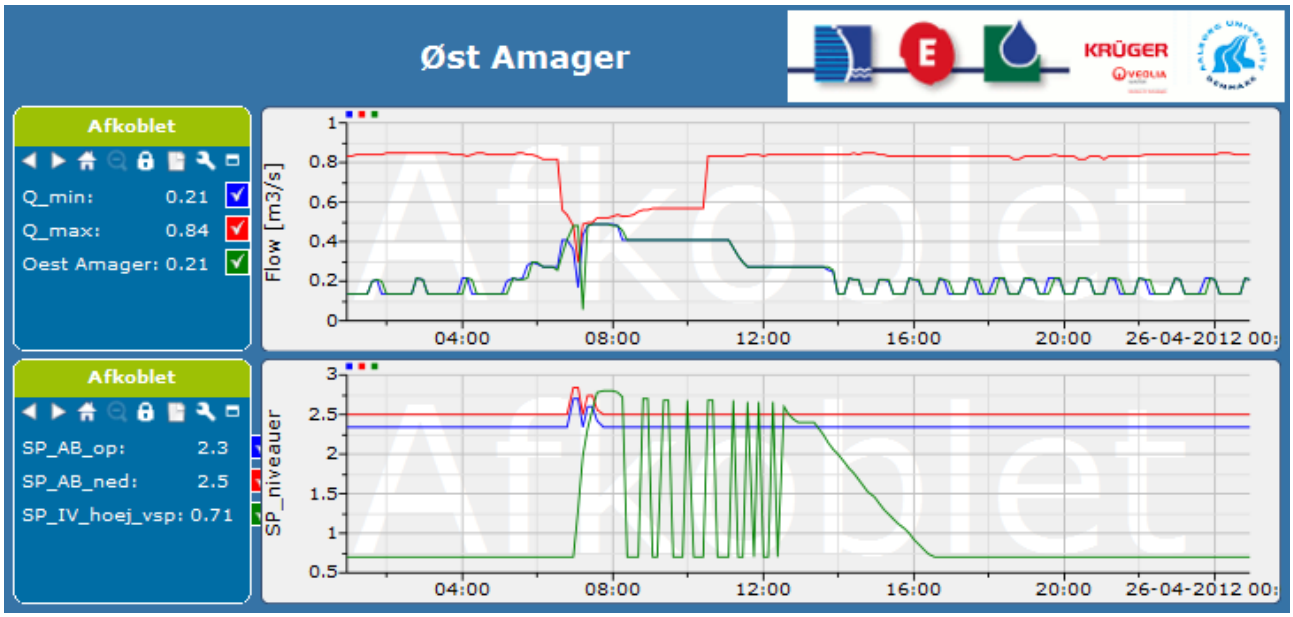
Styringspunkt	Håndtag	Parametre
Lersøledningen	Spjæld MV09	Max spjældåbning. Grænse for skift fra tørvejrsdrift til regnvejrsdrift. Skift fra regnvejrsdrift til tørvejrsdrift. Max åbningsgrad for spjæld opnået i X sekunder.
Colosseum	Pst. Kalkbrænderihavnsgade	BKG (begyndende begrænsning af Pst. Kalkbrænderihavnsgade). SKG (stop for Pst. Kalkbrænderihavnsgade)
Skt. Annæ Plads	Tømmepumper	Ønsket flow fra tømmepumperne (PID setpunkt).
Vestamager	Pst. Grønjordsvej Pst. Fælleddige	Start og stopkoter for de fire pumper i Pst. Fælleddige PID niveau setpunkt for pumperne i Pst. Grønjordsvej
Østamager	Pst. Italiensvej Pst. Amagerbanen Nerikegadeventilen	Niveausetpunkt for at skifte et pumpetrin op for Pst. Amagerbanen Niveausetpunkt for at skifte et pumpetrin ned for Pst. Amagerbanen Niveausetpunkt for at skifte et pumpetrin op for Pst. Italiensvej Niveausetpunkt for at skifte et pumpetrin ned for Pst. Italiensvej Niveausetpunkt for "høj vandstand" i det høje bassin ved Italiensvej. Overruler regnstyringen. PID niveausetpunkt for Nerikegadeventilen.

4.6 Resultater og diskussion

Den 25. april 2012 blev der givet tilladelse til at DORA kunne styre dele af Lynetten-oplandet, hvilket indledningsvist skete med styring af enkelte punkter på de to Amager bassiner, Vestamager og Østamager.

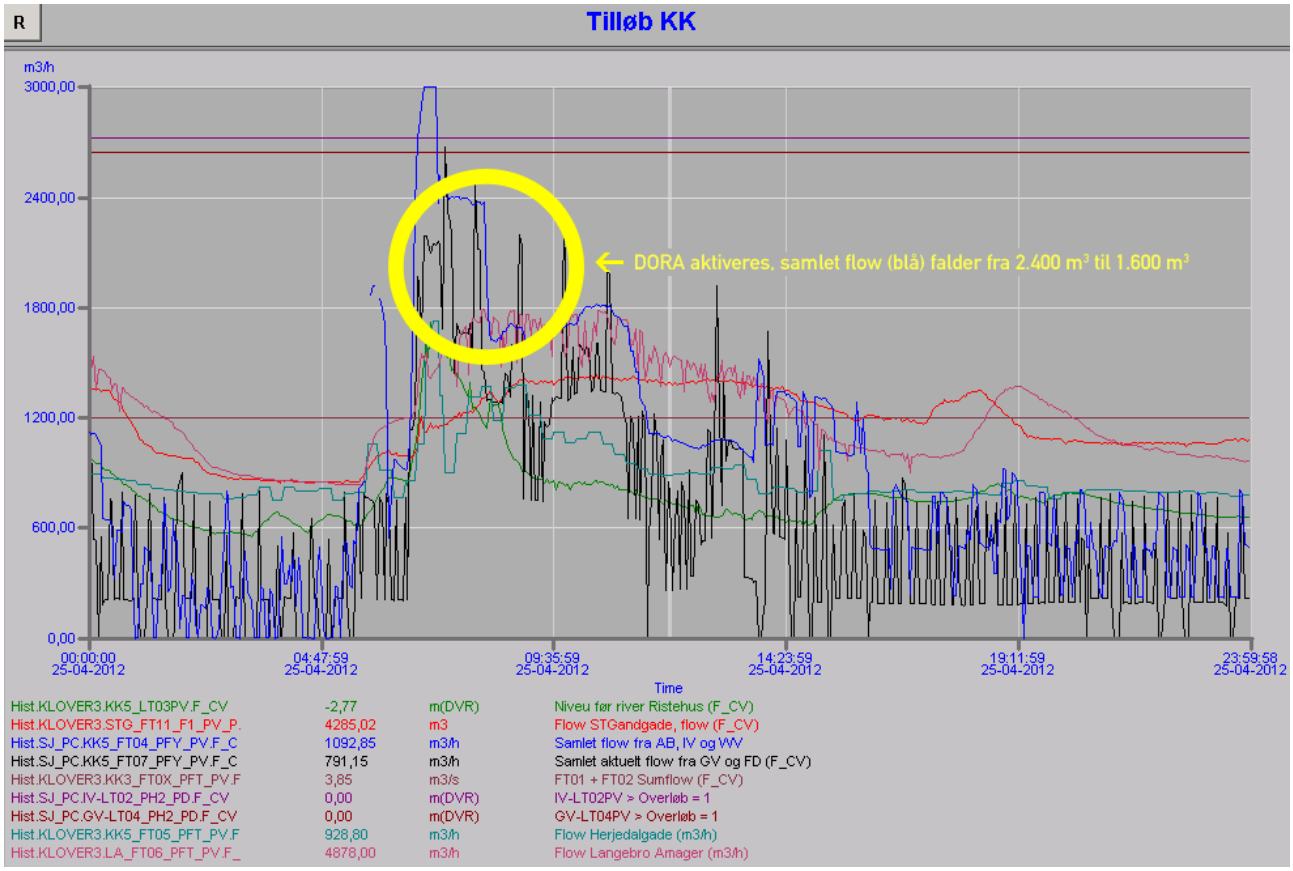
Live-drift viste her, at Amager-styringerne altid vælger Q_{min}, og holder så meget vand som muligt tilbage i de to bassiner. Dette kunne i princippet være en korrekt styring under mindre regnhændelser, men tilbageholdelsen af vand er dog konstateret også at være gældende for Vestamager i tørvejrsperioder. Dette er hverken korrekt eller hensigtsmæssigt.

Ses der på data for Østamager den 25. april, fremgår det, at bassinerne påvirkes som anvist af DORA, selv om det i dette tilfælde ikke er hensigtsmæssigt. På billede 22 ses øverst Q_{min}, Q_{max} og det optimale flow beregnet af DORA. Som beskrevet ovenover, vælger DORA konstant Q_{min} som det optimale flow, hvilket fremgår tydeligt af figuren. På den nederste af de to grafer ses de setpunkter, der sendes til systemet. Setpunkternes værdier hæves for skift af pumpetrin, hvilket medfører, at pumperne på Amagerbanen stopper.



Billede 22 Skærmdump fra STAR for hændelsen den 25. april hvor METSAM er aktiveret.

Billede 23 viser et skærmdump med historik fra KEs SRO-system, der viser at flowet fra Østamager til Kløvermarken falder kl. 8:13 (den blå graf). Dette skyldes aktiveringen af DORA.



Billede 23 Skærmdump fra KEs SRO-system for hændelsen den 25. april, hvor DORA er aktiveret.

Styringerne på Sjællandssiden har i skrivende stund kun kørt i tørvejr, men der ses her ikke tegn på lignende utilsigtede styringer for disses styringspunkter.

5. Damhusåen

5.1 Baggrund

For Damhusåens opland er der opstillet en model til anvendelse i planlægningsmæssig henseende.

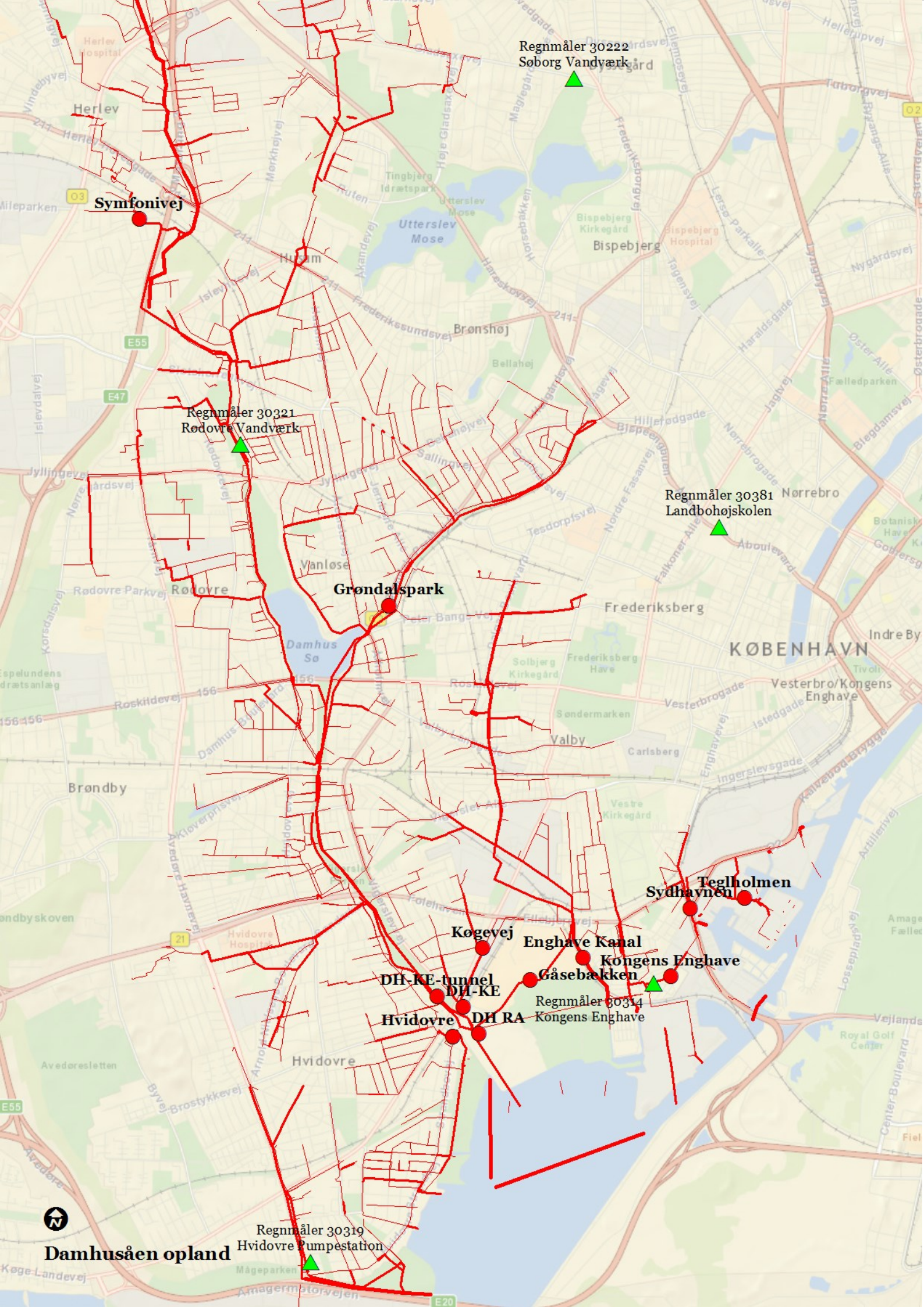
5.2 Opstilling

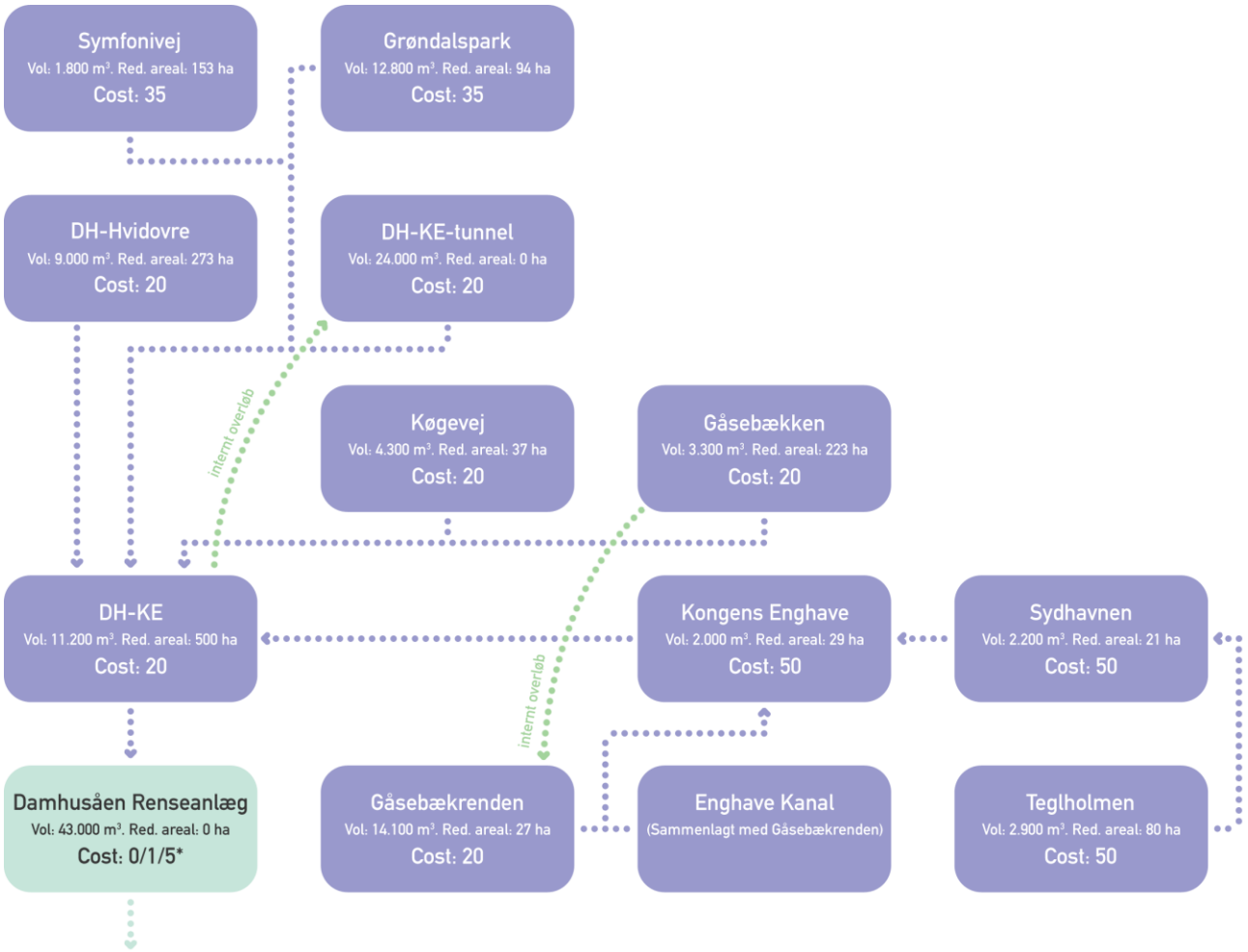
Den DORA opstillede model for oplandet til Damhusåen er opstillet på baggrund af en Mike Urban model for oplandet udleveret af KE. Mike Urban modellen er udarbejdet i forbindelse med Intelligent Spildevandshåndtering (ISH) projektet.

DORA modellen omfatter følgende styringspunkter:

- Symfonivej
- Hvidovre
- Grøndalspark
- DH-KE-tunnel (en endnu ikke etableret tunnelledning)
- Køgevej
- Gåsebækken
- Teglholmen
- Sydhavnen
- Kongens Enghave
- Enghave Kanal (incl. Gåsebækrenden)
- DH-KE (bassinvolumenet i tilløbsledningerne til renseanlæg)
- DH-RA (bassinet på renseanlæg)

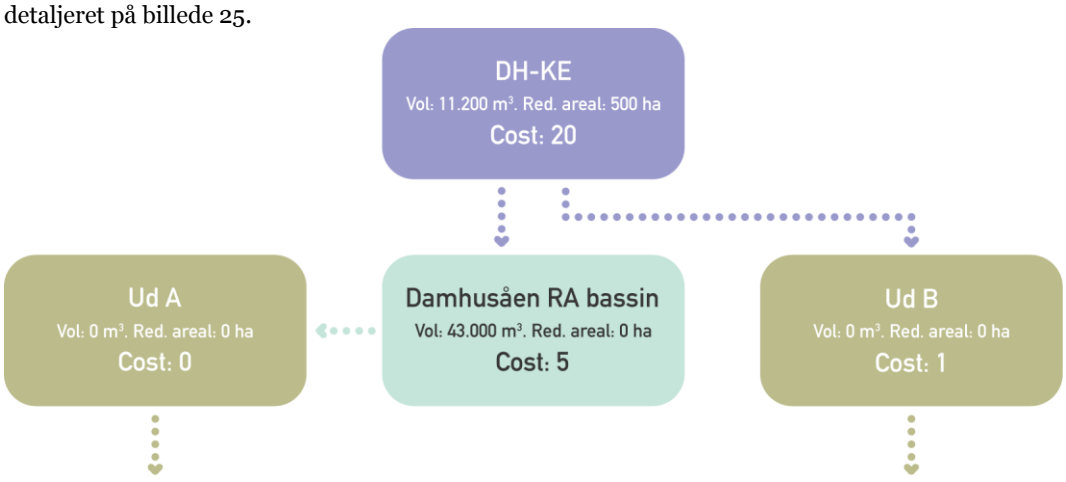
På billede 24 ses et overblik over sammenhængen mellem de enkelte styringspunkter. Heraf fremgår også bassinvolumener og oplandsarealer samt cost-værdier for de enkelte oplande.


Regnmåler 30222
Søborg Vandværk
Symfonivej
Regnmåler 30321
Rødovre Vandværk
Regnmåler 30381
Landbohøjskolen
Grøndalspark
Teglholmen
Sydhavnen
Køgevej
Enghave Kanal
Kongens Enghave
Gåsebækken
DH-KE-tunnel
DH-KE
Hvidovre
DH RA
Regnmåler 30314
Kongens Enghave
Regnmåler 30319
Hvidovre Pumpestation
Damhusåen opland



Billede 24 Systemoverblik for DORA modellen for Damhusåens opland.
* Der er tre overløbsmuligheder for renseanlægget, se næste billede.

På grund af forskellige muligheder for overløb/udledning af renset/urenset spildevand fra renseanlægget er DORA-sammenhængen for modelopstillingen for selve renseanlægget vist mere detaljeret på billede 25.



Billede 25 DORA systemsammenhæng internt på Damhusåen Renseanlæg.
Ud A: Renset spildevand til Kongedybet (cost: 0).
Ud B: Urenset spildevand til Kongedybet (cost: 1).
Damhusåen RA bassin: Renset spildevand lokalt aflastet (cost: 5).

5.3 Offline test

Der gennemføres beregninger med statusmodel uden DORA, og med statusmodel med DORA. Beregningerne gennemføres for at sikre, at opsætningen af DORA-modellen fungerer, inden der gennemføres forskellige scenarieberegninger.

5.3.1 Regndata

Til beregningerne er der anvendt målt nedbør fra SVK-måler 30222, 30314, 30319, 30321 og 30381. SVK-målerne anvendt i beregningerne er alle vist i tabel 20.

TABEL 20
ANVENDTE SVK-MÅLERE I FORBINDELSE MED OFFLINETESTS.

SVK-målernr.	Navn
30321	Rødovre Vandværk
30222	Søborg Vandværk
30314	Kongens Enghave
30319	Hvidovre Pumpestation
30381	Landbohøjskolen

Placeringen af SVK-målerne i forhold til systemet kan ses på oversigtsbilledet.

5.3.2 Afstrømningsprognose

Der er ikke opstillet radarbaserede prognosemodeller for Damhusåens opland, hvorfor afstrømningsprognosen i dette tilfælde er baseret på målt nedbør fra SVK-målerne. Prognosen for de enkelte oplande er således beregnet på baggrund af oplandsareal samt regnintensitet fra nærmeste SVK-måler. Af tabel 21 fremgår det, hvilke SVK-målere der er anvendt til prognose for de enkelte oplande. Som det var tilfældet med den radarbaserede prognose, arbejdes der også her med en prognosehorisont på to timer.

TABEL 21
SVK-MÅLERE ANVENDT TIL AFSTRØMNINGSPROGNOSE.
* MÅLER 30314 VAR UDE AF DRIFT UNDER REGNEN DEN 22/6, OG BLEV ERSTATTET AF DATA FRA MÅLER 30319.

Opland	SVK-måler	Navn
Symfonivej	30321	Rødovre Vandværk
DH-KE-tunnel	30321	Rødovre Vandværk
DH-KE	30321	Rødovre Vandværk
Grøndalspark	30321	Rødovre Vandværk
Hvidovre	30319	Hvidovre Pumpestation
Gåsebækken	30381	Landbohøjskolen
Køgevej	30319	Hvidovre Pumpestation
Enghave Kanal (Gåsebækrenden)	30314*	Kongens Enghave
Teglholmen	30314*	Kongens Enghave
Sydhavnen	30314*	Kongens Enghave
Kongens Enghave	30314*	Kongens Enghave
DH-RA	Intet opland, derfor ingen SVK-måler tilknyttet	-

5.3.3 Testdatoer

Til offline testen er der anvendt to regnhændelser; en forholdsvis stor hændelse, der giver en større mængde overløb (22/6-2011), samt en mindre, der giver et begrænset overløb (10/10-2011). Data for de to regnhændelser fremgår af tabel 22.

TABEL 22
HÆNDELSER ANVENDT VED OFFLINE TESTS.

Hændelse	Dybde
22. juni 2011	17-25 mm
10. oktober 2011	7-9 mm

5.4 Resultater og diskussion

Resultatet af offline tests er samlet cost for overløb fra systemet. Den samlede cost er beregnet både for statussituationen og for en beregning, hvor DORA er anvendt. I tabel 23 ses de samlede cost for det samlede opland (de overløb der bliver påvirket af DORAs styring), med og uden DORA. Som det fremgår af tabellen, kan der ikke dannes noget entydigt billede efter disse offline tests.

TABEL 23
SAMLET COST FOR HELE OPLANDET FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

Cost	Status	DORA
22. juni 2011	795.181	833.496
10. oktober 2011	12.403	8.633

I tabel 24 ses det aflastede volumen.

TABEL 24
SAMLET AFLASTET VOLUMEN [M3] FOR DE BERØRTE OVERLØB, FOR DE GENNEMFØRTE OFFLINE TESTS.

Aflastet volumen	Status	DORA
22. juni 2011	126.761	70.797
10. oktober 2011	11.031	7.264

Hændelsen den 10. oktober 2011 opfører sig som forventet. Når DORA får lov til at styre, bliver den samlede cost mindre. Dette er en forholdsvis lille regnhændelse, og cost reduceres ved at mindske overløbene ved renseanlægget. Dette gøres ved at holde vand tilbage i bassinerne i systemet, hvor der er et tilstrækkeligt volumen ledigt.

Hændelsen den 22. juni 2011 viser derimod det modsatte billede, her bliver den samlede cost større, når DORA får lov til at styre. Dette skyldes formentlig, at DORA holder vand tilbage, da det er forventet, at der er et tilstrækkeligt volumen ledigt i de opstrøms bassiner. Dette viser sig så ikke at være tilfældet, hvilket medfører en række bekostelige overløb.

Offline beregningerne den 22. juni 2011 er kørt med afstrømningsprognose fra tre SVK-målere. En test hvor der kun blev anvendt en enkelt SVK-måler til prognose, viste en samlet cost på 794.106, dvs. mindre end i status beregningen. Dette kunne skyldes, at nedbøren i den ene SVK-måler anvendt til prognosen giver et bedre billede af det vand, der faktisk kommer i systemet. Disse observationer kunne indikere vigtigheden af at have adgang til en kvalificeret prognose. Værdierne for beregningen med en enkelt SVK-måler i prognose er angivet sammen med de detaljerede resultater i tabel 25.

TABEL 25
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 22. JUNI 2011.
* DORA MED AFSTRØMNINGSPROGNOSE PÅ BAGGRUND AF EN ENKELT SVK-MÅLER.

Sted (22/6-2011)	Status	DORA	DORA*
DH Hvidovre	10.734	42.455	13.408
DH-KE-tunnel	0	0	0
Grøndalspark	205.049	205.023	204.566
Enghave Kanal	296.635	391.954	296.520
Sydhavnen	0	0	0
Køgevej	0	35.784	0
DH-RA	145.794	37.799	143.159
DH indløb	25.083	8.801	24.826
Teglholmen	0	0	0
Symfonivej	111.885	111.679	111.626
I alt	**795.181**	**833.496**	**794.106**

I tabel 25 og tabel 26 er cost-værdierne fordelt på de enkelte styringspunkter, således at det er muligt at se, hvor forskellene er. Tabel 25 indeholder data for regnen den 22 juni 2011, mens tabel 26 indeholder data for regnen den 10. oktober 2011.

TABEL 26
COST FORDELT PÅ STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 10. OKTOBER 2011.

Sted (10/10-2011)	Status	DORA
DH Hvidovre	0	0
DH-KE-tunnel	0	0
Grøndalspark	0	0
Enghave Kanal	0	0
Sydhavnen	0	0
Køgevej	0	0
DH-RA	10.990	7.224
DH indløb	0	0
Teglholmen	0	0
Symfonivej	1.412	1.410
I alt	**12.403**	**8.633**

5.5 Scenarieberegninger

Efter at DORA-opsætningen og effekten af modellen er verificeret med offline tests, gennemføres der en række scenarieberegninger. Scenarieberegningerne er gennemført med regnhændelsen 22. juni 2011.

I scenarieberegningerne ses der udelukkende på overløb. Stuvningsmæssige konsekvenser ved øgning af pumpeydelser og afløbskapaciteter fra spjæld er således ikke undersøgt nærmere.

Følgende scenarier undersøges:

- Alle pumpekapaciteter øges
- Afløbskapaciteten fra Enghave Kanal øges (0,140 m^3/s til 0,280 m^3/s)
- Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges (0,235 m^3/s til 0,470 m^3/s)
- Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges yderligere (0,85 m^3/s til 1,1 m^3/s)

5.5.1 Alle pumpekapaciteter øges (SC-1)

Formålet med dette scenarie er at undersøge, om der er steder i systemet, hvor DORA ville vælge at sende mere vand videre, hvis muligheden var der. Rent praktisk er den maksimale pumpeydelse på alle pumper i DORA og i Mike Urban modellen øget med 50 %. Der ændres ikke ved kapaciteten på renseanlægget, det gælder både kapaciteten gennem biologien og kapaciteten af udløbspumpestation.

Af tabel 27 fremgår de oprindelige maksimale pumpeydelser samt de øgede pumpeydelser.

TABEL 27
MAKSIMALE PUMPEYDELSER FOR DE RELEVANTE PUMPESTATIONER. FOR STATUS I KOLONNE 2 OG FOR SC-1 I KOLONNE 3.

Pumpestation	Status	SC-1
Symfonivej*	0,235	0,353
Grøndalspark**	0,040	0,060
Hvidovre	3,100	4,650
DH-KE-tunnel	0,700	1,050
Køgevej	0,560	0,840
Gåsebækken	1,600	2,400
Kongens Enghave	0,800	1,200
Enghave Kanal	0,140	0,210
Sydhavnen***	0,350	0,525
Teglholmen	0,065	0,098

I tabel 28 ses resultatet af scenarieberegningen sammen med resultatet af status samt DORA uden scenario. Det ses, at den samlede cost bliver mindre for scenarioberegningen end for de to tidligere beregninger, hvilket hovedsageligt skyldes, at overløb fra Symfonivej reduceres. Der sker desuden også en mindre reduktion af overløb fra Grøndalspark. Reduktionen af overløb disse steder skyldes, at DORA vælger at anvende de større flows, der tilhører dette scenario for de to punkter. Selv om der sendes mere vand videre fra Symfonivej og Grøndalspark, medfører det ikke en øgning af overløb fra DH-KE og renseanlægget nedstrøms.

TABEL 28
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 22. JUNI 2011.

Sted	Status	DORA	DORA SC-1
DH Hvidovre	10.734	42.455	57.085
DH-KE-tunnel	0	0	0
Grøndalspark	205.049	205.023	194.268
Enghave Kanal	296.635	391.954	394.865
Sydhavnen	0	0	0
Køgevej	0	35.784	39.499
DH RA	145.794	37.799	37.065
DH-KE	25.083	8.801	8.627
Teglholmen	0	0	0
Symfonivej	111.885	111.679	27.132
I alt	**795.181**	**833.496**	**758.541**

5.5.2 Afløbskapaciteten fra Enghave Kanal øges (SC-2)

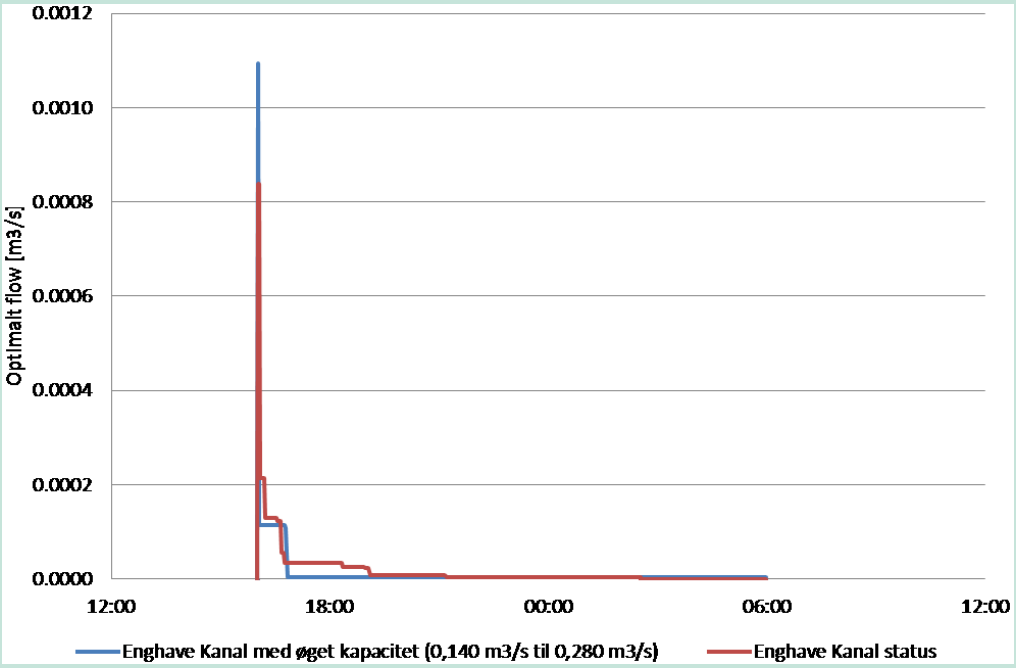
Der undersøges, hvilken effekt det vil have på systemet, hvis den maksimale pumpekapacitet på Pst. Enghave Kanal øges fra 0,140 m^3/s til 0,280 m^3/s. Denne pumpestation er udvalgt, da der i de gennemførte statusberegninger sker væsentlige overløb fra Enghave Kanal og Gåsebækrenden.

Af tabel 29 fremgår de beregnede cost for henholdsvis status, DORA som systemet er nu, og DORA for scenariet. Som det fremgår af tabellen, er der stort set ingen effekt at spore på overløb fra Enghave Kanal af, at den maksimale afløbskapacitet blev fordoblet.

TABEL 29
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 22. JUNI 2011.

Sted	Status	DORA	DORA SC-2
DH Hvidovre	10.734	42.455	30.861
DH-KE-tunnel	0	0	0
Grøndalspark	205.049	205.023	204.143
Enghave Kanal	296.635	391.954	391.860
Sydhavnen	0	0	0
Køgevej	0	35.784	35.522
DH RA	145.794	37.799	37.944
DH indløb	25.083	8.801	8.783
Teglholmen	0	0	0
Symfonivej	111.885	111.679	111.217
I alt	**795.181**	**833.496**	**820.332**

Årsagen til den manglende effekt er, at DORA ikke beregner optimale flows, der er større end de oprindelige 140 l/s. Faktisk beregner DORA, at der stort set ikke skal være noget afløb fra bassinet. Dette fremgår af de beregnede optimale flow, der er vist på figur 13.



FIGUR 13
OPTIMALE FLOW BEREGNET I DORA, DELS FOR STATUS SYSTEMET, DELS FOR SYSTEMET MED ØGET KAPACITET.

De meget lave beregnede optimale flow hænger dårligt sammen med de forholdsvis store overløbsmængder, og årsagen skal formentlig findes i konfigureringen af netop dette opland. Det ser ud til, at afstrømningsprognosen undervurderer, hvor meget vand der kommer til bassinet. Med til resultatet hører, at der er et internt overløb fra Gåsebækken til Enghave Kanal (Gåsebækrenden), der ikke er med i DORA-modellen.

På bagrund at de nuværende resultater må det konkluderes, at modellen som den er nu, ikke regner korrekt på styringspunktet for Enghave Kanal.

5.5.3 Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges (SC-3)

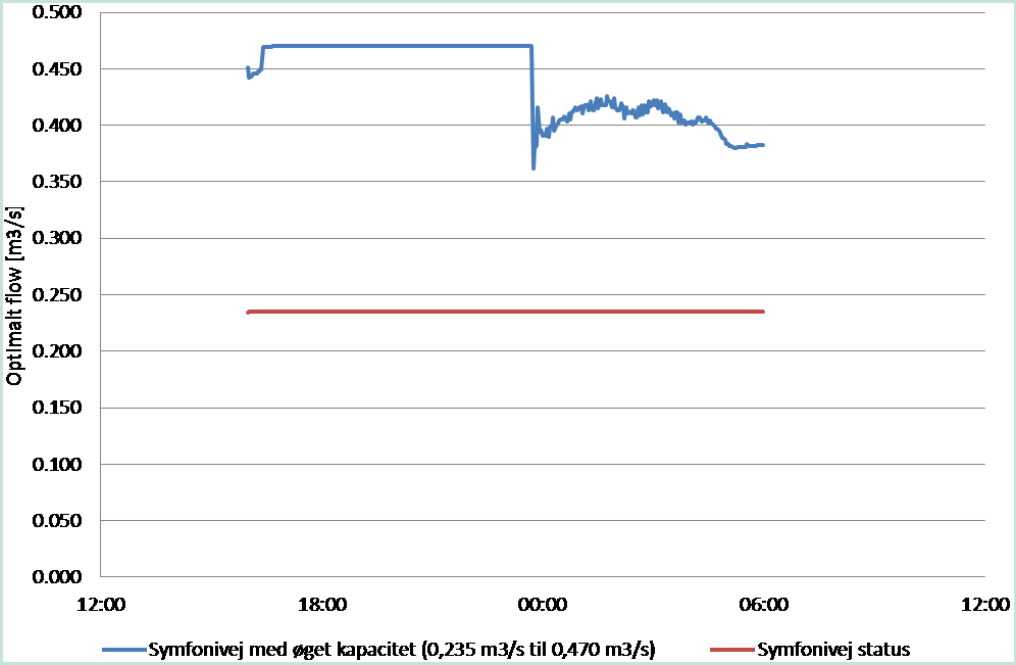
Der undersøges, hvilken effekt det vil have på systemet, hvis den maksimale afløbskapacitet ved spjældet fra Symfonivej øges fra 0,235 m^3/s til 0,470 m^3/s. Dette spjæld er udvalgt, da der i de gennemførte statusberegninger sker væsentlige overløb fra Symfonivej.

Af tabel 30 fremgår de beregnede cost for henholdsvis status, DORA som systemet er nu, og DORA for scenariet. Som det fremgår af tabellen, vil en øgning af den maksimale afledning fra Symfonivej reducere cost betydeligt. Cost ved Symfonivej reduceres således med over 90 %, mens der kun sker en begrænset øgning af cost andre steder i systemet. Dette skyldes, at der rent faktisk er et tilstrækkeligt volumen tilgængeligt i systemet nedstrøms, når Symfonivej bliver fyldt.

TABEL 30
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 22. JUNI 2011.

Sted	Status	DORA	DORA (SC-3)
DH Hvidovre	10.734	42.455	35.381
DH-KE-tunnel	0	0	0
Grøndalspark	205.049	205.023	204.794
Enghave Kanal	296.635	391.954	395.486
Sydhavnen	0	0	0
Køgevej	0	35.784	37.214
DH RA	145.794	37.799	38.455
DH indløb	25.083	8.801	10.963
Teglholmen	0	0	0
Symfonivej	111.885	111.679	4.336
I alt	**795.181**	**833.496**	**726.628**

På figur 14 fremgår de DORA-beregnede optimale flows, for henholdsvis status og for scenariet med øget maksimal kapacitet.



FIGUR 14
OPTIMALE FLOW BEREGNET I DORA I DELS FOR STATUS SYSTEMET OG FOR SYSTEMET MED ØGET KAPACITET.

For lige netop denne regn ville det have været en fordel, såfremt kapaciteten videre fra Symfonivej havde været større.

5.5.4 Afløbskapaciteten fra Symfonivej øges yderligere (SC-4)

Efter gennemførelse af scenarieberegningerne viser det sig, at det faktiske maksimale afløb fra Symfonivej er på 0,85 m^3/s, med mulighed for at øge til 1,1 m^3/s. På den baggrund er der gennemført en beregning, hvor den maksimale afløbskapacitet for Symfonivej er øget til 1,1 m^3/s.

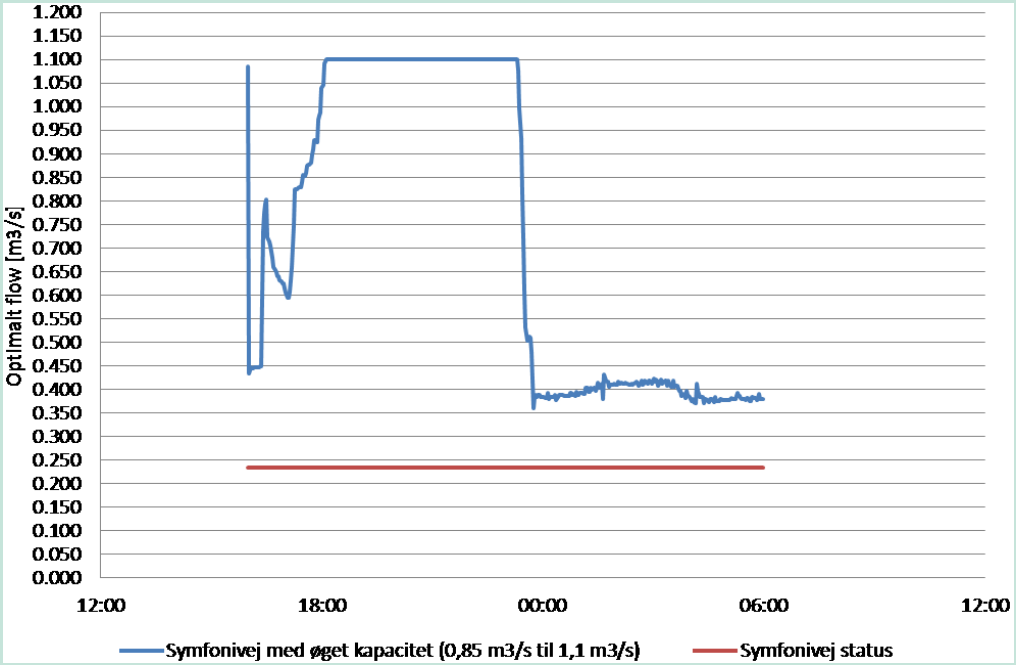
Af tabel 31 fremgår de beregnede cost for henholdsvis status, DORA som systemet er nu, og DORA for scenariet.

TABEL 31
COST FORDELT PÅ DE FORSKELLIGE STYRINGSPUNKTER I OPLANDET TIL DAMHUSÅEN FOR REGNEN DEN 22. JUNI 2011.

Sted	Status	DORA	DORA (SC-4)
DH Hvidovre	10.734	42.455	33.850
DH-KE-tunnel	0	0	0
Grøndalspark	205.049	205.023	204.914
Enghave Kanal	296.635	391.954	395.772
Sydhavnen	0	0	0
Køgevej	0	35.784	40.253
DH RA	145.794	37.799	38.227
DH indløb	25.083	8.801	15.455
Teglholmen	0	0	0
Symfonivej	111.885	111.679	5.382
I alt	**795.181**	**833.496**	**733.853**

Som det fremgår af tabellen, vil en øgning af den maksimale afledning fra Symfonivej til 1,1 m^3/s reducere cost i forhold til status. Cost ved Symfonivej reduceres dog ikke yderligere i forhold til scenario SC-3. Dette skyldes, at de beregnede overløb der er ved Symfonivej for denne regnhændelse, ikke sker fra selve bassinet, men opstrøms i systemet hvor ledningerne bliver begrænsende. I denne beregning bliver bassinet ved Symfonivej faktisk kun omkring 70 % fyldt.

Af figur 15 fremgår de DORA-beregnede optimale flows, for henholdsvis status og for scenariet med øget maksimal kapacitet.



FIGUR 15
OPTIMALE FLOW BEREGNET I DORA DELS FOR STATUS SYSTEMET OG FOR SYSTEMET MED ØGET KAPACITET.

For lige netop denne regn ville DORA have udnyttet muligheden for at sende et øget flow videre fra Symfonivej. Det ville dog ikke havde haft den store effekt på den samlede cost.

5.6 Konklusion

Beregningerne på Damhusåens opland er meget indledende, og der er fortsat mange vinkler og alternativer i forhold til opsætning af DORA-modellen, der kan og bør undersøges nærmere.

Beregningerne på Damhusåens opland har bl.a. afdækket problemstillinger vedrørende følsomheden over for prognose af nedbør. Hvis forecasten er for lav i forhold til den nedbør, der rent faktisk kommer, ser det ud til at skabe en risiko for, at der holdes for meget vand tilbage i opstrøms bassiner. Når der så kommer mere nedbør end forventet, medfører det overløb der ellers ikke ville være forekommet. Betydningen og følsomheden over for usikkerhed på forecasten bør undersøges nærmere.

De få beregninger der er foretaget på oplandet, indikerer ikke, at der kan spares på bassinvolumener. Tværtimod viser resultaterne fra regnhændelsen 22.juni 2011, at der kommer yderligere et overløb ved Køgevej. Sandsynligvis vil flere beregninger med forskellige typer regn med støre sikkerhed kunne vise, om der er over en længere periode eventuelt kan spares noget bassinvolumen i forhold til det planlagte.

6. Perspektivering

Forsyningsselskaber over hele Europa står over for store anlægsinvesteringer og arbejder på at leve op til vandrammedirektivet, badevandsdirektivet og lokale rekreative og miljømæssige målsætninger. Her fremstår den overordnede samstyring af spildevandssystemet som en væsentlig teknologi i forhold til at minimere de samfundsmæssige omkostninger til bassiner og nødvendig rensekapacitet. Med METSAM-projektet er der taget et afgørende skridt i retning af at løse denne problemstilling, som vil give mulighed for at gennemføre besparelser i anlægsinvestering og reduktion af miljøpåvirkning.

Man må forvente, at der i fremtiden bliver stillet strengere krav til at minimere overløb fra afløbssystemer, samtidig med at der bliver et større kapacitetsbehov på grund af en forventet øget regnmængde og intensitet som følge af klimaforandringer. En overordnet styringsteknologi har derfor et stort potentiale både i Danmark og i udlandet, når det gælder om bedst muligt at udnytte spildevandssystemerne samt optimere anlægsinvesteringerne. Allerede i dag findes der store afløbssystemer med ikke fuldt udnyttet kapacitet, hvor en overordnet styring vil kunne give både anlægs- og driftsbesparelser, samt en miljøgevinst.

Den overordnede styring fra METSAM-projektet vil primært kunne anvendes af forsyningsselskaber med en kapacitet af et vist volumen. Her vil implementering af en overordnet realtidsstyring kunne give væsentlige besparelser i anlægsomkostninger ved at mindske behovet for udbygning af volumen. Styringen vil kunne bruges i alt fra fælleskloakerede afløbssystemer til separatkloakerede regnvands- og recipientsystemer.

Flere dele af METSAM-projektet har stor værdi i sig selv. Herunder kan nævnes brug af afstrømningsprognose til opstart af regnvejrsstyring på renseanlæg og interaktiv, grafisk brugergrænseflade til gavn for både driftsfolk og planlæggere hos forsyningsselskabet. Dette er et eksempel på nu modne teknologier, som kan bruges i Danmark og eksporteres til udlandet.

Den overordnede realtidsstyring som er udviklet i og med METSAM-projektet, kan kobles til andre styringer. Dette kan for eksempel handle om styring af flodsystemer for at minimere oversvømmelser og for at varsle, når kapaciteten er overskredet. I flodsystemer vil en forlænget prognoseperiode med data fra vejrmodeller kunne forbedre styringsmulighederne, da disse typisk er langsomme systemer med hensyn til tømning og fyldning af bassiner/søer. En anden mulighed er styring af regnvandssystemer, med fokus på fuld udnyttelse af vådområder, at varsle stuvning på teræn, samt overholde hydrauliske krav.

Ved opsætning af turbiditets- eller fluorescensmålere vil man fremover kunne styre direkte på stofkoncentrationer for at endnu bedre at kunne styre uden om miljø- og sundhedsskadelige overløb til recipient. Også i forbindelse med oversvømmelser bør vandkvaliteten tages i betragtning, og hvis muligt bør det prioriteres, at oversvømmelser kun sker de steder i systemet, hvor vandet er mindst forurenet, således at stofkoncentrationer medregnes i cost.

I fremtiden bliver dynamiske tariffer på strøm måske indført i Danmark. Dette vil betyde, at energiprisen varierer minut for minut efter udbud og efterspørgsel, hvilket giver mulighed for at optimere styringen i forhold til energipris. Ved at styre pumpestationer og renseanlæg også efter energipris f.eks. ved at pumpe mere om natten, eller når vindmøllerne kører mest effektivt, kan

udsving i udbud og efterspørgsel mindskes, og forsyningsselskaberne kan købe strøm til en lavere pris.

6.1 Tekniske fremtidsmuligheder

På nuværende tidspunkt undersøges og/eller udvikles der inden for følgende teknologier:

- Styring på stof ved opsætning af turbiditets- eller fluorescensmålere
- Indbygning af dynamisk usikkerhed fra afstrømningsprognoser
- Alternativ strategi for ekstremregn
- Brug af vejrmodeller til længere prognose
- Oversvømmelsesvarsling og oversvømmelsesanimation
- Samkøring med styring af søer og vandløb i forhold til oversvømmelser
- Modelbaseret styring af renseanlæggets efterklaring, returslam og slamudtag
- Videreudvikling af brugergrænseflade
- Autogenererede hændelsesrapporter til driftspersonale
- Autogenereret "Executive Summary" med nøgletal
- Online, modelbaseret indsivningsanalyse
- Mulighed for at anvende forskellige cost-værdier på baggrund af information fra systemet

De tekniske fremtidsmuligheder for projektet er mange, og der kommer løbende nye til.

7. Formidling

Undervejs gennem projektet har der løbende været fokus på formidlingen af ideerne bag projektet, og der er skrevet en række både specialiserede og mere populære faglige artikler i samarbejde med journalister. Der er formidlet perspektiver og indledende resultater på flere temadage i forskellige fora samt som fremlæggelser på internationale konferencer i 2011 og kommende i 2012. I november 2011 blev emnet behandlet i dagspressen og på TV som interview med miljøminister Ida Auken.

Parterne i METSAM vil i de kommende år fortsat have fokus på præsentation af projektets resultater og mulige videre perspektiver, efterhånden som flere erfaringer opnås.

I tabellen herunder er anført en lang række af de formidlinger, som projektets deltagerere har udarbejdet eller medvirket i – tabellen er ikke fuldstændig.

Dines: Dines Thornberg - TBQ: Tine B. Önnerth - MG: Morten Grum - TNK: Tina Kunnerup - ATJ: Alex T. Jørgensen - TSP: Troels S. Poulsen - US: Udviklingssamarbejdet

Artikler:	**Titel:**	**Aktør:**	**Dato:**
Pressemeddelelse	Nu skal regnen tøjles i de Københavnske kloakker	Dines, TBQ, MG	Jan 2011
Ingeniøren, nyhedsbrev	Ny model for intelligent spildevandshåndtering kan spare forsyninger for millioner	Dines m.fl.	Feb 2011
EVA bladet	METSAM	TNK	Maj 2011
Teknik og Miljø	METSAM samler brikkerne i integreret styring af spildevandssystemerne	Dines, TBQ, MG	Jun 2011
Nordic Wastewater Conference 2011 (Helsinki)	Global control of Copenhagen sewers	Dines m.fl.	Nov 2011
Dansk Vand	Fuld udnyttelse af kloakkens kapacitet		
Ingeniøren	Radarovervågning af regnskyer skal hjælpe med at styre kloakker		Nov 2011
Spildevandsteknisk Tidsskrift	Referat fra temadag		Sep 2011
Berlingske m.fl. dagblade	Radar skal overvåge regnen	Krüger, US	Nov 2011

Konferencer:	Titel:	Aktør:	Dato:
Stockholm Water Week	Wet Weather Management in Copenhagen, Improving bathing water quality	MG	Maj 2011
IUCD 12 Brasilien	Full-scale Real Time Control Demonstration project in Copenhagen's largest urban drainage catchment	MG	Sep 2011
Nordic Wastewater Conference 2011 (Helsinki)	Global control of Copenhagen Sewers	Dines	Nov 2011
Veolia Water Solutions salgsseminar Polen	METSAM – Radar Forecast and RTC of Copenhagen network and WWTPs	MG	Jun 2012
Busan konferencen 2012	Full scale demonstration of stormwater control	Dines, TNK, ATJ	2012

Temadage:	Titel:	Aktør:	Dato:
SWI seminar		TNK	Mar 2011
Evamøde	METSAM – MiljøEffektiv Teknologi til SAMstyring af afløbssystemer og renseanlæg	TNK	Maj 2011
FEM (Foreningen for Energi- og Miljøjournalister) temadag	Fuld udnyttelse af kloakkens kapacitet	Dines	Aug 2011
Innovationstemadag Krüger		MG/TSP	Sep 2011
STF temadag i Vejle	Styring, hvordan en række kendte og nyudviklede teknologier bindes sammen	MG	Sep 2011

Workshop:	Titel:	Aktør:	Dato:
IWA hovedkonference i Korea		Dines	2012

Hjemmesider og andre medier:	Titel:	Aktør:	Dato:
Artikler mv. publiceres på de enkelte deltageres hjemmesider		Krüger, US	2011, 2012
DR.dk, TV-Avisen	Radar skal overvåge regnen, fremvisning med Ida Auken	Krüger, US	Nov 2011
TV2-Lorry	Radar mod regnskyl, interview med Ida Auken	Krüger, US	Nov 2011

Bilag 1: PLC specifikation for Spildevandscenter Avedøre

Se næste side.

Bilag 2: Styring af PS01 pumpestation

Se næste side.

Bilag 3: Offline tests for oplandet til Spildevandscenter Avedøre

Se næste side.

Dette bilag indeholder detaljerede resultater af off-line testene for oplandet til Spildevandscenter Avedøre for hændelsen 22. juni 2007.

For hændelsen 16. juni 2007 var der ifølge overløbsregistrereringer overløb i RB01, RB03 og RB04. Den samlede cost fra beregningerne er vist i Tabel 1, mens overløbsmængderne er vist i Tabel 2.

TABEL 1
SAMLET COST FOR HÆNDELSEN 22. JUNI 2007.

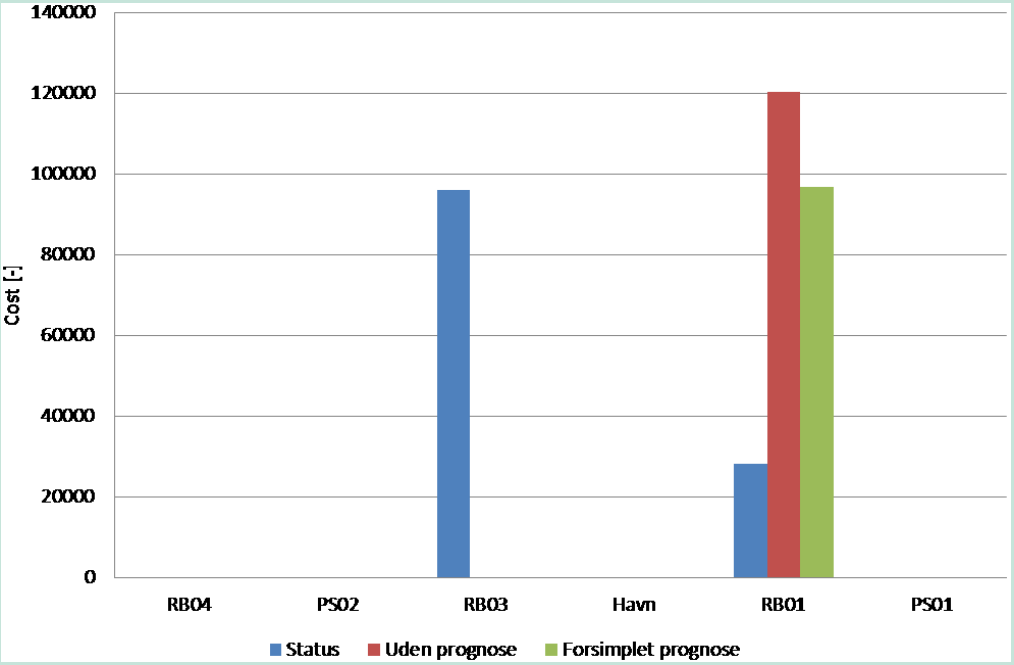
Punkt	Status	Uden prognose	Med forsimplet prognose
RB04	0	0	0
PS02	0	0	0
RB03	95.970	0	0
Havn	0	0	0
RB01	28.231	120.266	96.727
PS01	0	0	0
I alt	**124.201**	**120.266**	**96.727**

TABEL 2
SAMLET OVERLØB FOR HÆNDELSEN 22. JUNI 2007.

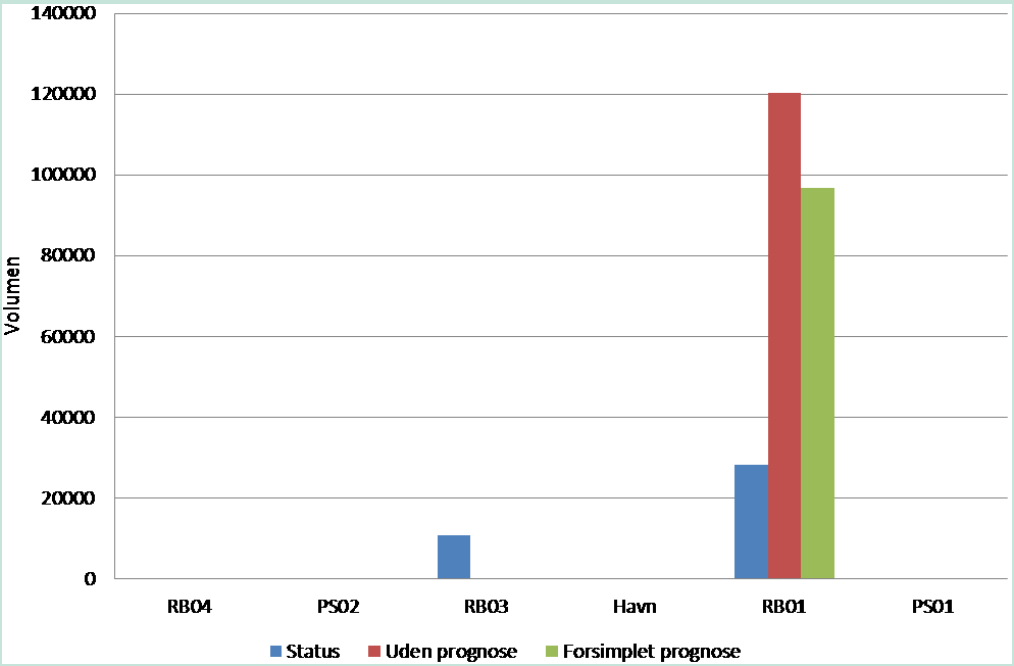
Punkt	Status	Uden prognose	Med forsimplet prognose
RB04	0	0	0
PS02	0	0	0
RB03	10.663	0	0
Havn	0	0	0
RB01	28.231	120.266	96.727
PS01	0	0	0
I alt	38.895	**120.266**	**96.727**

Tabel 2 viser, at der i statusberegningen også er overløb i RB01 og RB03, men ikke i RB04. Det vides ikke nøjagtigt, hvad dette skyldes. DORA-kørslen uden prognose flytter rundt på vandet, således at overløbet i RB03 fjernes, og overløbet i RB01 øges. Sammenlignes cost for scenariet uden prognose med status i Tabel 1 med status, ses det, at cost falder en smule fra status til scenariet uden prognose.

Med forsimplet prognose er der også kun overløb i RB01. Overløbsmængden er tilmed mindre end uden prognose. Ser man på cost, er omkostningen reduceret med 22 % fra status til scenariet med forsimplet prognose. Den samlede overløbsmængde stiger derimod med 309 % fra status til scenariet uden prognose, og med 247 % fra status til scenariet med forsimplet prognose. Figur 1 og Figur 2 viser tabeldataene på diagramform.



FIGUR 16
COST FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 22. JUNI 2007



FIGUR 17
OVERLØBSMÆNGDE [M³] FOR DE FORSKELLIGE SCENARIER FOR HÆNDELSEN 22. JUNI 2007

Bilag 4: Test af cost for Lynetten

Se næste side.

Der er gennemført en test med forskellige størrelsesforhold mellem cost-værdierne. Til denne test er regnen den 4-5 januar 2012 anvendt. Der er gennemført seks beregninger med cost-værdierne i den første tabel herunder. Værdierne i første kolonne er dem, der anvendes i resten af METSAM-projektet. 1v, 2v, 3v, står for variationer af vinter cost-værdier. S1,s2,s3 står for variationer af sommer cost-værdier.

TABEL 1
COST.
* DER ER TO MULIGHEDER FOR AFLASTNING VED STRANDVÆNGET. VIA PUMPER TIL UDLØB U4 (COST 1), ELLER LOKALT VIA OVERLØBSBYGVÆRK (COST 2).

Sted	Cost 1v	Cost2v	Cost3v	Cost 1s	Cost 2s	Cost 3s
Colosseum	5	2	20	30	3	120
Kløvermarken	5	2	20	30	3	120
Lersøledningen	25	5	100	30	3	120
Lynetten	1	1	1	1	1	1
Skt. Annæ Plads	5	2	20	30	3	120
Strandvænget*	25/1	5/1	100/1	30/1	3/1	120/1
Vestamager	5	2	20	20	2	80
Østamager	25	5	100	30	3	120

I den nederste tabel findes costs for de gennemførte beregninger. Som det fremgår af tabellen, er der meget lille variation på de totale costs. Dette bør formentlig undersøges nærmere med flere regnhændelser.

TABEL 2
COST FOR DE GENNEMFØRTE BEREGNINGER.

Sted	Cost 1v	Cost 2v	Cost 3v	Cost 1s	Cost 2s	Cost 3s
Colosseum	0	0	0	0	0	0
Kløvermarken	307	307	307	307	307	307
Lersøledningen	41.921	41.920	41.920	41.920	41.921	41.920
Lynetten	16.187	16.187	16.175	15.539	15.558	15.525
Skt. Annæ Plads	560	560	560	559	559	558
Strandvænget	705	705	705	705	705	705
Vestamager	998	998	998	998	998	998
Østamager	0	0	0	0	0	0
I alt	**60.677**	**60.678**	**60.666**	**60.029**	**60.049**	**60.014**

Bilag 5: PLC specifikation for Lynetten

Se næste side.

Bilag 6: Offline test for oplandet til RA Lynetten

Se næste side.

Bilag 7: Online test for oplandet til RA Lynetten

Se næste side.

Bilag 8: Igangsætning METSAM

Se næste side.

Styring af afløbssystem og renseanlæg med risikovurdering
Det har i en lang årrække været et ønske for styringsfolk i spildevandsbranchen at kunne integrere online styring af afløbssystemerne og renseanlæggene i et fælles styringskoncept. Hvis man så oven i købet kan få information om den kommende vejrsituation – er der regn på vej? – så er grundlaget etableret for bedre beslutninger om spildevandets vej gennem systemerne i mange store byer, hvor store områder er fælleskloakerede. Konkret er tanken, at nogle overløb bør kunne undgås, og måske kan volumenet af planlagte bassiner oven i købet minimeres, så både drifts- og anlægsomkostninger sænkes.

Parterne i Udviklingssamarbejdet (Københavns Energi, Lynettefællesskabet og Spildevandscenter Avedøre) har her sammen med Krüger A/S samarbejdet i 18 måneder med METSAM-projektet om formålet at udvikle, demonstrere og evaluere en omkostningseffektiv realtidsstyringsteknologi i fuld skala, som ville kunne optimere eksisterende spildevandssystemer.

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www. mst.dk