



SPILDEVANDSKOMITEEN

ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 4 • 27. ÅRGANG • DECEMBER 2014

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Mads Uggerby (formand)

EnviDan A/S
Vejlsøvej 23, 8600 Silkeborg
e-mail: mau@envidan.dk
Tlf. 8722 8587

Jan Scheel

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

Sanne Lund (kasserer)

MOE A/S
Buddingevej 272, 2860 Søborg
e-mail: sal@moe.dk
Tlf. 2540 0246

Kjartan Gunnarsson Ravn

Vejle Spildevand A/S
Toldbodvej 20, 7100 Vejle
E-mail: kjara@vejlespildevand.dk
Tlf. 5118 1415

Lene Bassø

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

Kristian Vestergaard

Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet
Energi- og miljødesign
Inge Lehmanns Gade 10, 8000 Aarhus C
e-mail: kv@iha.dk
Tlf. 4189 3341

Niels Overgaard

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

Udgiver

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA

Hjemmeside

www.evanet.dk

E-mail

eva@evanet.dk

Dette blads redaktør

Lene Bassø, lba@aarhusvand.dk

Næste blads redaktør

Niels Overgaard, nio@vandcenter.dk

Deadline for indlæg

Marts 2015

Næste blad forventes udgivet

April 2015

Redaktion

Margrethe Nedergaard, margrethe_nedergaard@hotmail.com

Indhold

Leder	5
Indbydelse til Temadag	6
Kalender	8
AMOK – er det bare sund fornuft? – Avanceret online Måling af OverløbsKvalitet Lene Bassø, Michael Rasmussen og Peter Steen Mikkelsen	10
Væk med den hydrauliske flaskehals – Beskrivelse af projektet Marselisborg renseanlæg, bassin og tunnelering Vibeke Bundesen og Ruben Lauridsen	14
Højvandssikring, sluse og pumpestation i Aarhus Å til forbedret sikkerhed mod oversvømmelser af Aarhus mistby – Designparametre og projekt Ole Kloster Jacobsen	18
Tunnelprojekt fra Jægergårdsgade til Marselisborg Renseanlæg med nyt overløb – Hvad betyder det for Aarhus Bugt? Paul Chr. Erichsen	24
Opsporing af uvedkommende vand med DTS – Distributed Temperature Sensing Mads Uggerby og Kristian Kilsgaard Østertoft	30



Leder

Det har igen været et spændende og begivenhedsrigt år i 2014

Et af højdepunkterne i det faglige arbejde i 2014 var udgivelsen af Skrift 30 – "Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter". Skrift 31, der omhandler serviceniveau for vand på terræn er også kommet tættere på sin endelige form. Begge skrifter kommer vi sikkert til at høre mere om i 2015.

Igen i år har der været kraftige skybrud forskellige steder i landet og igen er København blandt de steder der er hårdest ramt. Hver gang et område bliver ramt af en sjælden, kraftig hændelse, er det med til at afdække nye problemer og bekræfte de kendte problemer. Det udfordrer vores teorier omkring ekstreme nedbør og hvordan vi bedst indretter byområderne for at minimere skaderne.

Der er ikke nogen helt nemme løsninger i sigte, så et kludetæppe af løsninger vil ofte være at fortrække. På afløbsområdet foregår der heldigvis en lang række spændende tiltag, forsøg og udvikling rundt omkring i landet. På temadagen d. 5. februar – som også danner rammen for EVA Årsmøde – vil I derfor kunne høre om nogle af de emner, både praktiske og teoretiske, som rører på sig.

Den gode nyhed er derfor at 2015 bliver nok mindst lige så spændende som 2014. Vi håber at se så mange af jer som muligt til Årsmøde og temadag på Hotel Nyborg Strand d. 5. februar.

EVA udvalget ønsker alle god jul og godt nytår!

EVA-udvalget indbyder til

EVA-temadag

*– der tager udgangspunkt
i forskellige aspekter af
afløbsområdet...*

***Den 5. februar 2015
på Hotel Nyborg Strand***

Midt på dagen afholdes Årsmødet, som foreningens ordinære generalforsamling benævnes.

Hvert år rammes vi af skybrud og ekstreme regn. Nogle områder oplever det for første gang i nyere tid mens andre har prøvet det før – København blev således ramt for tredje gang på få år. Opgaven er at finde og implementere løsninger der gør byerne mere modstandsdygtige mod ekstremregn og samtidig gør gavn ved almindelig regn. Der findes selvsagt ikke nogen nem løsning på denne opgave, men der bliver forsket, udviklet og afprøvet en lang række tiltag rundt omkring i landet.

Vi har derfor sammensat en række spændende indlæg til en temadag den 5. februar på Hotel Nyborg Strand. Frem for et klokkeklart tema har vi valgt at sammensætte en temadag der tager udgangspunkt i forskellige aspekter af afløbsområdet – så der er noget for enhver smag.

Temadagen danner også rammen for EVA's årsmøde.

Dagsorden for årsmødet er:

1. Valg af dirigent
2. Bemærkninger til dagsorden
3. Formandens beregning
4. Fremlæggelse af regnskab
5. Valg til indstilling af udvalgsmedlemmer
6. Eventuelt.

I kan snart se det endelige program for temadagene på vores hjemmeside www.evanet.dk

Vel mødt!





Sæt kryds
i kalenderen
den 5. februar 2015
Det endelige program for temadagen
vil blive tilgængeligt når det foreligger,
såvel på IDA's hjemmeside,
som på www.evanet.dk

Deltagergebyr

Medlem af EVA	1300 kr.
Øvrige	1500 kr.
Ingeniører, Ikke medlem af IDA	3450 kr.
Studerende gratis	

Tilmelding

Tilmeld dig på IDAs hjemmeside

Hvor du opgiver

- Arrangement nr.
- Navn, Adresse, Tlf. nr., E-mail
- Helst fødselsdato
- Oplysning om du er ingeniør eller ej.

(Arrangementet er åbent for alle)

Kalender

Faglige arrangementer

Faglige arrangementer for vinter og forår 2015

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

EVA arrangementer

- 5. feb. EVA-temadag i Nyborg
- 21. maj EVA-temadag i Nyborg
- 24. sep. EVA-temadag i Nyborg

Danva arrangementer

- 19. jan. Spildevandsbetalingsloven og vedtægterne
- 4. feb. Kommunikation i separeringsprojekter
- 25. feb. Hydrauliske modeller 1D/2D/3D
- 2. mar. Forsyningstræf Roskilde 2015
- 5. mar. Forsyningstræf Skanderborg 2015
- 10. mar. Miljøfremmede stoffer
- 16. mar. DDV-Introduktion til integrationsmetoden
- 23. mar. Gæsteprincippet, servitutter og erstatninger
- 25. mar. Introduktion til afløb og spildevand
- 8. apr. TV-Inspektion og afløbssystemet
- 15. apr. Bestyrelseskursus – Grundlæggende for bestyrelse og direktør
- 6. maj Den store badedag
- 20. maj Afløbssystemet

DHI

Ingen kurser i Danmark fra Januar til maj



Ferskvandscentret

- 19.-20. jan. Introduktion til Grundkursus i spildevandsrensning
- 21.-23. jan. Grundkursus i spildevandsrensning
 - 22. jan. Temadag om regn- og spildevand
- 3. feb. Tilsyn og håndhævelse på natur- og miljøområdet
- 3. feb. Fejlkoblinger
- 24.-25. feb. Praktisk drift af afløbssystemer
- 2. - 3. mar. Grundkursus i afløbssystemer
 - 9. mar. Opdatering af processer på renseanlæg
- 12. mar. OPI i forsyningerne
- 12. mar. Pumpetræf 2015
- 17. mar. Drift eller anlæg – hvor langt kan man gå?
- 19. mar. Pumpetræf 2015, Sjælland
- 23.-25. mar. Procesteknik 1
 - 24. mar. Udbud på vand- og spildevandsområdet
- 26. mar. Pumpetræf 2015
- 20.-21. apr. Spildevandsafledning i det åbne land
- 20.-23. apr. Inspirationstur til Holland
- 22.-23. apr. Optimering af mindre anlæg
- 19.-21. maj Drift af pumpestationer
 - 20. maj Opdatering af proceser på renseanlæg i Slagelse
- 20.-21. maj Regnvandsbassiner

Teknologisk Institut

- 28. jan. Spildevandsafledning det åbne land
- 4. feb. TV-inspektion af afløbsledninger
- 5. feb. Spildevandsafledning det åbne land
- 5. mar. Renoveringsmetoder med fokus på NO-Dig metoder
- 25. mar. Skybrudssikring af bygninger og kældre
- 26. mar. Lokal afledning af regnvand – LAR
- 21. apr. Klimatilpasningsuddannelse

Kalender 2015

AMOK – er det bare sund fornuft?

—
Avanceret online Måling af OverløbsKvalitet



Af: Lene Bassø,
Aarhus Vand



Af: Michael Rasmussen,
AAU



Af: Peter Steen Mikkelsen,
DTU

Der foretages i disse år væsentlige investeringer i afskæring af fælleskloakerede overløb for at forbedre vores vandløb, søer og fjordes økologisk kvalitet.

Disse investeringer baserer sig på den centrale antagelse at overløb er en væsentlig kilde til påvirkning med organisk stof, næringssalte, bakterier og miljøfremmede stoffer. Men ved vi i virkeligheden hvor meget der aflastes hydraulisk og stofmæssigt? Og er det overhovedet muligt at måle vandmængder og stofmængder fra overløbsbygværker, der ikke er udformet efter alle hydraulikkens grundprincipper? Det spørgsmål stillede vi hinanden i projektgruppen tilbage i 2012. Vi var overbeviste om, at hvis dette skulle løses, så krævede det udvikling af en ny type virtuelle sensorer der gerne billigt og stabilt skulle kunne give os svar på vores spørgsmål uden at der skulle bruges store ressourcer på komplicerede instrumenter og analysemetoder: Software sensorer baseret på simple målinger i overløbsbygværket.

I dag har vi fået besvaret spørgsmålet – det kan faktisk lade sig gøre at måle på få punkter i komplicerede overløbsbygværker og derefter bruge software sensorer til beregning af overløbsmængder for både vand og stof.



Figur 1
Overløbsbygværket ved Viby Renseanlæg med overløbskanal til sparebassinet.



Figur 2
Opstilling af In-situ og ex-situ udstyr.

Om projektet

I 2012 opstartede vi VTUF-projektet "Overløb fra fælleskloak – Hvordan måles det – og Hvorfor?". Projektet gennemføres i samarbejde mellem Aalborg Universitet (AAU), Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Dansk Hydraulisk Institut (DHI), Krüger A/S (KRG) og Aarhus Vand (AAV).

I projektet er gennemført en række sammenhængende målinger af nedbør (punkt og flade) og flow/stofkoncentrationer ved et hydraulisk kompliceret overløbsbygværk i afløbssystemet. Overløbsbygværket er en del af indløbet til Viby Renseanlæg. Overløbet træder i funktion, når renselanlæggets kapacitet ($Q=1360$ l/s) overskrides. Overløbsbygværket aflaster til et stort sparebassin (15.000 m³), som er udstyret med en række niveaumålere og flowmålere. På figur 1 ses i venstre side et oversigtsfoto med overløbsbygværket og etablering af sparebassinet. I højre side ses overløbsbygværket med et dobbeltsidet overløb og derfra løber overløbsvandet i en stor kanal til sparebassinet.

Der er gennemført både in-situ målinger og ex-situ målinger på lokaliteten. In-situ-målingerne er gennemført i indløbskanalen, overløbsbygværket og i sparebassinet. In-situ-målingerne omfatter måling af turbiditet, pH, NH₄-N og ledningsevne.

Ex-situ-målingerne er gennemført i en container, der er bygget i projektet. Containeren er udstyret med en prøvetagningskanal samt on-line sensorer til måling af turbiditet, pH, NH₄-N, ledningsevne, Total P, COD og TSS (S::CAN-måler).

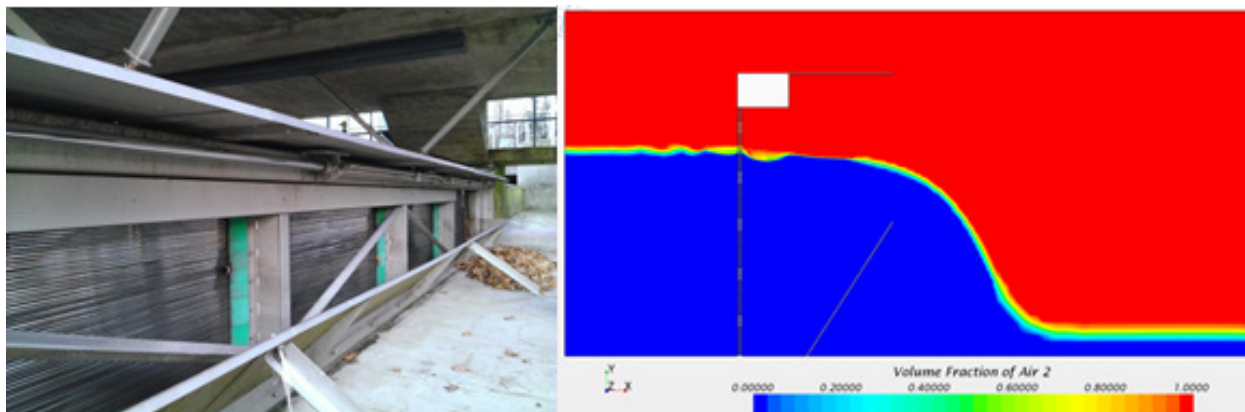
Endvidere udtages prøver til laboratorieanalyse af en række vandkvalitetsparametre inklusive udvalgte prioriterede kemiske stoffer og mikrobielle parametre. For at skabe et bedre grundlag for modellering og prioritering udføres målingerne i systemet løbende – også selvom der ikke forekommer overløb. Målingerne opsamles og kvalitetssikres i en DIMS-CORE database, der er oprettet specifikt til nærværende projekt.

Måleperioden har selvfølgelig budt på forskellige udfordringer, hvilket nok nærmest er mere reglen end undtagelse ved opstilling af et måleprogram.

Nogle af de udfordringer vi har haft er følgende:

Regn hændelser er uforudsigelige: Hvornår de forekommer, hvor længe de varer og de undertiden forekommer i weekender/helligedage/om natten

- Analyse omkostninger er meget høje, hvis der analyseres for alle parametrene
- Mange overløbsbygværker: økonomi/praktisk
- Forskellige stofparametre kræver forskellige indsamlings- og måle metoder
- Tilstopning af pumper
- Vinter sikring



Figur 3
Billede af overløbsbygværk
og beregningsresultat fra
CFD-modellering.

Hydrauliske sensorer

Hydrauliske sensorer er i princippet små "lommeregner", som kan omsætte 1-4 niveaumålinger i overløbsbygværkerne til et flow over overløbskanten for de overløbsbygværker, der ikke er udformet efter hydraulikkens grundprincipper for veldefinerede overløbskanter med fri stråle. I Aarhus (og de fleste andre steder) er der sandsynligvis ikke etableret et eneste overløbsbygværk, som er bygget efter disse grundprincipper, da formålet er at aflaste afløbssystemet under regn og ikke at måle aflastningsmængderne præcist. I projektet er formålet at anvende CFD-modellering (Computational Fluid Dynamics) til at opstille en funktion for sammenhængen mellem flow og niveau i udvalgte punkter, hvilket vil være inputtet til de hydrauliske sensorer.

I projektet er gennemført avancerede CFD-modellering af et simpelt bygværk med frit overløb for at kunne eftervise, at CFD-modellering kan anvendes til beskrivelse af overløbsmængde og flow. Resultat af dette har været yderst overbevisende, hvorefter der er opstillet en CFD-model for det komplicerede overløbsbygværk ved Viby renseanlæg.

Viby renseanlæg er særdeles velegnet til at undersøge denne hydrauliske modellering, da sparebassinet indeholder vandstandsmålere der kan bruges til at beregne det korrekte overløbsflow. Samtidigt er der monteret flowmålere på de pumper der pumper vandet tilbage til renseanlægget, således at der kan etableres 2 massebalancer på det samme overløbsvolumen.

Fremadrettet skal vi have verificeret CFD-modellen. Til dette formål er tænkt, at anvende informationer fra vores regnradar samt informationer fra vandstandsmålere og overløbssensorer til kalibrering af modeldata med målte data. I dette projekt er udviklet nogle "low cost" vandstandsmålere og overløbssensorer, som skal installeres i et fin-masket grid i bygværket til en endelig verificering af CFD-modellernes anvendelse i komplicerede overløbsbygværker.

Modellerne vil blive kalibreret med fokus på massebalancen i overløbsbygværket for både lav, mellem og høj intense regnhændelser til kontrol af metoden. Til dette formål anvendes både de eksisterende niveau-sensorer og de nye low-cost sensorer. Efter kalibrering af metoden udvikles hydrauliske sensorer til beregning af flow over overløbskanten baseret på enkelte niveaumålinger i bygværket.

Vandkvalitets sensorer

Vandkvalitets softwaresensorer er ligesom de hydrauliske softwaresensorer i princippet små "lommeregner", som kan omsætte målte stofkoncentrationer for en stoftype og efterfølgende anvende den til beregning af stofkoncentrationen af andre stoftyper. Som nævnt tidligere i artiklen er der gennemført stofmålinger både in-situ og ex-situ. Dette har til formål at undersøge muligheden for at have et mobilt måleudstyr, som kan anvendes i en periode til at kalibrere og verificere vandkvalitets softwaresensorerne opstillet til det enkelte bygværk. Vi kan således undersøge om der er forskellige stoftyper, som har samme "fortyndings"-mønster eller en indbyrdes sammenhæng, således at en stofmåling kan anvendes til beregning af andre stofkoncentrationer.

I projektet er gennemført en kontinuert måleperiode i både tørvejr og regnvejr.

I figur 4 ses en udvalgt måleperiode for ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$). Af grafen ses en tydelig sammenhæng imellem in-situ og ex-situ sensormålinger og manuelle prøver udtaget til laboratorie-analyser. Ex-situ målingerne viser dog en konstant lavere koncentration end in-situ-målingerne og de manuelle målinger, hvilket kan skyldes "gammel" vand i målekanalen eller for lave flow i målekanalen.

Ud fra disse målinger er opstillet de første vandkvalitets softwaresensorer, hvilket ses af figur 5. Der er meget god overensstemmelse mellem målt og beregnet ammonium-koncentration. Den røde kurve er den målte koncentration, den sorte stiplede kurve er den beregnet koncentration, og den grå kurve er det måle flow. Fremadrettet vil vi prøve at udvikle vandkvalitets-sensorer for andre forureningsparametre, ligesom vi i projektet skal have en måleperiode med samtidig drift af vandkvalitets sensorer og hydrauliske sensorer.

Projektets resultat

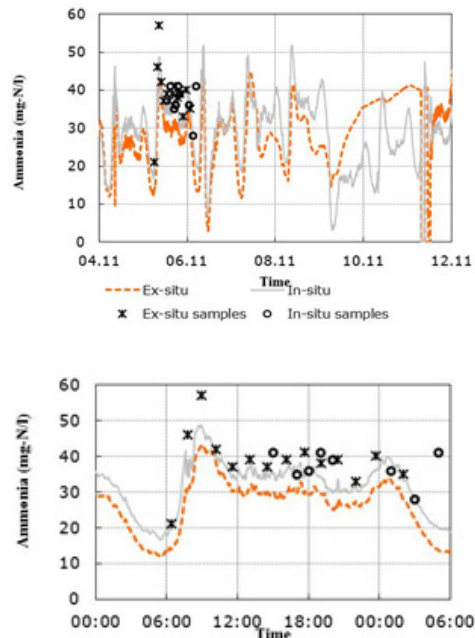
Projektet vil resultere i en kort vejledning om måling i overløbsbygværker med en række tekniske bilag til dokumentation af resultater af VTUF-projektet "Overløb fra fælleskloak – Hvordan måles det – og Hvorfor?".

Det er målet at denne vejledning vil bidrage til at få et bedre overblik over hvor, hvornår og hvor meget afløbssystemerne aflaster. Dette vil forhåbentlig i fremtiden gøre os i stand til at kontrollere/styre aflastningerne på en mere hensigtsmæssig måde set i forhold til miljø og servicekrav.

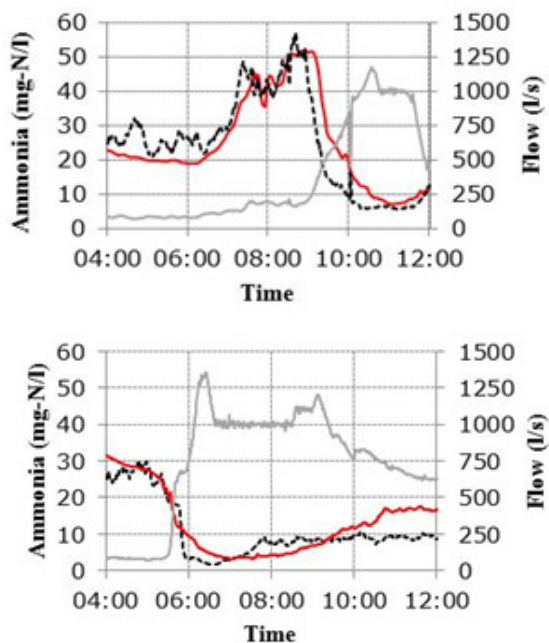
Tak til

Vi retter en særlig tak til enkeltpersoner fra de deltagende organisationer, som har bidraget til projektet:

- Anitha K. Sharma, DTU Miljø
- Luca Vezzano, DTU Miljø
- Signa Tanja Andersen, DTU Miljø
- Maltha Kristian Skovby Ahm, Aalborg Universitet
- Jesper Ellerbæk Nielsen, Aalborg Universitet
- Søren Thorndahl, Aalborg Universitet
- Anders Lynggaard-Jensen, DHI
- Niels Henrik Eisum, DHI
- Jan Høgh, Krüger
- Theis Nikolai Gadegaard, Krüger
- Erling Brodersen, Aarhus Vand
- Bo Snediker Jacobsen, Aarhus Vand.



Figur 4
Ex-situ og in-situ ammonium sensor målinger sammenholdt med manuelle prøver.



Figur 5
Målt og beregnet ammonium koncentration.

Væk med den hydrauliske flaskehals

Beskrivelse af projektet Marselisborg renseanlæg, bassin og tunnelering



Af: Vibeke Bundesen,
Aarhus Vand A/S



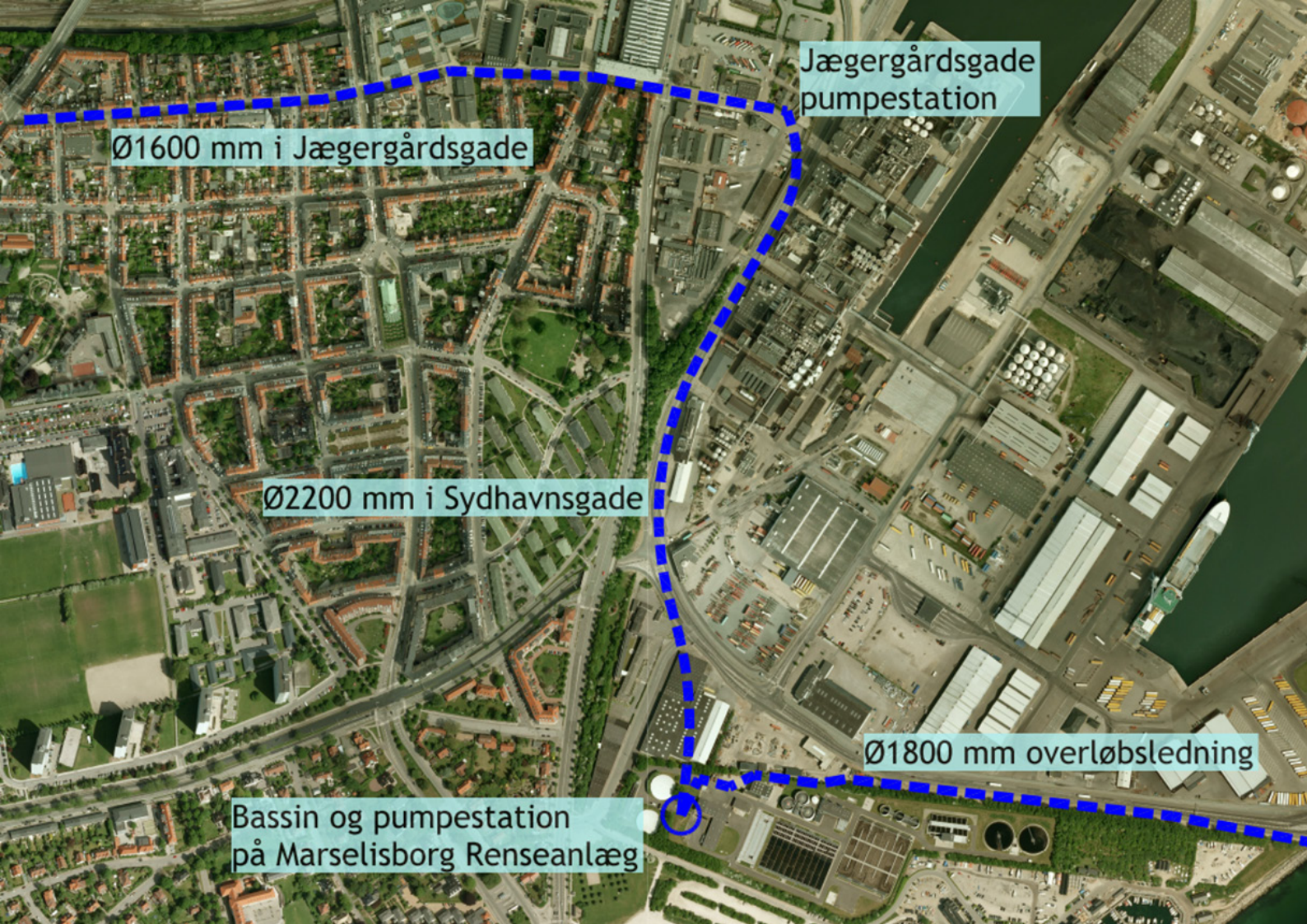
Af: Ruben Lauridsen,
EnviDan A/S

I maj 2013 udbød Aarhus Vand A/S et projekt, som i hovedtræk omfatter nedlæggelse af Jægergårdsgade pumpestation og, som erstatning herfor, etablering af nye store gravitationsledninger som skal lede spildevand til Marselisborg Renseanlæg, hvor spildevandet håndteres i et nyt bassin med tilhørende pumpestation. De enkelte elementer i projektet er vist på nedenstående figur 1.

Formålet med projekt er:

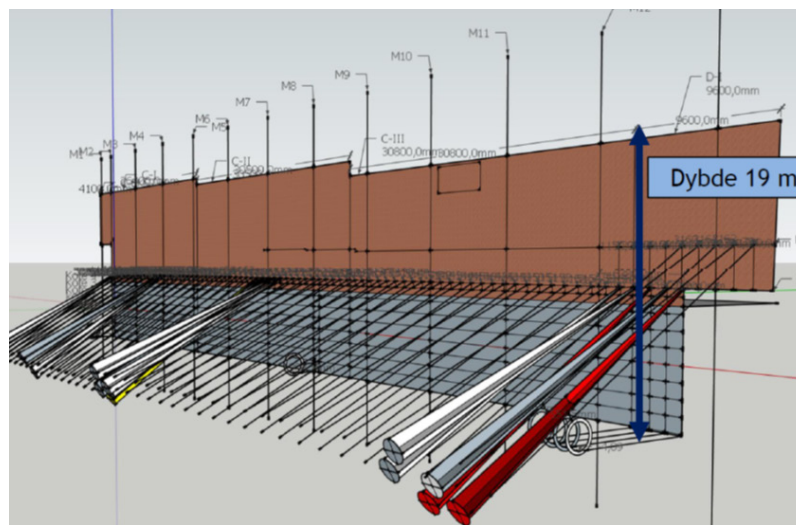
- Jægergårdsgade pumpestation og de to tilhørende ø600 mm trykledninger i Sydhavngade er nedslidte. Et ledningsbrud kan få alvorlige konsekvenser både i forhold til badevand i Havnen og trafikken til og fra containerhavnen, idet både lastbiltrafikken og jernbanen i Sydhavngade i værste fald vil blive berørt.
- Jægergårdsgade pumpestation, som afvander en stor del af Aarhus midtby, fungerer som en hydraulisk flaskehals på spildevandets vej mod Marselisborg Renseanlæg. Ved at erstatte pumpestationen med en ny gravitationsledning opnås dels en større forsyningsikkerhed, idet man er uafhængig af et utilsigtet pumpestop, og dels afhjælpes hydrauliske problemer i oplandet som følge af, at spildevandet hurtigere kan ledes væk fra oplandet og videre til Marselisborg Renseanlæg.
- Volumenet i den nye spildevandsledning og det nye bassin på Marselisborg Renseanlæg medfører, at mængden af opblandet regn- og spildevand, som aflastes til Aarhus havn og bugt under regn, vil blive reduceret fra ca. 90.000 m³ til ca. 30.000 m³.
- Ved at udskifte de eksisterende højtliggende trykledninger i Sydhavngade med en dybere gravitationsledning, skabes der plads til en kommende Marselilstunnel, som vil blive hovedfærdselsåren til og fra containerhavnen.

For at sikre de bedste og billigste løsninger gennemføres projektet i partnering, hvor der udover Aarhus Vand A/S er deltagelse af Per Aarsleff A/S, Østergaard A/S, Viggo Madsen A/S, Flygt og EnviDan A/S.



Figur 1 – Oversigt.

Figur 2
Ny $\varnothing 1600$ mm placering Spunsvæg.



Ny $\varnothing 1600$ mm spildevandsledning i Jægergårdsgade

For at afhjælpe hydrauliske problemer i oplandet skal der etableres en $\varnothing 1600$ mm spildevandsledning i Jægergårdsgade med en længde på ca. 1.000 m. denne ledning var i første omgang planlagt som en tunnelering.

Den planlagte tunnelering har dog vist sig vanskelig at gennemføre p.g.a. eksisterende konstruktioner i jorden. I den konkrete situation viste det sig, at der ved indkøbscentret Bruun's Galleri findes en spunsvæg som er afstivet af jordankre i fem niveauer under Jægergårdsgade. Dette betyder i praksis, at den ny spildevandsledning skal ned i 19 m dybde (se figur 2) hvilket vil gøre tilslutninger meget vanskelig. Da der ydermere er problematiske jordbunds- og grundvandsforhold i området, undersøges der i øjeblikket alternative løsninger.

Ny ø2200 mm spildevandsledning i Sydhavnsgade

Som erstatning for Jægergårdsgades pumpestation etableres en ca. 900 m lang ø2200 mm spildevandsledning til Marselisborg Renseanlæg.

Ledningen er primært beliggende uden for den gamle kystlinje, og tunneleringen skal derfor foregå i opfyld med risiko for at træffe rester af byggeaffald, kajkonstruktioner o.l. Der er derfor valgt en metode, hvor tunneleringsmaskinen forsynes med en åben front (se figur 3), således at forhindringer kan fjernes via fronten i stedet for ved nedgravning. Ved denne metode kan selv store forhindringer fjernes ved skæring, hugning eller, i særlige tilfælde, sprængning.

Der er dog også ulemper forbundet med tunnelering med åben front, hvilket skyldes, at den konkrete tunnelering skal foregå under grundvandsspejlet i permeable aflejringer. Denne udfordring løses, ved at forsyne tunneleringsmaskinen med et tryklufsanlæg, som opretholder et tryk ved borefronten, som modsvarer det udvendige vandtryk og derved sikrer en tør zone. For at sikre opretholdelse af trykket skal passage af mandskab og bortgravet jord fra borefronten ske via en trykluse (se figur 4).



Figur 3
Tunneleringsmaskine med åben front.

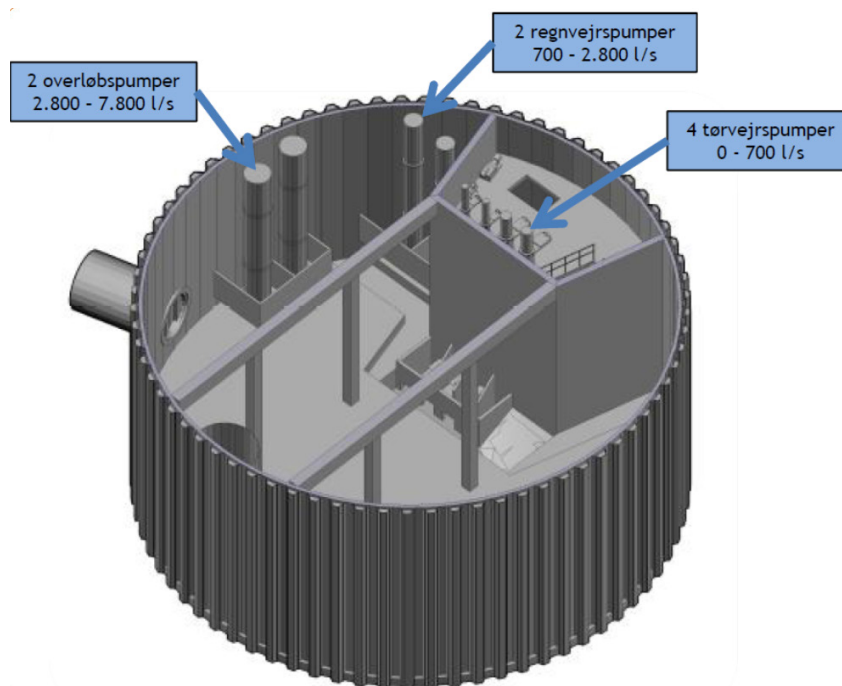


Figur 4
Trykluse i fm. tunnelering med trykluft.

Bassin og pumpestation på Marselisborg Renseanlæg

På Marselisborg Renseanlæg etableres et lukket spildevandsbassin med et volumen på 2.500 m³. I bassinet placeres en række pumper (se figur 5) til at håndtere de meget varierende tilløbsforhold til bassinet. Der findes overordnet tre forskellige driftssituationer:

- I tørvejrssituationen, op til 700 l/s, kører kun de fire tørtopstillede pumper. Da denne driftssituation optræder i 98 % tiden, har der været meget fokus på at finde de mest energioptimale pumper.
- Under regn suppleres tørvejrspumperne af to skaktpumper således, at der kan pumpes op til 2.800 l/s op i tilløbskanalen til renseanlægget.
- I tilfælde af at bassinets kapacitet overskrides, vil to pumper, som i alt har en kapacitet på 5.000 l/s, træde i kraft. Pumpene skal sikre, at der ikke sker kritisk opstuvning opstrøms i kloaksystemet.



Figur 5
Bassin med integreret pumpestation på Marselisborg Renseanlæg.

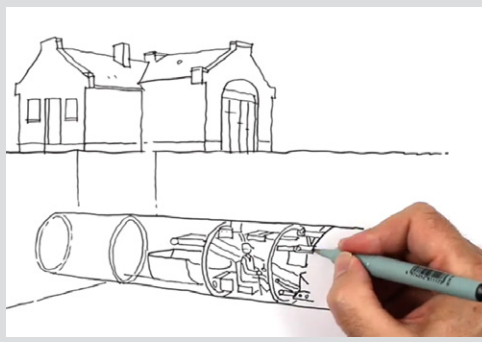
Ny ø1800 mm overløbsledning til Aarhus bugt

Hydrauliske beregninger har vist, at bassinets kapacitet gennemsnitligt overskrides én gang pr. år. Når dette sker, vil de op til 5.000 l/s, som pumpes fra bassinet, blive ledt til Aarhus bugt i en 800 m lang ø1800 mm ledning.

Der er, i forbindelse med indhentning af udledningstilladelsen hos Aarhus Kommune, udført beregninger af badevandskvaliteten for 15 bynære badestrande. Konklusionen er, at det nye overløb ikke giver anledning til en negativ påvirkning af badevandskvaliteten.

Se mere på:

www.youtube.com/watch?v=EzGiKcuIMUo



Højvandssikring, sluse og pumpestation i Aarhus Å til forbedret sikkerhed mod oversvømmelser af Aarhus Midtby

Designparametre og projekt



Af: Chefkonsulent, geolog
Ole Kloster Jacobsen,
ALECTIA A/S

Resumé

Med henblik på sikring af Aarhus midtby mod oversvømmelser fra stigende havvandsspejl og store regnhændelser, projekteres et anlæg, der omfatter højvandssikring, sluse og pumpestation. Højvandssikringen og slusen sikrer Aarhus midtby mod indtrængende havvand. Pumpestationen løfter vand fra Aarhus Å ud i havnen, når slusen er lukket. Højvandssikringen, slusen og pumpestationen sikrer samtidig, at regnvand fra Aarhus by og afstrømning fra Brabrand Sø gennem Aarhus Å, samles i Aarhus Å og pumpes fra åen ud til havnen. Optimal lukkekote for slusen samt tilhørende behov for udpumpningsmængde og antal lukninger pr. år er vurderet på baggrund af beregninger med hydrologisk model. Der er herefter opstillet et projektforslag for udformning af sluse og pumpestation.

Baggrund, formål og overordnet layout

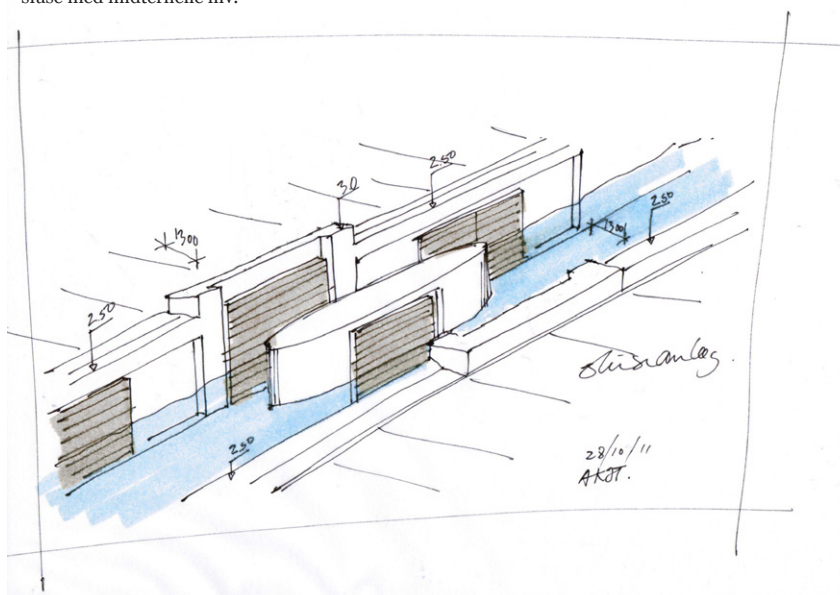
Formålet med projektet er at sikre midtbyen omkring Aarhus Å mod fremtidige oversvømmelser i forbindelse med, at det må forventes, at de globale klimaændringer vil betyde ændrede vejrforhold og højere vandstande i havnen og åen.

Forslag til udformning af de nødvendige tiltag vedrørende sluse samt tilhørende pumpestation tager udgangspunkt i følgende overordnede krav til funktion af sluseanlægget:

- at sikre Aarhus indre by mod oversvømmelse som følge af høj vandstand i havnen/bugten
- i disse situationer at forsinke/oplagre og udpumpe tilstrømmende å-vand til havnen.



Håndskitse af foreslåede sluse med midterhelle mv.

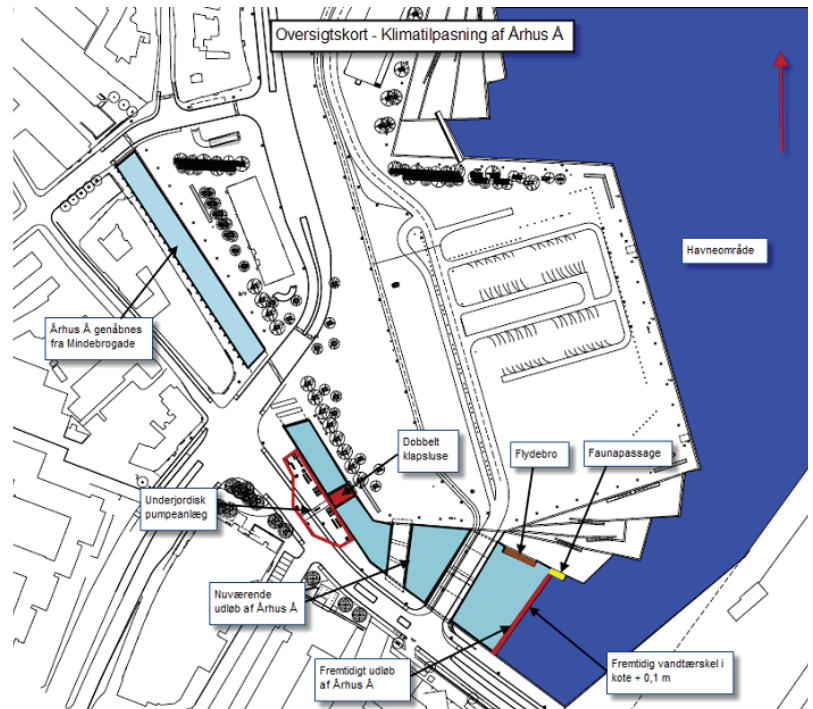


Projektet medfører gennemførelse af følgende tiltag, jf nedenstående oversigtstegning:

- Etablering af højvandsbarriere mellem Multimediehusets kote 2,50 og eksisterende terræn i kote 2,50 bagved Toldboden samt mindre terrænforhøjning til kote 2,50 syd for Mindet. Højvandsbarriere beskrives ikke yderligere i dette dokument.
- Et sluseanlæg med tilhørende pumpestation i Aarhus Å, som etableres vest for eksisterende Banebro.
- En vandtærskel ved åens udmunding for at sikre fast laveste vandstand i Aarhus Å.

Sluseanlæg omfatter:

- Et slusebygværk, der sikrer Aarhus indre by mod højt vandspejl i Aarhus havn.
- En pumpestation, der løfter vand fra Aarhus Å ud i Aarhus Havn ved højvande.



Slusebygværket og højvandsbarrieren skal sikre, at højvande i bugten/havnen ikke oversvømmer midtbyen. Pumpestationen skal sikre, at det tilstrømmende vand i åen ikke opstaves i åen og medfører oversvømmelser, men kan pumpes til havnen under kontrolrede forhold.

Kombination af sluseanlæg og vandtærsklen ved Multimediehuset vil sikre en fremtidig vandstandsvariation i den nedre del af Aarhus Å på mellem kote +0,10 m og +1,40 m. I dag varierer vandstanden mellem en laveste kote på ÷ 0,60 m og en højeste kote på ca. +1,8 m. Med højvandsbarrieren og sluseanlægget med tilhørende pumper vil centrale dele af midtbyen få forbedret sikkerhed mod fremtidige højere vandstande.

Opstilling af designparametre

Lukkekode for sluse

Slusens formål er at sikre Aarhus by mod uacceptable oversvømmelser fra stigende havvandspejl. Ved lukning af slusen spærres for passage mellem havn og å, hvilket af hensyn til faunapassage skal begrænses til det minimale. Der er således 2 modsatrettede hensyn at tage ved design af slusen:

- Slusen skal lukkes når havvandsstanden overskrider en valgt kote (lukkekote) med henblik på at minimere oversvømmelser.
- Slusen skal være lukket så kort tid som mulig af hensyn til at muliggøre faunapassage mellem havn og å.

	2011-scenarie (nutidigt klima)	2035-scenarie (med klima i 2035)	2100-scenarie (med klima i 2100)
Ingen sluse	Moderate oversvømmelser	Store oversvømmelser	Meget store oversvømmelser
Lukkekode +1,0	- Pumpe: 14 m ³ /s - Ingen oversvømmelser - 2 lukninger/år i 10 t	- Pumpe: 14 m ³ /s - Ingen oversvømmelser - 15 lukninger/år i 70 t	- Pumpe: 16 m ³ /s - Ingen oversvømmelser - 250 lukn./år i 1500 t
Lukkekode +1,4	- Pumpe: 15 m ³ /s - Små oversvømmelser - 0,2 lukninger/år i 1 t	- Pumpe: 15 m ³ /s - Små oversvømmelser - 2 lukninger/år i 5 t	- Pumpe: 17 m ³ /s - Små oversvømmelser - 20 lukninger/år i 100 t
Lukkekode +1,8	- Pumpe: 15 m ³ /s - Moder. oversvømmelser - Ingen lukninger	- Pumpe: 15 m ³ /s - Moder. oversvømmelser - 0,1 lukninger/år i 0,5 t	- Pumpe: 17 m ³ /s - Moder. oversvømmelser - 2 lukninger/år i 10 t

Med henblik på at optimere valget mellem disse 2 modsatrettede hensyn er der, for nuværende klima og for forventet fremtidigt klima samt for forskellige lukkekoter, udført en række modelberegninger af konsekvenser for behov for udpumpning fra å til havn, oversvømmelser og lukketid. Ovenstående tabel viser hovedresultaterne af disse modelkørsler.

Som det fremgår af tabellen, er behov for pumpekapacitet kun i mindre omfang afhængigt af klima og lukkekote. Der er under alle omstændigheder behov for en pumpekapacitet på 14-17 m³/s. Der er desuden følgende bemærkninger til tabellens hovedresultater:

Ingen sluse: Som forventet viser modelberegningerne, at der med det nuværende klima er moderat oversvømmelsesrisiko (eksemplificeret af hændelse den 1. november 2006, hvor vandspejlet i havnen var op til kote +1,72 m, svarende til en 200 års begivenhed). Ligeledes som forventet vil oversvømmelsesrisikoen øges i fremtiden, hvilket jo er hele baggrunden for ønsket om etablering af sluse og pumpestation.

Lukkekode +1,0 m: Den lave lukkekote medfører, at der ikke vil være oversvømmelser i Aarhus by. Til gengæld vil slusen i 2035 skulle lukkes 15 gange pr. år og i 2100 ca. 250 gange pr. år.

Lukkekode +1,4 m: Den moderate lukkekote medfører, at oversvømmelserne i Aarhus by vil være små. Slusen vil i 2035 skulle lukkes 2 gange pr. år og i 2100 ca. 20 gange pr. år.

Lukkekode +1,8 m: Den høje lukkekote medfører, at oversvømmelserne i Aarhus by vil være moderate. Slusen vil i 2035 skulle lukkes 0,1 gang pr. år og i 2100 ca. 2 gange pr. år.





Urbanmediaspace.dk

Højvandsikringen, slusen og pumpestationen sikrer samtidig, at regnvand fra Aarhus by og afstrømning fra Brabrand Sø gennem Aarhus Å, samles i Aarhus Å og pumpes fra åen ud til havnen. Der skabes med andre ord et regnvandsbassin i åen på indersiden af slusen.

Bassinets vandstand og vandindhold kontrolleres af pumpestationen, der løfter vandet ud til havnen. Kapaciteten af dette fysiske regnvandsbassin er beregnet til ca. 40.000 m³ ved en 10-20 års regnhændelse og ca. 55.000 m³ ved en 40-100 års regnhændelse.

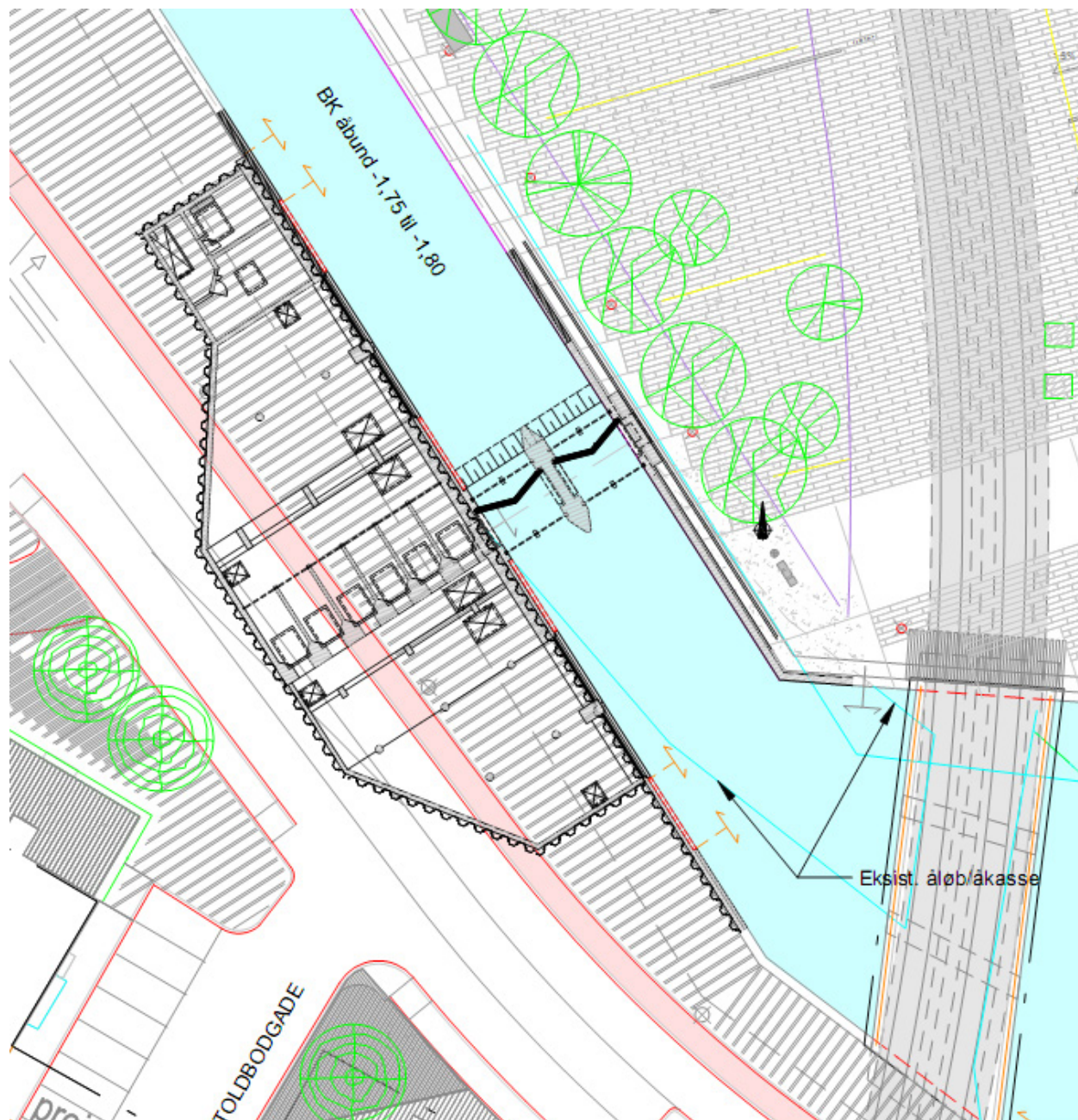
Den samlede effekt af dette fysiske og dynamiske bassin er, at regnhændelserne kan afledes uden risiko for oversvømmelse. Vandstanden i Aarhus midtby vil ved udnyttelse af dette bassin være højst +1,8 m (ved Bymuseum/Godsbanen) og forekomme i højst nogle minutter, hvilket er acceptabelt i dette område og ikke medføre nævneværdige oversvømmelser. Der vil være behov for en udpumpning på op til 20 m³/s gennem pumpestationen, hvilket svarer til den projekterede kapacitet.

På den baggrund er det valgt, at slusen dimensioneres med lukkekote +1,40 m, og at pumpestationen dimensioneres med en pumpekapacitet på 18 m³/s, dvs. med en lille reservekapacitet i forhold til de beregnede krav på 14-17 m³/s.

Højvandsikringen, slusen og pumpestationen sikrer som nævnt samtidig, at regnvand fra Aarhus by og afstrømning fra Brabrand Sø gennem Aarhus Å, samles i Aarhus Å og pumpes fra åen ud til havnen. Der skabes således et regnvandsbassin i åen på indersiden af slusen.

Bassinets vandstand og vandindhold kontrolleres af pumpestationen, der løfter vandet ud til havnen. Kapaciteten af dette regnvandsbassin er beregnet til ca. 40.000 m³ ved en 10-20 års regnhændelse og ca. 55.000 m³ ved en 40-100 års regnhændelse.

Den samlede effekt af dette bassin er, at regnhændelserne kan afledes uden risiko for oversvømmelse.



Konklusion og perspektivering

Hydrologisk modellering har vist sig at være et værdifuldt værktøj til opstilling af designparametre for sluse og pumpestation. Lukkekote for sluse er fastsat til +1,4 m og behov for udpumpningskapacitet er fastsat til 18 m³/t. Projektet er udbudt på funktionskrav i foråret 2012 og er under udførelse i 2013-15. De indhøstede erfaringer vedrørende design, projektering og udførelse af dette projekt vil kunne anvendes i en række tilsvarende projekter, hvor der ligger en by ved hav/fjord og hvor der samtidig er udløb af større vandløb.

Tunnelprojekt

fra Jægergårdsgade til Marselisborg Renseanlæg med nyt overløb

Hvad betyder det for Aarhus Bugt?



Af: Paul Chr. Erichsen,
Aarhus Kommune

Kommunen er myndighed når det gælder tilladelser til udledning af spildevand. Ved godkendelsen af dette projekt har Aarhus Kommune fokuseret på udledning af næringssalte og badevandskvalitet.

Baggrund

Aarhus Vand A/S ansøgte i november 2013 om tilladelse til udledning af opspædet spildevand til Aarhus Bugt fra en ny overløbsledning ved Marselisborg Renseanlæg.

Baggrunden for ansøgningen er et ønske om at nedlægge Jægergårdsgades Pumpestation, og i stedet etablere en ny pumpestation på Marselisborg Renseanlægs areal. I den forbindelse etableres der en ny \varnothing 2200 ledning fra Jægergårdsgade til den nye pumpestation på Marselisborg Renseanlæg samt et nyt bassin (pumpesump) på 2500 m³ ved den nye pumpestation. Fra den nye pumpestation etableres et nyt overløb til Aarhus Bugt (Udløb OU03A).

Eksisterende forhold

Spildevand og regnvand fra oplandet til Jægergårdsgades Pumpestation pumpes i dag til Marselisborg Renseanlæg, og når der ikke er plads i ledningssystemet på grund af for meget regn, sker der overløb til Aarhus Havns bassin 3 via tre overløb.

På Marselisborg Renseanlæg er den hydrauliske kapacitet i indløbet på 1400 l/s (5040 m³/h). Når vandmængden under regn i oplandet overstiger denne mængde, sker der overløb fra indløbsbygværket (brønd 8) til Aarhus Bugt via det eksisterende bugtrør (Udløb OU03), som også det rensede spildevand udledes igennem (Udløb OU01), se figur 1.

De målte aflastninger gennem bugtrøret er i snit ca. 140.000 m³/år, med en variation for årene 2010-2013 på mellem 107.000 m³/år og 184.000 m³/år, jf. tabel 1.



Figur 1
Placering af eksisterende bugtrør (OU01/OU03) og ansøgt nyt overløb (OU03A).

Tabel 1
Vandmængder udledt fra Marselisborg Renseanlæg og fra overløbsbygværk i brønd 8, begge via bugtrøret.

Marselisborg Ra.	Renseanlæg udløb Vandmængde 1000 m ³ /år	Aflastet i overløb (OU03)	
		Vandmængde 1000 m ³ /år	% Vandmængde af udløb renseanlæg
2010	11.994	135	1,13
2011	10.314	107	1,04
2012	10.951	184	1,68
2013	9.404	127	1,35

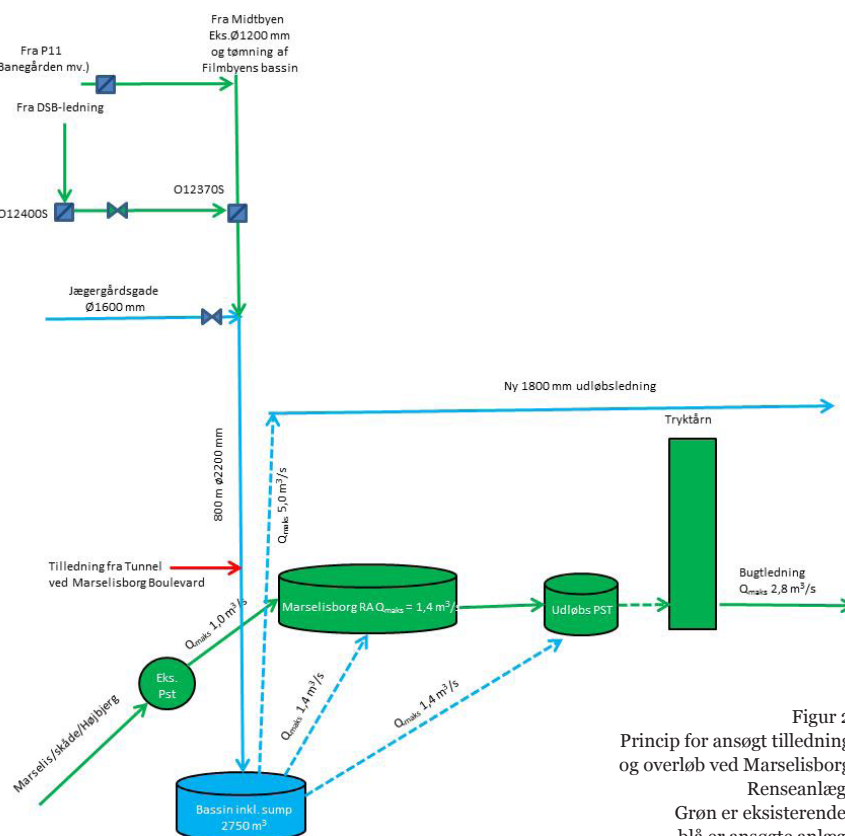
Ansøgt projekt

Den ansøgte nye pumpestation fungerer dels som indløbspumpestation, dels som aflastningspumpestation ved høj hydraulisk belastning. I tilknytning til pumpestationen etableres nyt bassin på 2500 m³.

Princippet for tilledning af spildevand til Marselisborg Renseanlæg og aflastning gennem overløb fremgår af figur 2.

Det fremgår, at der fra den nye 2550 m³ pumpe-sump bliver mulighed for at aflaste opspædt spildevand enten via det eksisterende bugtrør (OU03) eller den nye ø 1800 overløbsledning (OU03A). Der kan aflastes maksimalt 1,4 m³/s henholdsvis 5,0 m³/s.

Beregninger viser, at jo større aflastning der sker via det nye overløb frem for via bugtrøret, jo mindre bliver den samlede stofbelastning på Aarhus Bugt. Dette skyldes, at det i højere grad er muligt at udnytte det nye bassinvolumen ved en mulig afledning på 1,4 m³/s + 5,0 m³/s end ved blot at aflede via den eksisterende bugtledning svarende til de 1,4 m³/s.



Figur 2
Princip for ansøgt tilledning og overløb ved Marselisborg Renseanlæg. Grøn er eksisterende, blå er ansøgte anlæg.

Plan		SCENARIO 1 Mest mulig aflastning via eksisterende bugtledning (EnviDans modelberegninger)				
Overløb til Aarhus Bugt	Recipient	Aflastninger [antal/år]	Aflastninger [m ³ /år]	COD total kg/år	N total kg/år	P total kg/år
Eks. Bugtrør (via br 8 på MRA)	Aarhus Bugt	56	121.000	19.360	1.210	303
Ny ø 1,8 m overløbsledning fra nyt bassin	Aarhus Bugt	0,1	300	48	3	1
I alt til Aarhus Bugt			121.300	19.408	1.213	303

Tabel 2
Beregnet aflastning direkte til Aarhus Bugt
– scenarie 1

Plan		SCENARIO 2 Mindst mulig samlet aflastning til Aarhus Bugt (EnviDans modelberegninger)				
Overløb til Aarhus Bugt	Recipient	Aflastninger [antal/år]	Aflastninger [m ³ /år]	COD total kg/år	N total kg/år	P total kg/år
Eks. Bugtrør (via br 8 på MRA)	Aarhus Bugt	5	30.900	4.944	309	77
Ny ø 1,8 m overløbsledning fra nyt bassin	Aarhus Bugt	1	1.000	160	10	3
I alt til Aarhus Bugt			31.900	5.104	319	80

Tabel 3
Beregnet aflastning direkte til Aarhus Bugt
– scenarie 2

Til gengæld vurderes størst mulig aflastning gennem bugtrøret at påvirke badevandskvaliteten mindst, idet bugtrøret udmunder langt fra kysten.

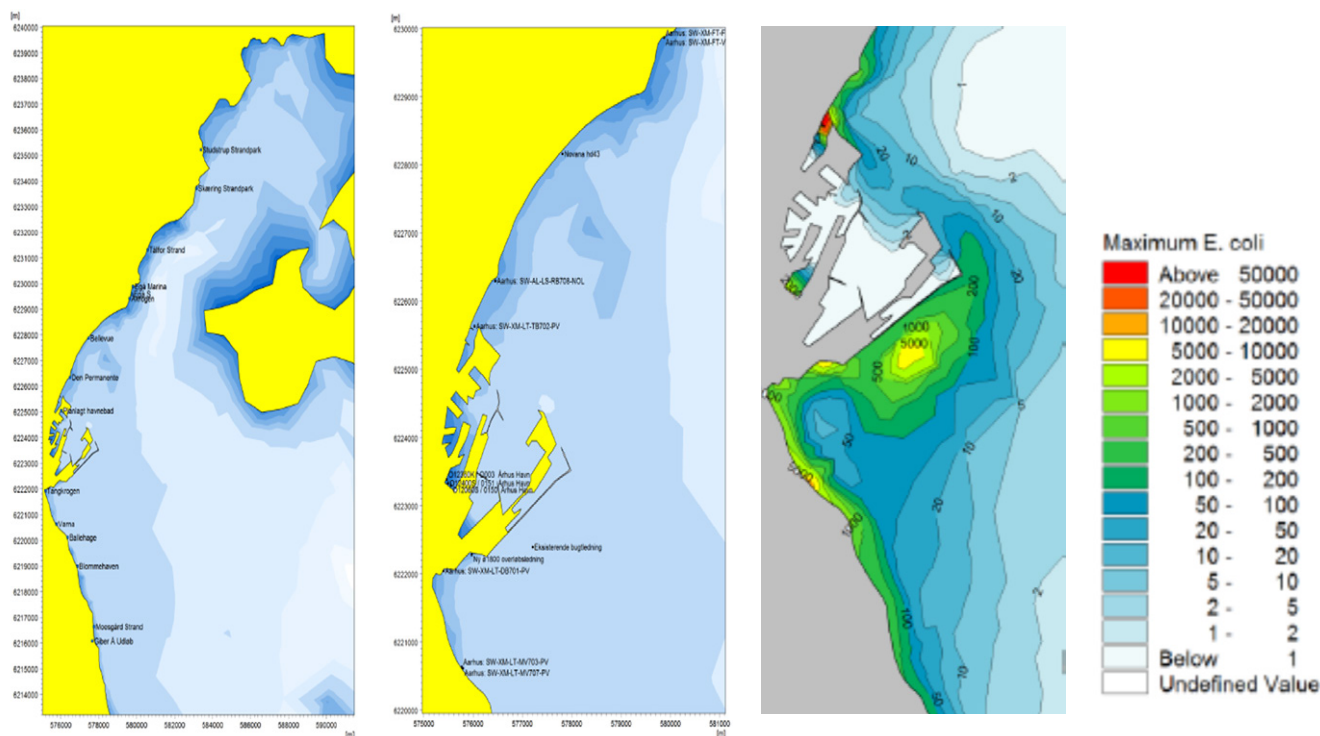
Der er derfor regnet på to planscenarier:

1. Mest mulig aflastning via det eksisterende bugtrør
2. Mindst mulig samlet aflastning til Aarhus Bugt

Aflastede vand- og stofmængder for de to scenarier fremgår af tabel 2 og 3.

Det fremgår af tabel 2 og 3, at det vil være muligt, jf. scenarie 1, at begrænse aflastning gennem det nye overløb (OU03A) til én gang hvert 10. år (0,1 aflastning/år). Til gengæld bliver den samlede stofmængde til Aarhus Bugt meget stor. Scenarie 2 giver den mindste belastning af Aarhus Bugt, og en væsentlig mindre belastning end statusberegningerne.

Spørgsmålet er imidlertid, om aflastningen gennem det nye overløb tæt på land kan ske uden at påvirke badevandskvaliteten.



Figur 3 Lokalteter der benyttes til badning, forureningskilder samt maksimums-koncentrationer af E.Coli/100ml ved 11 ens simulerede overløb ved forskellige vind og strømforhold i 2013.

Badevandskvalitet

DHI har foretaget spredningsberegninger, der belyser effekten af de eksisterende og planlagte nye spildevandsudløb til Aarhus Bugt og Aarhus Havn med hensyn til badevandskvalitet (E.coli og Enterokokker). Der er regnet på scenarie 2, hvor der er størst aflastning gennem det nye overløb OU03A, og dermed det scenarie, der er mest kritisk i forhold til badevandskvaliteten.

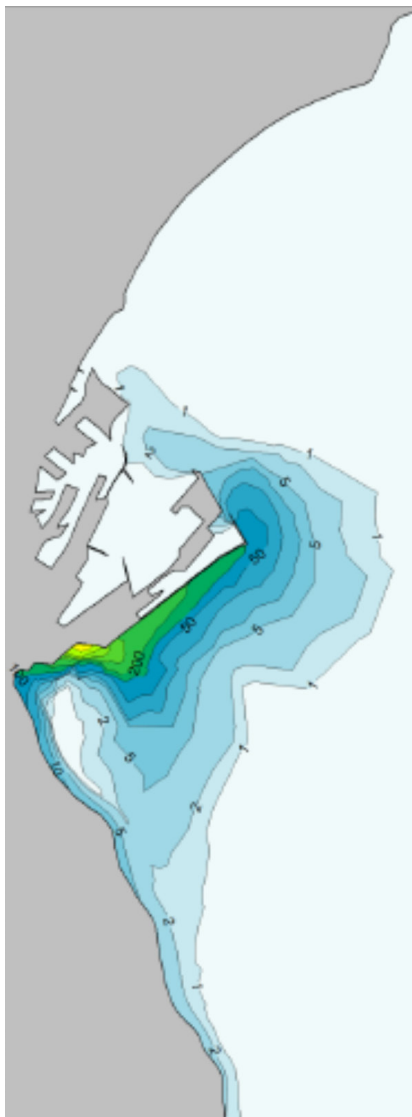
Fra alle eksisterende og ansøgte spildevandsudløb er der foretaget 11 simulerede ens overløb jævnt fordelt gennem året 2013 for at beregne spredningen af spildevand under forskellige hydrauliske forhold.

Beregningerne viser, at overløb fra eksisterende spildevandsudløb tæt på badestrande medfører overskridelse af EU's badevandskrav på nærliggende strande, jf. figur 3. Fra Bellevue og sydpå, giver de 11 simulerede overløb anledning til 3, 4, 11 og 4 overskridelser af badevandskvaliteten ved henholdsvis Den Permanente, Tangkrogen, Varna og Ballehage.

Maksimum- og middelkoncentrationer af E. coli og enterokokker ved de undersøgte strande, samt antallet af overskridelser af EU-krav fra de 11 simulerede overløb

Strande	E. coli Maksimum	E. coli Middel	Enterokokker Maksimum	Enterokokker Middel	Antal overskridelser
Studstrup Strandpark	0	0	0	0	0
Skæring Strandpark	1	0	1	0	0
Tålfors Strand	81	1	23	1	0
Egå Marina	1863	12	337	4	5
Egå S	640	5	116	2	2
Åkrogen	391	2	73	2	0
Bellevue	182	3	35	3	0
Den Permanente	1484	18	271	10	3
Tangkrogen	936	19	280	12	4
Varna	19875	241	3894	51	11
Ballehage	1347	19	340	7	4
Blommehaven	319	4	144	3	0
Moesgård Strand	101	1	46	1	0
Giber Å Udleb	75	1	39	1	0
Mariendal Strand	6	0	5	0	0
Ajstrup Strand	4	0	4	0	0
Norsminde Strand	0	0	0	0	0
Planlagt havnebad	0	0	0	0	0

Som det ses af tabellen, så er strande i umiddelbar nærhed af udløbene særligt udsatte.



Figur 4
Maksimumkoncentrationer af E.Coli/100ml ved 11 ens simulerede overløb fra OU03A ved forskellige vind og strømforhold i 2013.

Maksimum- og middelkoncentrationer af *E. coli* og enterokokker ved de undersøgte strande samt antallet af overskridelser af EU-krav fra det nye overløb alene

Strande	<i>E. coli</i> Maksimum	<i>E. coli</i> Middel	Enterokokker Maksimum	Enterokokker Middel	Antal overskridelser
Studstrup Strandpark	0	0	0	0	0
Skøring Strandpark	0	0	0	0	0
Tålfor Strand	0	0	1	0	0
Egå Marina	0	0	1	0	0
Egå S	0	0	1	0	0
Åkrogen	0	0	1	0	0
Bellevue	0	0	2	0	0
Den Permanente	0	0	2	0	0
Tangkrogen	92	0	43	0	0
Varna	11	0	8	0	0
Ballehage	8	0	6	0	0
Blommehaven	5	0	4	0	0
Moesgård Strand	2	0	2	0	0
Giber Å Udløb	2	0	2	0	0
Mariendal Strand	0	0	0	0	0
Ajstrup Strand	0	0	0	0	0
Norsminde Strand	0	0	0	0	0
Planlagt havnebad	0	0	0	0	0

Som det ses af tabellen medfører det nye overløb kun i meget ringe grad grænseværdi-overskridelser langs strandene, og da der kun forventes et enkelt overløb gennem sæsonen, så vil det ikke påvirke den nuværende situation synderligt.

Stranden ved Varna er særlig udsat, idet den påvirkes af overløb ved både syd- og nordgående strøm. Generelt gælder, at antallet af overløbshændelser påvirker antallet af overskridelser af badevandskvalitetskravene.

Såfremt der er risiko for sundhedsfare ved badning informeres badegæster herom via en alarmtavle på stranden. Informationer og en prognose om badevandskvaliteten kan også tilgås via en badevandsapp på adressen: <http://ostjylland.badevand.dk/>

DHI har også foretaget en beregning af effekten af det nye planlagte overløb OU03A alene, jf. figur 4. Beregningerne viser, at der ikke sker nogen overskridelse af badevandskvalitetskravene ved nogen af strandene alene hidrørende fra det nye overløb.

Da der statistisk set kun forventes ét overløb pr. år via OU03A, jf. tabel 3, og da overløbet ikke påvirker badevandskvaliteten ved Tangkrogen eller andre badestrande, vurderes det uproblematisk at satse på en pumpestrategi fra det ansøgte bassin svarende til scenarie 2, som medfører den mindste næringsbelastning af Aarhus Bugt.

Opfyldelse af målsætningen for Aarhus Bugt

Det vurderes, at den ansøgte ændrede aflastning af opspædt spildevand via det nye udløb OU03A kan godkendes, idet det er sandsynliggjort, jf. beregningerne i scenarie 2, at den samlede belastning af Aarhus Bugt med næringsalte reduceres i forhold til i dag, og at det nye udløb ikke giver anledning til overskridelse af kvalitetskravene for badevand.

På ovennævnte baggrund har Aarhus Kommune den dd mm 2014 meddelt udledningstilladelse som ansøgt.

Men ét er modeller, noget andet er virkeligheden. Et af vilkårene for udledningstilladelsen er derfor, at såfremt det i praksis viser sig at det nye overløb giver problemer med badevandskvaliteten, så skal pumpestrategien revurderes, f.eks. således at der veksles mellem scenarie 1 og 2 henholdsvis i og uden for badesæsonen.

Foto af soldrevet alarmtavle ved Tangkrogen, der online informerer badegæster om eventuel risiko for sundhedsfare ved badning på dagen og to dage frem.



Opsporing af uvedkommende vand med DTS

Distributed Temperature Sensing



Af: Mads Uggerby,
EnviDan A/S



Af: Kristian Kilsgaard Østertoft,
EnviDan A/S

Spildevand, der ved en fejl kobles på regnvandsledningen i et separatsystem, forurener recipienten både med hensyn til vandkvalitet og æstetik.

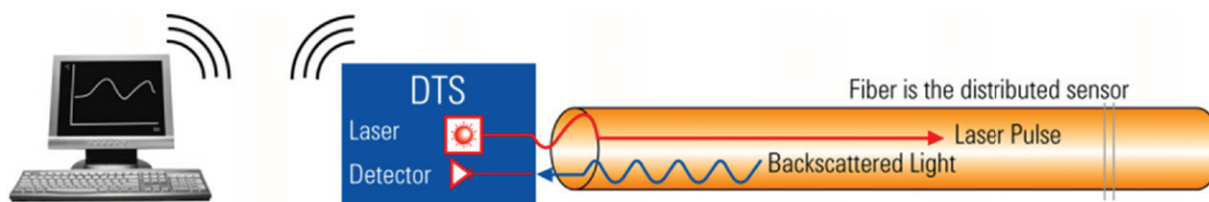
På den anden side kan fejlkoblet dræn- eller overfladevand til spildevandsledningen resultere i opstuvning af opspædet spildevand til gene for den enkelte forbruger, idet ledningen ikke er dimensioneret hertil. Hertil kommer, at det principielt set ikke er ønskeligt at rense på dræn- og afstrømmet regnvand, når der er brugt ressourcer på at adskille det fra spildevandet.

Erfaringer fra bl.a. Aarhus viser, at omfanget af fejlkoblinger er stort (ca. 5 %) i både nye og gamle kloaksystemer.

Ved TV-inspektion kan kontinuerlig tilledninger fra indsivning og dræn relativt nemt identificeres, men uvedkommende vand, der kommer sporadisk, er mere vanskeligt at spore på denne vis. I denne kategori falder omfangsdræn, der pumper ind på en spildevandsledning, samt fejlkoblede regnvandsledninger. Der findes en række mere traditionelle metoder til sporing af fejlkoblinger, herunder f.eks.:

- at gå ind på privat grund og hælde vand i nedløb med samtidig overvågning af hovedledningen med et tv-kamera
- at placere RFID-chips i nedløbende og derefter registrere disses passage i hovedledningen under regn
- at blæse røg i spildevandsledningen og se, om der kommer røg op af brønde og nedløb

Ingen af de kendte metoder er problemfri. Enten betinger de adgang til private ejendomme, fanger kun en del af fejlkoblingerne og/eller de er meget ressourcetunge.



Figur 1A
Spredningen af det reflekterede lys.

Gennem de seneste par år har en ny metode, der udnytter det forhold, at temperaturen i det fejkoblede vand er forskellig fra temperaturen i vandet i den undersøgt ledning, været under udvikling. Med DTS (Distributed Temperature Sensing) kan temperaturændringer i kloakken forårsaget af fejkoblinger detekteres, og eksempelvis fejkoblet regnvand på spildevandsledningen kan identificeres med meters nøjagtighed – uden at der kræves adgang til de enkelte ejendomme.

EnviDan har i samarbejde med Aarhus Vand, Aalborg Universitet og Aarsleff udført pilotprojekter med opsporing af fejkoblet regnvand på spildevandsledningen i to forsøgsopstillinger i Aarhus, og i skrivende stund er en tredje under planlægning. I denne artikel er princippet bag målemetoden kort beskrevet, og nogle af de i projektet opnåede resultater og erfaringer er præsenteret.

DTS – Distributed Temperature Sensing

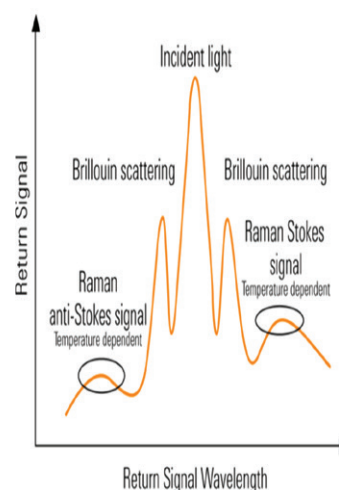
DTS er en velkendt teknologi, som blev udviklet for mere end 20 år siden, og som i mange år har været anvendt indenfor eksempelvis olie- og gasindustrien til monitoring af temperaturer og trykforhold langs ledninger og borer.

Metoden baserer sig på analyse af spredningen af laserlys, idet den såkaldte Raman-spredning er temperaturafhængig (se figur 1A og figur 1B). Eftersom lysets hastighed er kendt, kan analyse af det reflekterede lys langs kablet afsløre, hvad temperaturen har været det sted, lyset blev reflekteret. DTS-udstyret består således af en computer med en laser og en detektor, hvortil der kobles et optisk kabel.

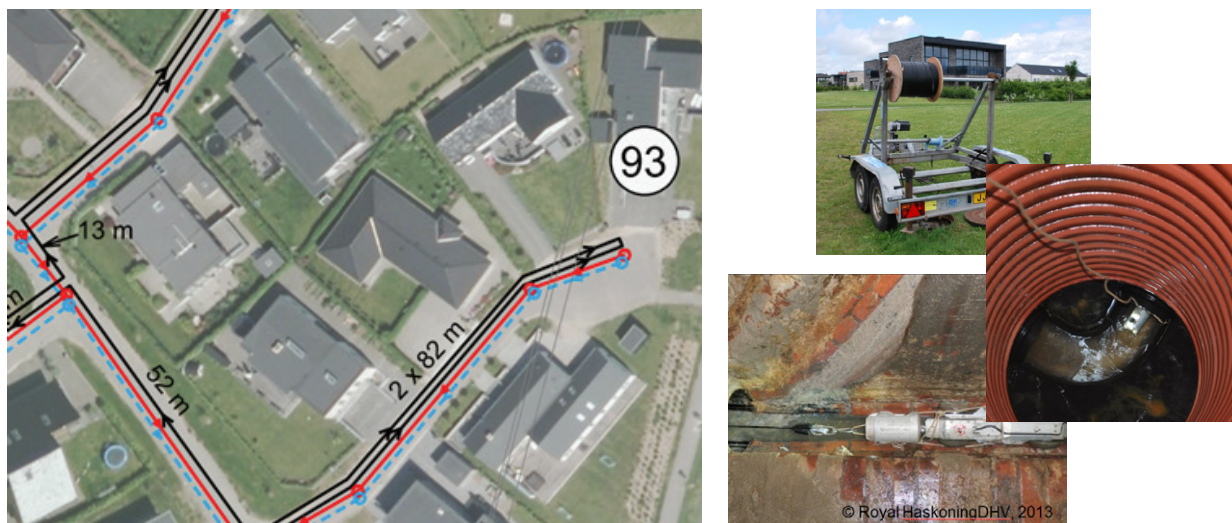
I DTS-computerens analyse af det reflekterede lys opnås en – i praksis – kontinuert måling af temperaturen langs kablets længde. Brugeren bestemmer så i hvilken stedlig opløsning, målingerne skal repræsenteres, samt hvilken tidlig opløsning, de skal midles over. På denne måde kan temperaturen måles langs det optiske kabel med en opløsning på op til 0,5 m hvert 30. sekund med omkring $\pm 0,1$ °C (relativ) nøjagtighed.

Til opsporing af fejkoblinger i afløbssystemer trækkes det optiske kabel i hovedledningen, og ved kablets start placeres DTS-computeren. Næste gang det regner med en tilstrækkelig intensitet vil fejkoblet regnvand kunne ses i de opsamlede data som temperaturændringer på den lokalitet, det fejkoblede vand ledes til hovedledningen.

Med den i dette projekt anvendte DTS-computer kan der måles på kabellængder op til 2 km, men der findes computere, der kan håndtere kabellængder på mere end 30 km. Disse ligger dog i en anden prisklasse, og erfaringerne fra dette projekt viser også, at det i praksis vil være en udfordring at udlægge så lange kabler i kloakken.



Figur 1B
Måleprincippet i DTS.



Figur 2

Eksempel på kablets udlægning i spildevandsledningen på Elmehaven, Aarhus (til venstre) og billeder fra udlægningen af kablet (til højre). For Elmehaven 93 var hele husstandens overfladeareal fejlkoblet til spildevandsledningen (se teksten).

Opstilling og udlægning af kabel

DTS-computeren er placeret i en trailer, hvorfra det optiske kabel trækkes i spildevandskloakken med tv-kamera (se figur 2). I traileren er DTS-computeren forbundet med en bærbart PC med internetopkobling, så DTS-udstyret kan styres via fjernskrivebord. På traileren er installeret en vippekars-regnmåler, hvorved lokale regndata fra området opsamles.

Selve udlægningen af kablet har vist sig udfordrende. Mange retnings skift i ledningerne kan give så store modstande, at det har været nødvendigt at udvikle særlige værktøjer til kabeludlægningen (se figur 3). Hertil kommer, at der kan opstå brud på de optiske fibre ved knæk af kablet, hvilket kræver, at de splidnes sammen. For at gøre dette skal kablet trækkes 'på land' og splidnes i en boks på størrelse med en madkasse (se figur 3), hvilket besværliggør den efterfølgende brug af kablet.

Figur 3

Værktøj til at komme omkring skarpe retningsændringer (øverst) og oprinkning med splidset kabel (nederst).



I forsøgsopstillingen på Elmehaven var der inden målekampagnen tre forskellige, kendte fejlkoblinger:

- Nr. 93 – hele husstandens overfladeareal var koblet til spildevandskloakken
- Nr. 47 – indkørslen var koblet til spildevandskloakken
- Nr. 10 – en terrasse på ca. 10 m² var koblet til spildevandskloakken

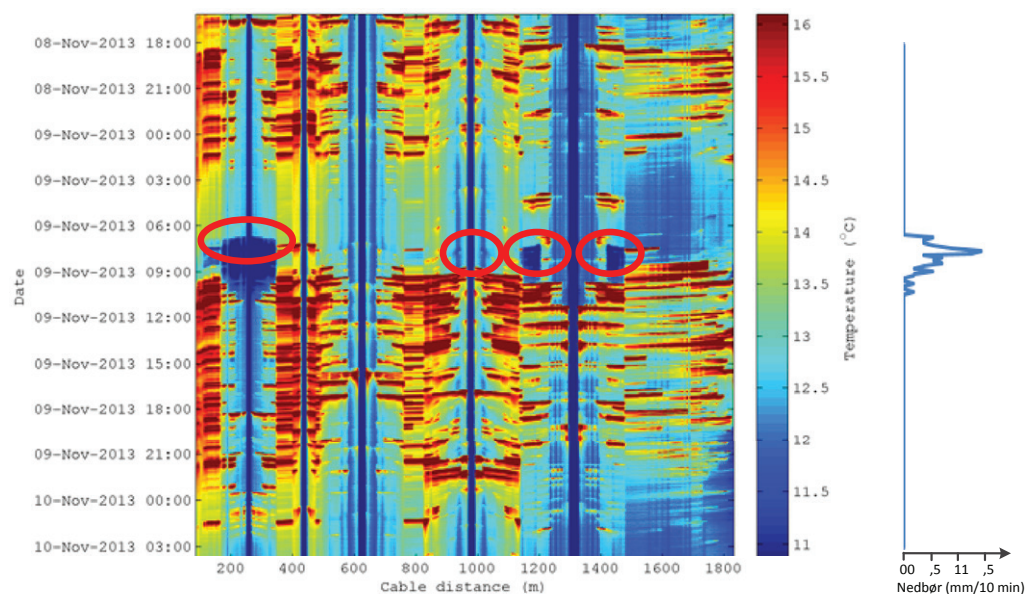
Måleresultater

Ved manuel sammenligning af de fra DTS-udstyret opsamlede data og den lokale nedbør kan fejlkoblet overfladevand til spildevandssystemet udpeges de steder, hvor temperaturen ændrer sig samtidig med at det regner. Et eksempel på dette kan ses af figur 4, hvor koldt vand løber til spildevandsledningen flere steder (markeret med røde cirkler) samtidig med, at der kommer nedbør. Af figuren fremgår flere sektioner, der er spejlvendte – dette skyldes, at kablet blev trukket ind ad sideveje, som derved måles dobbelt (se et eksempel på kabeludlægningen på figur 2). I brøndene for enden af hver sidevej blev kablet rinkel op og hængt fast i brønden. I disse oprinkninger var det således temperaturen i brøndatmosfæren, og ikke spildevandets temperatur, der blev målt. Dette kan ses som lodrette søjler med omtrentligt konstant temperatur på figur 4.

Bortset fra strækningerne til disse oprinkninger er flowretningen således fra højre side af figuren (ved en placering på ca. 1800 m kabellængde fra DTS-computeren) mod venstre. De første ca. 100 m af kablets længde fremgår ikke af figuren, idet de var rinkel op i et vandbad i traileren med DTS-computeren til brug for løbende kalibrering af udstyret.

Placering langs optisk kabel (m afstand fra trailer)	14.sep 21h (9 mm på 3 timer)	9.nov 6h (9 mm på 3 timer)	19.oct 23h (8 mm på 3 timer)	20.oct 7h (7 mm på 3 timer)	28.oct 9h (6 mm på 3 timer)	1.nov 10h (4 mm på 3 timer)	3.nov 22h (4 mm på 3 timer)
255 (nr. 93)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
1206/1422 (nr. 47)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
945/1017 (nr. 10)	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja
839/1123	Nej	Utydelig	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja

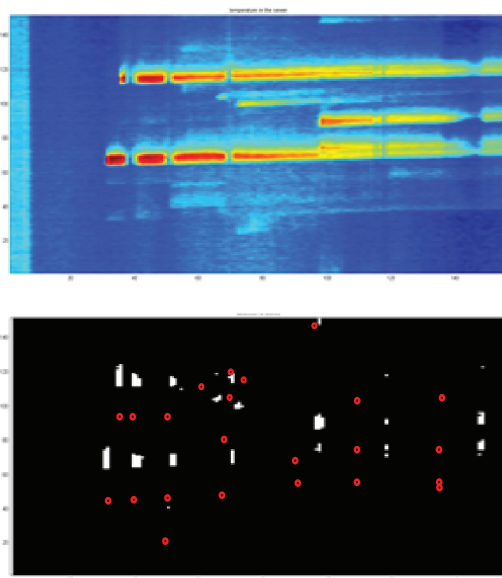
Tabel 1
Resultat af manuel analyse af DTS-data fra Elmehaven i Aarhus fra september 2013 til november 2013. Registrering af uvedkommende vand er angivet som "Ja", imens ingen registrering af uvedkommende vand er angivet som "Nej".



Figur 4
Eksempel på manuel udpegning af uvedkommende vand i spildevandsledningen ved Elmehaven i Aarhus. Koldt vand løber i kloakken flere steder (markeret med røde cirkler) samtidig med at der kommer nedbør. De lodrette søjler af (tilnærmelsesvis) konstant temperatur repræsenterer oprinkninger for enden af sideveje til hovedledningen, og omkring søjlerne er resultaterne således spejlvendte.

De tre, kendte fejlkoblinger på Elmehaven kan identificeres på figuren som den røde cirkel ved ca. 250 m (nr. 93), de to røde cirkler ved ca. 1200 m og 1425 m (nr. 47) og den røde cirkel ved ca. 1000 m (nr. 10). Fejlkoblingerne fra nr. 93 og nr. 10 var således placeret umiddelbart før/efter en oprinkning, imens fejlkoblingen ved nr. 47 var placeret midt på en strækning mod en oprinkning. Alle tre fejlkoblinger registreres således dobbelt og vises som spejlvendte "plamager", der breder sig ud fra tilledningspunktet.

For DTS-data opsamlet fra september 2013 – november 2013 er syv større regnhændelser analyseret på denne vis. For nr. 93 og 47 blev der ved alle regnhændelser registreret uvedkommende vand, imens der ved to af regnhændelserne ikke blev registreret uvedkommende vand fra den fejlkoblede terrasse ved nr. 10 (se tabel 1). Foruden registrering af de i forvejen kendte fejlkoblinger viser resultaterne, at der er en mindre fejlkobling ved placeringen 839/1123 m, eftersom der her blev registreret uvedkommende vand ved to regnhændelser og usikkerhed omkring tolkningen af dataene ved en tredje.



Figur 5
Eksempel på automatisk udpegning af temperaturforskelle i et datamateriale. Øverst er rådataene fra DTS-udstyret vist, og nederst er det vist, hvor i datamaterialet temperaturen ændrer sig – med mere end en fastsat grænseværdi – i både tid og sted, hvilket angiver et ”inflow event”. Starten på hvert inflow event er markeret med en rød cirkel.

Ved opsporing med traditionelle metoder er det sandsynligt, at sådanne mindre fejlkoblinger ville blive overset. Med DTS analyseres hele hovedledningen i én omgang, hvorfor principielt set alle fejlkoblinger afsløres, når blot regnintensiteten er stor nok, og de enkelte fejlkoblinger ikke ligger for tæt. De steder, hvor flere stikledninger kobler på spildevandsledningen meget tæt på hinanden, kan det blive nødvendigt at afhjælpe de fundne fejlkoblinger og efterfølgende monitere for yderligere fejlkoblinger.

Årsagen til at der ikke registreres uvedkommende vand ved den lille fejlkobling ved nr. 10 og den ukendte fejlkobling ved afstanden 839/1123 m fra DTS-computeren hver gang, det regner, kan være flere. Temperaturforskellen imellem spildevandets temperatur og det afstrømmende regnvand har betydning for, hvor stort flowet af uvedkommende vand skal være, før der registreres temperaturforskelle med DTS-udstyret. Størrelsen af spildevandets flow har også betydning for opblandingen af spildevand og regnvand, og i denne forbindelse kan eksempelvis en vaskemaskine, der kører imens det regner, forstyrre den manuelle tolkning af dataene.

Af disse årsager – samt selvfølgelig for at spare tid på dataanalysen – arbejdes der på et værktøj, der automatisk analyserer DTS-dataene for at gøre udpegningen af fejlkoblinger sikrere og hurtigere, og som skal gøre resultaterne lettere tilgængelige for beslutningstageren.

Automatisk analyse af data og online repræsentation på portalen

Foruden installation af det optiske kabel i kloakken er den manuelle analyse af data det mest tidskrævende element ved DTS-metoden. Derfor arbejdes der på udviklingen af en algoritme, der automatisk analyserer datamaterialet og udpeger tidspunkter og placeringer, hvor der tilledes uvedkommende vand.

Dette gøres ved en afsøgning for temperaturændringer større end en bestemt grænseværdi, som registreres som ”inflow events” (se figur 5).

Den laveste temperaturændring, det giver mening at søge efter, er støjen på udstyret (ca. $\pm 0,1$ °C). Idet en pludselig temperaturændring i tid og sted både kan være fejlkoblet regnvand og almindelig brug af kloakken (toilet, bad, vaskemaskine etc.), vil en anvendt grænseværdi for algoritmen herpå imidlertid resultere i så mange inflow events, at det ville være umuligt at adskille fejlkoblet regnvand fra den almindelige brug af kloakken.

Af figur 5 fremgår det desuden, at der kan være ”huller” i de oprindelige data, som registreres som events. Dette skyldes korte kabelstræk, der ligger over vandfasen fordi kablet snor sig (som Loch Ness-uhret).

Derfor er det nødvendigt at anvende en højere grænseværdi for registrering af inflow events og sammenholde de registrerede events med nedbørsdata, og det kan være nødvendigt at indstille grænseværdien forskelligt fra regnhændelse til regnhændelse eller at udføre statistisk analyse på sammenfaldet imellem inflow events på en given lokalitet og nedbørshændelser.

Det er målet at udvikle et GIS-værktøj, der kan bruges fra planlægning af kablets udtræk i kloakken til automatisk præsentation af resultaterne af dataanalysen via en Internetportal. Udviklingen er i fuld gang (se figur 6), og med data fra forsøgsopstillingen på Elmehaven, Holme Parkvej og en tredje opstilling, der er under planlægning, er det målet at finde frem til den opsætning af dataanalysen, der med færrest mulige (og mindst intense) regnhændelser udpeger alle fejlkoblinger sikkert.



Figur 6
Screendump fra portalværktøjet under udvikling (figurerne er dummies, der viser princippet i metoden). Øverst fremgår workflowet i værktøjet, der strækker sig fra planlægning af udlægningen af kablet til den egentlige repræsentation af resultaterne. Det øverste kort viser kablets udlægning, kortet i midten viser et bud på en måde at repræsentere en statistisk analyse af sammenfaldet imellem regnhændelser og detekterede inflow events, og nederst ses rådataene fra målingen sammenholdt med nedbørsdata. Til venstre fremgår de muligheder, brugeren har til analyse af dataene.

Perspektiver

Baseret på de erfaringer, der i dette projekt er opnået indtil videre, har DTS-metoden potentiale til at kunne anvendes til opsporing af fejkoblet dræn- og overfladevand på spildevandssystemet som et mere effektivt alternativ til de traditionelle metoder. DTS-metoden har den fordel, at det ikke er nødvendigt at få adgang til private matrikler. Samtidigt kan selv små fejkoblede arealer, der kunne blive overset i en traditionel undersøgelse, registreres.

Udviklingen af det rette værktøj til dataanalysen vil gøre metoden endnu sikrere og mere effektiv, og med de allerede indsamlede data vil det også gøre det klarere, hvor store regnhændelser, der skal til for at udpege fejkoblinger – og dermed hvor længe, det (statistisk set) er nødvendigt at have kablet i kloakken.

Indtil videre har der været fokus på at opspore fejkoblet regnvand på spildevandssystemet. Metoden er også anvendelig til at spore andre former for uvedkommende vand (indsivning, fejkoblede dræn, mindre vandløb etc.) med en automatiseret databehandling. Når dette udviklingsprojekt er færdigt, er det oplagt at udvikle metoden til også at kunne håndtere andre former for uvedkommende vand.

En væsentlig udgift i forbindelse med kommerciel anvendelse af metoden er udlægningen af det optiske kabel. Effektivisering af (og øvelse i) udlægningen af kablet er således et område, der også fremad vil blive fokuseret på.

Målet er at få alle fordele ved denne metode til en pris, der er sammenlignelig med andre metoder til sporing af fejkoblinger.

