

Eksempler på mulige vandteknologiske projektidéer

Lad vand og data strømme

Den danske vandsektor står over for et valg.
Surfe på den digitale bølge. Eller lade sig oversvømme af den.

Bilag til DTU Sektorudviklingsrapport om Vand

8

Sådan har vi gjort

Hovedformålet med sektorudviklingsprojektet er at accelerere udviklingen af nye teknologier og metoder inden for vandsektoren samt styrke danske rådgivere, teknologiproducenter og forsyningsselskaber på området.

Arbejdet har givet indblik i en lang række muligheder for vandteknologi og metoder. Sammen med virksomheder, brancheorganisationer og myndigheder har vi kortlagt, hvordan de kan udnyttes til at skabe bedre løsninger.

Projektet er gennemført med deltagelse af eksperter fra DTU Aqua, DTU Byg, DTU Compute, DTU Energi, DTU Fotonik, DTU Fødevarer-instituttet, DTU Kemiteknik, DTU Management Engineering, DTU Mekanik, DTU Miljø og DTU Nanotech. DI og FRI har bidraget med viden og input til arbejdet. DTU Miljø og Afdeling for Innovation og Sektorudvikling på DTU har været tovholdere. DTU er afsender af rapporten.

Anbefalingerne i rapporten reflekterer dialogen med aktører fra sektoren og på tværs af de involverede DTU institutter. Hovedrapporten med anbefalinger kan findes på <https://www.dtu.dk/Samarbejde/Raadgivning/Brancher-og-sektorer>

Sektorudvikling

Sektorudviklingsprojekter er et af de værktøjer, som DTU bruger til at samarbejde med erhvervsliv og myndigheder. Målet med projekterne er at styrke teknologiintensive branchers konkurrenceevne ved at skabe overblik og handlingsplaner for udvikling og anvendelse af nye teknologier.

Metoden går ud på at:

- Kortlægge og analysere teknologianvendelsen i branchen, baseret på interviews og workshops
- Identificere flaskehalse og udviklingsbehov både hos virksomheder, myndigheder og DTU
- Give anbefalinger til at løfte udfordringer

Sektorudviklingsprojekterne bliver skabt i et forum bestående af repræsentanter for virksomheder, forskere fra DTU samt myndigheder.

Projektideer fra DTU

På baggrund af de indsigter og analyser, som projektet har udviklet, har de medvirkende DTU-forskere udarbejdet eksempler på forslag til vandteknologisk forskning og innovation. Forslagene i denne elektroniske baggrundrapport adresserer centrale udfordringer med udgangspunkt i en tværfaglig tilgang og bidrag fra forskere med meget forskellige erfaringer fra vandsektoren. Desuden er der skelet til løsninger, som danske virksomheder har gode forudsætninger for at bidrage til at realisere.

Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til chefkonsulent Mads H. Odgaard, maod@dtu.dk (projektleder), professor Peter Steen Mikkelsen (lead professor) eller direkte til forskerne bag de enkelte projektforslag.

Vandsektoren og dens økosystem

Vandsektoren er kendetegnet ved mange vidt forgrenede aktiviteter i det private erhvervsliv, forsyningsselskaber, kommuner og forskningsinstitutioner. Det stod således klart, at sektorudviklingsprojektet skulle afgrænses. Vandsektoren omfatter derfor i dette projekt virksomheder og forsyningsselskaber, som leverer teknologi og/eller løsninger og services inden for tre hovedområder: Klimatilpasning, Vand ind og ud af byer, samt Forvaltning af vandressourcer.

Indhold

| | |
|--|----|
| Overvågning af vandressourcer fra droner og satellit | 3 |
| Af professor Peter Bauer-Gottwein, DTU Miljø (pbau@env.dtu.dk) | 3 |
| Data- og vidensplatform til klimatilpasning af byer | 5 |
| Af seniorforsker Martin Drews (mard@dtu.dk) og professor Karsten Arnbjerg-Nielsen (karn@env.dtu.dk) | 5 |
| Bæredygtige byer gennem grå-grønne vandløsninger og smart teknologi | 7 |
| Af ph.d.-studerende Nadia Lund (nalu@env.dtu.dk), lektor Morten Borup (morb@env.dtu.dk) og professor Peter Steen Mikkelsen (psmi@env.dtu.dk), DTU Miljø | 7 |
| Sammenhængende nedbørsprognoser på tværs af tid og sted | 9 |
| Af ph.d.-studerende Jonas Wied Pedersen og professor Peter Steen Mikkelsen | 9 |
| Kloaksystemet skal have en digital tvilling | 11 |
| Af professor Erik Damgaard Christensen, DTU Mekanik (edch@mek.dtu.dk) | 11 |
| Pålidelige realtidsmodeller af vandsystemet | 13 |
| Af lektor Morten Borup, DTU Miljø (morb@env.dtu.dk) | 13 |
| En ny generation af optiske sensorer | 15 |
| Af forsker Jakob Janting, DTU Fotonik (jajant@fotonik.dtu.dk) og lektor Luca Vezzano, DTU Miljø (luve@env.dtu.dk) | 15 |
| Kommunikationsløsninger til vandteknologisektoren | 17 |
| Af lektor Sarah Renée Ruepp, DTU Fotonik (srru@fotonik.dtu.dk) | 17 |
| Systems Engineering og digital systemintegration | 19 |
| Af professor Krist V. Gernaey, DTU Kemiteknik (kvg@kt.dtu.dk) | 19 |
| Biomimetisk vandbehandling og ressourcegenindvinding | 21 |
| Af professor Claus Hélix-Nielsen, DTU Miljø (clhe@env.dtu.dk) | 21 |
| Ny bioteknologi til et nyt paradigme for spildevandsbehandling | 23 |
| Af adjunkt Borja Valverde-Pérez, DTU Miljø (bvape@env.dtu.dk) og professor Barth F. Smets, DTU Miljø (bfsm@env.dtu.dk) | 23 |
| Membransyntese og enzymteknologi til industriel vandbehandling | 25 |
| Af lektor Manuel Pinelo, DTU Kemiteknik (mp@kt.dtu.dk), lektor Andreas Kaiser, DTU Energy (akai@dtu.dk) og lektor Bhaskar Reddy Sudireddy, DTU Energy (bhsu@dtu.dk) | 25 |
| Vandbehandling ved adsorption på naturligt sand | 27 |
| Senior Researcher Jean-Claude Grivel, DTU Energy (jean@dtu.dk) | 27 |
| Selvregulerende biologisk drikkevandsbehandling | 29 |
| Af professor Hans-Jørgen Albrechtsen, DTU Miljø (hana@env.dtu.dk) | 29 |
| Ozonering - et alternativ og supplement til kul | 31 |
| Af forsker Kamilla M. S. Kaarsholm, DTU Miljø (kmsh@env.dtu.dk) og professor Henrik R. Andersen, DTU Miljø (hran@env.dtu.dk) | 31 |
| Værdiskabelse og miljøpåvirkninger i fremtidens vandsystemer - Eco-efficiency | 33 |
| Af lektor Martin Rygaard, DTU Miljø (mryg@env.dtu.dk) og post doc Berit Godskesen, DTU Miljø (berg@env.dtu.dk) | 33 |

Overvågning af vandressourcer fra droner og satellit

Af professor Peter Bauer-Gottwein (pbau@env.dtu.dk), DTU Miljø



Drone med radar
højdemåler under
opmåling af vandløb.
Foto: Filippo Bandini og
Christian Josef Köppl,
DTU Miljø

Ved at kombinere observationer fra satellit med droneoptagelser kan vi skabe et nyt stærkt værktøj for myndigheder, forsyningsselskaber og rådgivende ingeniører.

Problem

Af alle naturressourcer er ferskvand den mest kritiske for livets opretholdelse. Floder, søer, vådområder og grundvand, der rummer ferskvandet, indgår i et komplekst samspil med det omgivende naturlige miljø og med den menneskeskabte infrastruktur. Eksempelvis er der i Danmark ca. 20.000 km offentlige vandveje, som har stor betydning for biodiversiteten og for dræningen af landskabet. Ude i verden finder man vandsystemer, der strækker sig over hundredvis af kilometer, ja, nogle endda over flere tusinde kilometer. At overvåge så store systemer - herunder at have styr på mængden og kvaliteten af vandet - er selvsagt vanskeligt. Udfordringen bliver kun større af, at det er både dyrt og teknisk vanskeligt at have måleudstyr permanent installeret.

Vandteknologisk løsning

Et lovende alternativ til måleudstyr på jorden er målinger fra luften. Bl.a. opererer det europæiske rumprogram Copernicus et antal satellitter, som overvåger Jorden og stiller data til rådighed for forskere og andre brugere. Det samme gælder visse programmer under amerikanske NASA mv. På vandområdet er der bl.a. mulighed for at hente data for overfladearealet af vandområder, vandstande, ændringer i samlede vandmængder, fugtighed af jordbunden, koncentrationer af plantematerialet i vandet, strømningshastighed mv.

Den relativt store afstand fra satellitterne til Jordens overflade betyder, at der er grænser for, hvor høj opløsning man kan få. Samtidig er satellitterne begrænset af, at de bevæger sig i forudbestemte baner. Man kan ikke bestille dem til at koncentrere sig om et bestemt område hele tiden. Derfor er det oplagt at supplere observationer fra satellitter med droner, der jo netop kan flyve i lav højde samtidig med, at man selv kan bestemme, hvor og hvornår de skal flyve. Projektforslaget omfatter, at man kombinerer satellitoptagelser med droneoptagelser, så man får det bedste fra begge verdener. Overvågning af data vil nødvendigvis skulle integreres med modellering og beslutningsstøttesystemer, både for at fokusere overvågningsopgaver og øge troværdigheden og præcisionen af modelbaserede forudsigelser.

Værdipotentiale

Teknologien har betydelig værdi både for samfundet og kommercielt i Danmark og internationalt. I Danmark anvendes årligt flere hundrede millioner kroner på vedligehold af offentlige vandssystemer mhp. at sikre en minimum transport af vand i floder og åer. Som en del af Danmarks forpligtigelse over for EU skal Danmark dokumentere den økologiske kvalitet af søer, floder og åer. Teknologien vil også muliggøre en velfungerende integration af overvågningssystemer på tværs af kystzoner og dermed forbinde indsatser på havet og indenlands. Overvågning og håndtering af udfordringer om oversvømmelse, vandmangel og forurening er nøgleudfordringer globalt. De rådgivende ingeniørvirksomheder i Danmark, som har lang historisk erfaring med dette forretningsområde, vil have gode muligheder for at udnytte mulighederne i området.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Varig succes med denne teknologi forudsætter tekniske og institutionelle fremskridt og tilpasning. Centrale tekniske forudsætninger, der skal opfyldes, er minituriasering af sensorer, udvikling af robuste ubemandede platforme til alt slags vejr og udvikling af vandressourcemodeller og beslutningsstøttesystemer for udnyttelse af remote sensing data. Samtidigt gælder det, at medarbejdere inden for vandteknologi må sikre sig, at der tages højde for behovene for sensorer, når nye satellitmissioner designs. Dette gælder også mht. udviklingen af nødvendige lovgivningsmæssige rammer for at gennemføre overvågning vha. autonome ubemandede platforme, som foregår "beyond visual line of sight". Nøglepartnere inkluderer her udbydere af flyvninger og af billedbehandling samt rådgivende ingeniørvirksomheder, offentlige institutioner, lovgivere og universiteter.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Udvikling af teknologien forudsætter samarbejde på tværs af fagligheder og på tværs af den private og offentlige sektor. Specialister i sensorudvikling skal gå sammen med hydrologer og med designere af ubemandede autonome platforme. Integration på tværs af fagligheder inden for hav, kyst og vandløb vil også være nødvendigt, fordi overvågningsteknologier kan anvendes på tværs af disse områder og bør udvikles med en lang række af brugerbehov for øje. Af stor vigtighed for en succesfuld tilpasning af teknologien er en fælles forståelse af muligheder og begrænsninger mellem sensorspecialister og specialister inden for anvendelsesområder.

Risici/hvad kan gå galt?

En mulig risiko er for restriktive reguleringskrav for ubemandede autonome platforme, særligt for flyvning 'beyond visual line of sight'. Myndighederne må ramme en balance særligt for flyvning over offentlige områder. Flyveoperatører skal opfylde de højeste krav til sikkerhed og pålidelighed, og offentlighedens interesser skal tages højde for så meget som muligt. En anden risiko er forbundet med mangelfuldt samarbejde mellem sensorspecialister og specialister i anvendelsesmuligheder. Ud fra hensynet om at få mest mulig værdi ud af teknologien, skal sensorspecialister sikre sig, at de forstår så præcist som muligt, hvilke brugerbehov der er inden for et anvendelsesområde, og hvad sensorteknologien i det lys kan anvendes til.

Mulige partnere

Det vil kræve et bredt tværfagligt samarbejde at realisere visionen. På industrisiden er der behov for deltagelse af virksomheder, som behandler billeder (fx DHI GRAS), virksomheder, der konstruerer droner (fx SkyWatch), samt udbydere af drone-flyvninger (fx Drone Systems). Desuden er der behov for medvirken fra GTS og rådgivende ingeniører (DHI, Orbicon, Rambøll, COWI, NIRAS). På forskningssiden er der behov for institutioner, der udvikler sensorer (DTU Space, Aarhus Universitet) samt specialister i vandressourcer (DTU Miljø, DTU Aqua). Endeligt er det nødvendigt at have offentlige myndigheder og lovgivere med ombord af hensyn til at sikre rammebetingelserne for, at denne teknologi kan blomstre.

Data- og vidensplatform til klimatilpasning af byer

Af seniorforsker Martin Drews (mard@dtu.dk), DTU Management og professor Karsten Arnbjerg-Nielsen (karn@env.dtu.dk), DTU Miljø



Kystvej under stormflod

Problem

Nutidens byer er dårligt forberedte til et fremtidigt klima. I Danmark er især skybrud og stormfloder vigtige udfordringer, men generelt er tørke, ændrede afstrømningsforløb og grundvandsforekomster også afgørende vigtigt. Allerede i dag rammes byer over hele verden således stadigt hyppigere af katastrofer som følge af ekstremt vejr - med store skader og tab af liv til følge. Som "modsvær" investerer mange og ikke mindst større byer i Nordamerika og Vesteuropa for tiden betydelige summer i fysiske klimatilpasningstiltag, herunder grønne løsninger for at håndtere oversvømmelser i byrummet. Det er dog i høj grad uklart hvordan tiltagene skal udformes, både i form af at opstille ingeniørmæssige dimensioneringsprincipper og i at vælge det rigtige mix af løsninger, der kan håndtere, at "risikobilledet" ændrer sig over tid. Samtidig findes og opsamles meget begrænset information om, hvor effektive løsningerne faktisk viser sig at være, når en ekstrem vejrhændelse rammer, hvilket gør, at de planlagte og reelle sikringsniveauer ofte ikke er sammenfaldene.

Vandteknologisk løsning

For tiden udforskes især to meget forskellige typer af vandteknologiske løsninger, dels blå-grønne teknologier og dels realtidvarsling og -styring.

Blå-grønne teknologier er designet til at ændre vandets vej gennem byen. De kræver mere plads på byens overflader end traditionelle løsninger, men til gengæld bidrager løsningerne med æstetik, rekreative værdier, forsyningssikkerhed, forureningskontrol mv. Et centralt spørgsmål her er hvordan teknolo-

gjerne spiller sammen med traditionelle løsninger, hvordan de fungerer, og hvordan man kan dimensionere løsningerne i et komplekst samspil mellem den tekniske funktion og de mange andre ydelser som teknologien giver til byboerne.

Realtidsvarsling og -observationer af ekstreme vejrhændelser og deres konsekvenser i byen vil både kunne medføre en mere effektiv udnyttelse af eksisterende infrastruktur og mindske skaderne på mennesker og værdier. Ud over at kunne etableres uden at øge behovet for at bruge byens overflader er teknologien også nemmere at implementere, fordi teknologien skal udvikles, testes og anvendes af én aktør.

Begge metoder kræver en platform, der hverken findes i Danmark eller internationalt, som er i stand til at opsamle og analysere de nødvendige datatyper og de underliggende modeller på en effektiv måde. Desuden mangler der vigtige komponenter såsom kriterier for løsningers effektivitet og modeller til at simulere integreret byudvikling i bæredygtig (eller modsat) retning.

Værdipotentiale

Digitalisering. I de kommende år vil der være en stadigt stigende adgang til nye klimatjenester og en række af ovennævnte data som følge af betydelige danske og europæiske investeringer herunder bl.a. digitaliseringen af DMIs data såvel som Copernicus programmet. En integrerende digital platform vil kunne hjælpe med til at facilitere adgangen til og sikre en optimal udnyttelse af disse nye dataprodukter. Udvikling af metoder til automatiseret datafangst og -behandling er også afgørende for begge teknologiers succes.

Innovation. En digital platform baseret på åbne standarder vil potentielt kunne medvirke til at understøtte og muliggøre både teknologisk og organisatorisk innovation hos borgerne og i den private og offentlige sektor. Dette inkluderer manglende komponenter som monitorering og bymodeller.

Eksport. En række faktorer herunder Københavns klimatilpasningsplan, som gennem det seneste årti har tiltrukket sig enorm global interesse, og som har hjulpet med til at eksponere danske løsninger på et internationalt marked, viser, at der er et stort eksportpotentiale for effektive tværgående løsninger til at håndtere hydro-meteorologiske udfordringer i byer, som samtidig kan være med til at skabe andre former for mérværdi ud over den hydrodynamiske.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Det er en betingelse for vedvarende succes, at der udvikles en underliggende model for såvel opsamling af data som opstilling af succeskriterier, som er i stand til fleksibelt at integrere forskellige datatyper fra forskellige "data providers" i relevante rumlige og tidslige dimensioner. Dette inkluderer en meget høj grad af kompatibilitet med væsentlige danske og internationale initiativer – både nuværende og planlagte. Succes i forhold til de forskellige brugersegmenter vil også afhænge af, om teknologien er robust, brugervenlig og vedkommende; i forhold til sidstnævnte er det derfor helt afgørende, at et kritisk udvalg af værktøjer vil være til rådighed fra begyndelsen af for at sikre platformens initiale anvendelse, impact og videreudvikling.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Dette initiativ sigter helt grundlæggende mod at gøre relevante data, metoder, og vurderingskriterier tilgængelige på tværs af fag og sektorer.

Risici/hvad kan gå galt?

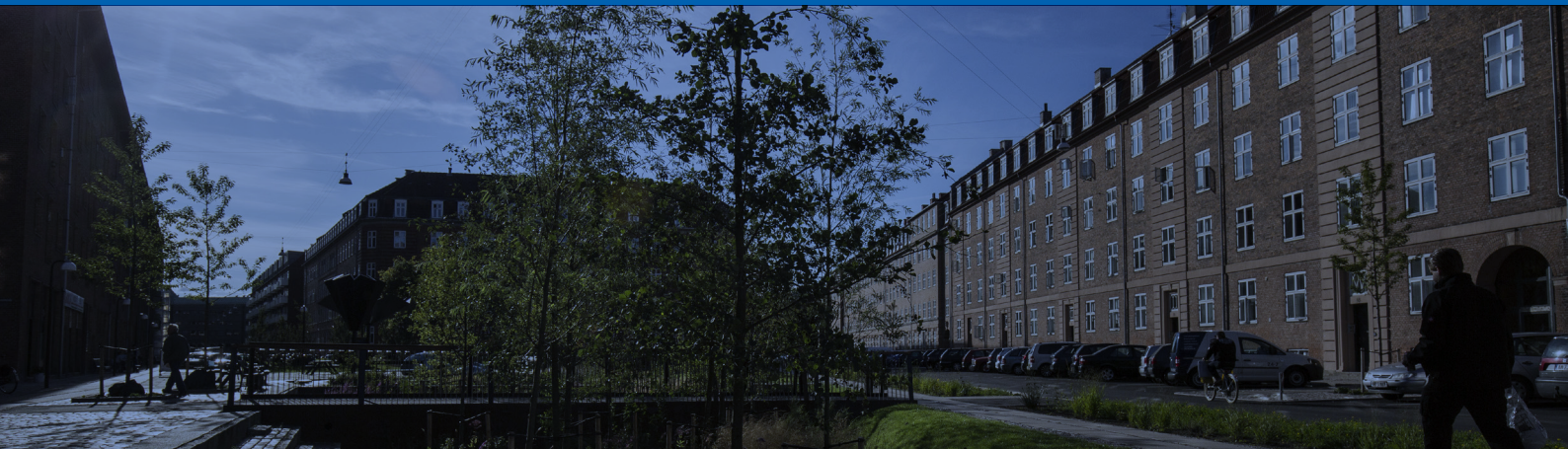
Det er helt afgørende for at kunne udnytte den ressource, der ligger i data- og videns-integrationen, at de relevante data, modeller, værktøjer, etc. er tilgængelige. Dette fordrer klare rammer for deling af information via platformen, som imødekommer bl.a. IPR. Samtidig er det nødvendigt med opstilling af danske/internationale standarder. Sidst men ikke mindst er det kritisk at finde og finansiere en model for drift og vedligeholdelse af platformen, som sikrer løbende videreudvikling og integration af de nyeste data og teknologier.

Mulige partnere

DMI, SDFE, DØRS, forsyningsselskaber, kommuner, KU og AaU.

Bæredygtige byer gennem grå-grønne vandløsninger og smart teknologi

Af ph.d.-studerende Nadia Lund (nalu@env.dtu.dk),
lektor Morten Borup (morb@env.dtu.dk) og
professor Peter Steen Mikkelsen (psmi@env.dtu.dk), DTU Miljø



Multifunktionel klimatilpasning der skaber merværdi for brugerne af byens rum, Taasinge Plads på Østerbro. Kilde: State of Green.

Problem

Øgede regnmængder som følge af klimaforandringer og udvidelse af vores byer medfører en større afstrømning fra befæstede overflader og dermed at større mængder af vand, både nu og i fremtiden, ender i vores kloaksystemer i stedet for at nedsive, fordampe eller afstrømme naturligt. Kloaksystemerne er ikke bygget til at håndtere disse ekstra vandmængder, og vi oplever derfor både hyppigere oversvømmelser under skybrud og hyppigere udledning af kloakvand til åer, havne og andre vandområder (kaldet overløb) selv under moderat regn. Kloakvandet er en blanding af regn- og spildevand, og overløbet kan således have stor indflydelse på vandmiljøets tilstand.

Vandteknologisk løsning

En udvidelse af kloaknettet kan potentielt gøre kapaciteten af systemet stor nok til at håndtere de øgede vandmængder. Dette kan dog være svært at gøre i tæt bebyggede byer, og metoden er desuden ikke særlig bæredygtig grundet produktionen af bl.a. stål og beton. Mange samfund skal i løbet de kommende årtier ændre deres systemer for at kunne håndtere de ekstra vandmængder, og det er derfor vigtigt, at vi kommer op med alternative løsninger for at sikre en bæredygtig fremtid.

Denne bæredygtighed kan opnås ved at vende blikket mod to aktuelle tendenser i vores samfund: 1) brugen af grøn infrastruktur såsom regnbede og grønne forsinkelsespladser, og 2) "smart cities"-begrebet der binder byen elektronisk sammen og f.eks. muliggør intelligent styring af spjæld og pumper i kloaksystemet. Ved at kombinere elementer fra grøn infrastruktur og digitalisering kan vi opnå byer med en mere robust håndtering af regn- og spildevand, som både beskytter det lokale vandmiljø, og samtidig er mere miljømæssigt bæredygtigt end traditionel udvidelse af kloakken.

Københavns Kommune planlægger i samarbejde med HOFOR at investere mange milliarder kr. i grå-grønne overfladeløsninger for at sikre byen mod ekstremregn. Disse løsninger, eller lignende infrastruktur andre steder, kan potentielt også bruges til at aflaste afløbssystemet under moderate regn ved at tilbageholde den del af regnvandet på terræn, der ellers ville føre til overløb. Denne tilbageholdelse kan gøres mulig ved at installere intelligente lukkemekanismer på grænsen mellem vej og afløbssystem. Lukkemekanismerne fjernstyres, og computermødelser udregner baseret på regnprognoser den mest optimale fordeling af regnvand mellem kloakken og terræn. Hermed holdes regnvandet kun tilbage på terræn, hvis det ellers ville føre til overløb til vandmiljøet, og kun i situationer, hvor det ikke vil være til gene for mennesker. Synergien mellem grå-grøn infrastruktur og smart teknologi gør det muligt at bruge allerede planlagt skybrudsinfrastruktur til at tilbageholde regnvandet også under moderate regnskyl, og implementeringen har derfor minimal indvirkning på den miljømæssige bæredygtighed.

Værdipotentiale

En bedre udnyttelse af den samlede kapacitet både under og over jorden vil have mange fordele herunder 1) et renere lokalt vandmiljø til glæde og gavn for både det akvatiske økosystem og mennesker, 2) en lavere økonomisk omkostning i forhold til at udvide kloaknettet, og 3) medvirke til en miljømæssig bæredygtig infrastruktur og byudvikling.

Desuden kan teknologien nemt udvides til også at bidrage til andre formål end at mindske overløb til vandmiljøer. F.eks. kan optimering medtage:

- Hensynstagen til brugen af terrænet og f.eks. forhindre at vand tilbageholdes på terræn i myldretiden eller i nærheden af følsomme områder (såsom hospitaler og børnehaver).
- Inklusion af infiltrationsevnen for de grønne områder i byen. Hvis der måles høj infiltrationsevne kan man med fordel lede vandet hen til disse grønne områder hvor det i større grad vil nedsive. Hvis infiltrationsevnen er lav, kan man derimod regne med en større afstrømning fra områderne.
- Inklusion af "first flush" så det første, mest beskidte, vand altid ledes til afløbssystemet.
- Muligheden for at lukke for tilslutningen mellem kloak og gadeplan når afløbssystemet er så fyldt at spildevand ellers vil blive skubbet op på vejen og udgøre en sundhedsmæssig risiko.
- Holde vand på terræn i udvalgte situationer, hvor arealbrugere vil opleve det rindende vand som et positivt indslag i byens funktion, der bidrager til dens æstetik og skaber læring om regnvand og infrastruktur, såvel over som under jorden.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Projektet kræver udvikling af sensorer og lukkemekanismer samt udvikling af et advarselssystem om vand på terræn baseret på hydrauliske modeller og vejrprognoser. Derudover skal styringsteknologien inkl. kommunikationssystemer gøres operationel.

Tværfaglighed og tværasektorielt perspektiv

Der er brug for mange forskellige fagligheder i projektet. Softwareudvikling, sensorudvikling og den fysiske lukkemekanisme er nødvendig for selve teknologien, men der kræves også kendskab til udledningkvoter, vandmiljøet, sundhedsaspekterne ved at tilbageholde regnvand på terræn, brug af byens arealer, bæredygtighedsberegninger, landskabsarkitektur, etc.

Risici/hvad kan gå galt?

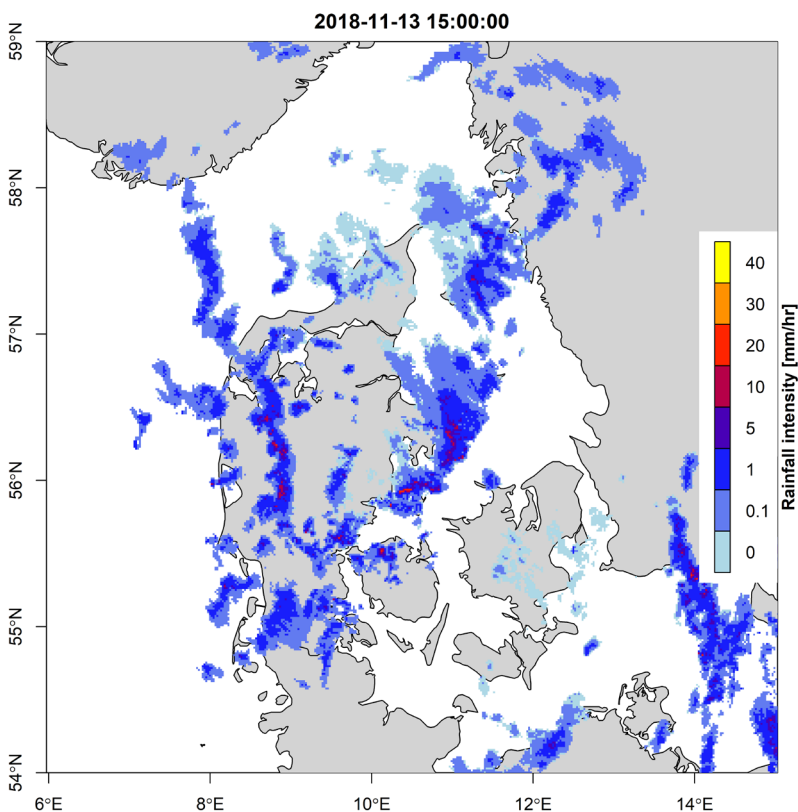
Projektet er betinget af at man kan få tilladelse til at lede og opmagasinere regnvand på terræn. Desuden skal teknologien og styringen være robust med advarsels- og tilbagefaldsstrategier, så der ikke sker økonomiske tab eller personskaade.

Mulige partnere

Der er mulighed for at inkludere mange forskellige samarbejdspartnere i projektet. Virksomheder, så som f.eks. Krüger A/S og DHI har erfaring inden for styring og vil derfor kunne bidrage med udviklingen af softwaren til styring, advarsels- og tilbagefaldsstrategi. Danske aktuaterproducenter, så som AVK har den nødvendige ekspertise til at producere robuste, styrbare lukkemekanismer. Forsyningsselskaberne skal i sidste ende tage teknologien til sig, og derfor er det vigtigt også at have dem repræsenteret blandt partnerne.

Sammenhængende nedbørsprognoser på tværs af tid og sted

Af ph.d.-studerende Jonas Wied Pedersen (jowi@env.dtu.dk) og professor Peter Steen Mikkelsen (psmi@env.dtu.dk), DTU Miljø



Eksempel på ny datakilde,
nedbørmåling med vejrradar.
Baseret på data fra DMI.

Problem

I den daglige drift af afløbs- og spildevandssystemer er nedbør den største udefrakommende påvirkning, der i korte perioder sætter systemernes kapacitet under pres. I værste tilfælde kan dette lede til overløb og oversvømmelser fra byens kloakker samt bypass og nedsat renssevne ved spildevandsrens anlæg. Dynamisk styring af blandt andet pumper, spjæld og opmagasineringsvolumener vil kunne hjælpe på disse problemer, men i mange tilfælde vil der være en tidsforsinkelse, fra en beslutning tages, til den er udført. Et eksempel er, at det kan tage mange timer at pumpe alt vandet fra et stort opmagasineringsvolumen videre ned i systemet. En beslutning som "fjern vandet fra dette bassin" er altså ikke gjort øjeblikkeligt. Vi har derfor brug for at vide, hvordan vores systemer bliver påvirket i den nærmeste fremtid, så vi på forhånd kan være klar til at håndtere pressede situationer. Denne type forhåndsviden skal komme fra troværdige prognoser af nedbør, og hvordan denne omsættes til afstrømmende vandmængder fra byens overflader.

Vandteknologisk løsning

Meteorologer producerer konstant nye vejrudsigter baseret på de seneste tilgængelige observationer af atmosfæren. Det gør de ved hjælp af store computersimuleringer, der kaldes numeriske vejrmodeller. Numeriske vejrmodeller produceres med forskellige formål in mente, og data fra disse kommer derfor med forskellige prognosehorisonter og i forskellig opløsning i tid og sted. Samtidigt foregår de potentielle anvendelsesmuligheder på tidshorisonter, der rækker

lige fra et par minutter til et par uger frem i tiden. Der er derfor brug for løsninger, der enten anvender forskellige datatyper til forskellige formål eller formår at integrere dem til en sammenhængende prognose med fælles opløsning i tid og sted.

Urbanhydrologer arbejder på meget mindre spatiale skalaer end meteorologer - vi taler her om vandafstrømning helt ned på den enkelte villavej overfor atmosfæriske processer på kontinentale skalaer. Nye softwareplatforme skal derfor lukke hullet mellem de to verdener og fortolke data på en måde, der er brugbart på urban skala.

Værdipotentiale

Realtidsstyring kan forbedre udnyttelsen af den eksisterende infrastruktur. I afløbssystemer drejer det sig især om at kunne undgå overløb fra fælleskloakerede arealer, mens det på renseanlæggene vil kunne optimere ressourceforbrug af elektricitet og diverse kemikalier. På tværs af de to systemer vil realtidsstyring kunne holde vand tilbage i afløbssystemets bassiner, indtil renseanlæggene er klar til at modtage vandet. Hvis renseanlæggene kender deres fremtidige belastninger, kan de også indgå i en bredere 'smart cities'-kontekst, hvor deres elektricitetsforbrug kan afhænge af den forudsete procentdel af vedvarende energi i elnetværket. Anvendelsen af troværdige prognoser af nedbør på urban skala er helt grundlæggende for at kunne realisere potentialet for alle disse applikationer.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

En forudsætning for, at numeriske vejrmødelles kan bruges til styring, er, at deres data er tilgængelige i realtid, om det så er mod betaling eller gratis gennem offentligt ejede institutioner som Danmarks Meteorologiske Institut. Der er ydermere behov for forskning, der tydeliggør anvendelsesmuligheder i vandsektoren. Det drejer sig blandt andet om, hvilke typer af modeller man kan bruge disse data som input til, afhængigt af det specifikke formål. Vejrudsigter er behæftet med betydelige usikkerheder, og det vil være kritisk vigtigt at udvikle metoder til at kvantificere disse, så de er håndterbare for vandsektorens interessenter og giver mulighed for risikobaserede beslutninger.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Anvendelsen af numeriske vejrmødelles vil kræve et tæt samarbejde mellem meteorologer og urbanhydrologer samt ingeniører med speciale i afløbssystemer og renseanlæg for at nå til en fælles forståelse af forskellen på de skalaer, der arbejdes på. Der vil ydermere være behov for ekspertise inden for statistisk usikkerhedsanalyse og risikovurdering.

Risici/hvad kan gå galt?

Der er en risiko for, at institutionelle hensyn til intellektuel ejendomsret samt modvillighed til at frigøre data fra producenterne side kan besværliggøre eller forsinke den fremtidige brug af data. En forventningsafstemning mellem dataproducenter og potentielle aftagere i forhold til, hvordan data bedst fortolkes og anvendes på forskellige skalaer, er ydermere afgørende. Det drejer sig især om fortolkningen af usikkerheder i vejrudsigterne. Usikkerhederne kan også vise sig at være så store, at gevinsten i nogle af de potentielle anvendelsesområder er lille.

Mulige partnere

Inden for forskningsverdenen er oplagte partnere DTU Miljø, DTU Compute og Aalborg Universitet, som alle har tidligere erfaringer med denne type data. DMI vil være hovedleverandør af data fra numeriske vejrmødelles i Danmark, mens der findes utallige nationale institutter og flere regionale centre rundt omkring i verden. Der er flere danske rådgivende ingeniørvirksomheder, der arbejder målrettet med vejrdata, og som vil kunne være interesseret i denne type prognoser. I øjeblikket arbejder både Krüger A/S og DHI på at udvikle produkter, der kan håndtere data fra numeriske vejrmødelles. Endeligt kommer diverse forsyningsselskaber til at være aftagere af de nye teknologier.

Kloaksystemet skal have en digital tvilling

Af professor Erik Damgaard Christensen
(edch@mek.dtu.dk), DTU Mekanik



Problem

En meget stor del af den danske infrastruktur ligger under vores fødder som en del af vandforsyningsnettet og afløbsnettet. Det udgør en væsentlig del af et lands infrastruktur, hvilket ikke gælder blot for Danmark men generelt for de fleste bysamfund. I ethvert kloaksystem indgår der mange typer af hydrauliske bygværker. Det kan være pumpestationer og overløbsystemer, der er designet til overløb og udledning af overskydende spildevand direkte til nærliggende vandløb, floder eller andre vandlegemer i forbindelse med f.eks. voldsomme regnhændelser eller oversvømmelser. Ved fællessystemer for regnvand og spildevand kaldes overløbet for CSO (Combined Sewer Overflow). Vandet herfra indeholder ikke kun regnvand, men også ubehandlet menneskeligt og industrielt affald og giftige materialer. Unødige overløb kan resultere i både oversvømmelser med materielle skader, men også forurening af f.eks. nære kystmiljøer.

De senere år har vi set gentagne eksempler på oversvømmelser i hovedstadsområdet. De typiske billeder er oversvømmelser af Lyngbyvejen og forurening af strande som f.eks. Svanemøllebugten. For at få det bedst mulige fungerende afløbssystem skal afløbssystemet optimeres til de nutidige og fremtidige udfordringer, der både skyldes kraftigere regnhændelser, øget urbanisering og en øget bevidsthed omkring det ydre miljø i befolkningen. Vi står foran og er til dels allerede begyndt på omfattende renoveringer af kloaksystemerne i Danmark.

Vandteknologisk løsning

Til at optimere udformningen/designet af bygningsværker skal der anvendes en metode som er meget kendt inden for andre felter, Computational Fluid Dynamics (CFD). Beregningsmetoden baserer sig på de helt grundlæggende strømningstiligninger og kan bl.a. håndtere detaljeret beregning af strømningsfelter, turbulens, frie overflader, strømning over overløb, laste på konstruktioner mv. CFD er blevet benyttet inden for forskellige områder som f.eks. aerodynamik, dieselmotorer, og i de senere år også bølgepåvirkninger af kystkonstruktioner, og også i mindre grad hydrauliske konstruktioner. Ideen er at udnytte metoden til at optimere systemer og konstruktioner. Dette betyder at CFD vil være basisværktøjet til at gennemregne scenarier systematisk ved hjælp af optimeringsprocedurer. Det kan f.eks. være ved udformning af bygværker, hvor den udformning, der bedst responderer til en række parametre, skal findes.

De parametre som udformningen skal optimeres imod kan være økonomiske, sikkerhedsmæssige og miljømæssige hensyn. Herved fås det mest optimerede bygværk, der derefter skal være en del af et større afløbssystem. Resultaterne bør også indgå i større modelkomplekser f.eks. i parameteriseret form. Herved etableres den "digitale tvilling" af afløbsnettet som sammen med relevante målinger vil udgøre et system, som kan detektere forandringer i afløbsnettet, hvilket bl.a. kan være indikation af snarligt sammembrud eller begyndende tilstopning. Endvidere kan avancerede optimeringsmetoder anvendes til at re-designe konstruktioner i sig selv eller håndteringen af konstruktioner, når udefrakommende betingelser ændrer sig.

Værdipotentiale

Den investering, der skal gennemføres i forbindelse med reovering af ældre afløbssystemer og tilpasning til klimatilpasning, er blevet estimeret til omegnen af 100 mia. kr. blot i Danmark. Ud over denne direkte omkostning vil afledte omkostninger kunne reduceres ved færre oversvømmelser. Så blot få procents forbedring vil have en meget stor økonomisk betydning.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

For at udvikle metoderne kræves forskning inden for anvendelse af CFD til optimering af hydrauliske konstruktioner. Det er specielt anvendelsen af metoderne til hydrauliske bygværker og implementeringen i integrerede modeller (f.eks. via parameterisering) der er nødvendig.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

DTU Mekanik har en stærk baggrund i CFD og optimeringsmetoder. CFD og optimeringsmetoder vil være grundlaget for de udviklede metoder.

DTU Miljø har en dyb forståelse af afløbsprocesser og klimatilpasning. Disse kompetencer udnyttes, når de avancerede metoder skal indbygget i større integrerede modeller,

DTU Compute kan sikre de matematiske værktøjer for validering og gennemarbejdning af store datamængder fra målinger og beregninger.

De udviklede metoder kan også finde anvendelse inden for beslægtede områder som f.eks. indtags- og udløbsbygværker til afsaltningsanlæg og kraftværker i kystnære miljøer.

Risici/hvad kan gå galt?

- At den forventede gevinst viser sig at være af mindre betydning, hvilket kan være svært at se, før man har gjort sig nogle erfaringer fra pilotprojekter.
- At IPR (Intellectual Property Right) gør, at udviklere ikke får mulighed for at optimere på leverandørers bygværker.
- At det kan være svært at samle partnere omkring et større integreret forløb, hvor resultaterne fra metoderne skal implementeres.

Mulige partnere

Udover de allerede nævnte institutter på DTU er bl.a. HOFOR, DHI og kommuner mulige partnere.

Pålidelige realtidsmodeller af vandsystemet

Af lektor Morten Borup (morb@env.dtu.dk), DTU Miljø



Problem

Målinger i urbane vandsystemer er ikke repræsentative for systemet og fejlbehæftede, hvilket gør dem svære at bruge. Desuden er målnetværket dyrt at implementere og vedligeholde i forhold til udbyttet heraf. Vores systemer er typisk udstyret med spredte målere, men disse giver kun et billede for specifikke punkter. For at vi automatisk kan bruge informationen i målingerne til styring af systemerne og integration med f.eks. energisystemer, skal informationen fra målingerne kunne integreres i realtid i de hydrauliske systemmodeller, således at man kan bruge disse til at forstå hele systemets tilstand og beregne hvordan det vil reagere på diverse påvirkninger. Dette gøres ikke i dag hvilket vil hæmme udbredelsen af smart realtidsteknologi i vandsektoren.

Vandteknologisk løsning

Vi har i årtier vidst hvordan vi modeller bevægelsen af vand i de urbane vandsystemer og gør det i stor stil til planlægningsformål med de detaljerede planlægningsmodeller, der integrerer store dele af vores procesforståelse med viden om systemets arkitektur. På samme måde implementerer meteorologer deres procesforståelse i vejrmodeller, der så kan bruges til at forudsige vejret ganske nøjagtigt flere dage ud i fremtiden. Dette kan kun lade sig gøre fordi de bruger dataassimilering til løbende at integrere viden fra diverse målinger ind i modellen, således at den kommer til at afspejle virkelighed før de laver deres forecast. Den tilsvarende udvikling er nødvendig for vandsektoren. DTU har vist, at det er muligt, men derfra til at gøre det operationelt er der endnu et stykke vej.

Værdipotentiale

Ved at bruge moderne dataassimileringsmetoder vil det være muligt at have systemmodeller i realtid, der hele tiden viser modellens opfattelse af virkeligheden overalt i systemet. Dette har mange fordele:

- Realtidsoverblik over fordelingen af vand/tryk og vandkvalitetsparametre i systemet.
- Brugbare forecasts der muliggør detaljeret styring.
- Identifikation af fejlbehæftede målere: Når tilstrækkelig mange målinger integreres i modellen, gør procesforståelsen indbygget heri at man med stor sikkerhed kan identificere fejlmålinger.
- Identifikation af fejl i systemet: Hvis målinger og procesbeskrivelser ikke kan tvinges til at passe sammen, er det tegn på en ændring i systemets dynamik eller input - såsom et rør der er ved at stoppe til eller pludselig ændret vandføring i afløbssystemet pga. sprunget vandværk i vandforsyningsnetværket.
- Anonymisering: Ved at integrere måledatene i modellen kan man vælge at dele modelresultater med eksterne aktører i stedet for måledata, hvorved man undgår at dele personfølsomme data om f.eks. enkeltborgers vandforbrug.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Den eneste betingelse for succes er at data kan tilgås i realtid. For at det fulde værdipotentiale kan opfyldes, vil det være nødvendigt med en kritisk mængde af sensorer, men selv med få sensorer vil det være muligt at opnå meget.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Forsyningsselskaberne kan se frem til, at de får et bedre overblik over systemernes tilstand, og at det bliver nemmere for dem at vedligeholde deres målnetværk. Målerproducenter har en interesse i projektet, da forsyningsselskabernes villighed til at investere i målere vil være meget større, når de kan se, at de får bedre viden om systemet ud af investeringen. Aktuatorproducenter kan forvente, at forsyningsselskaberne bliver mere interesserede i dynamisk at styre og optimere driften af deres systemer, hvilket vil føre til øget salg af pumper og automatiske ventiler m.m. Derfor er det oplagt, at disse aktører er interesserede i projektet. Derudover vil virksomheder og forskere, der arbejder med energisystemer, være interesserede i projektet med det formål at kunne integrere vandsystemerne i overordnet planlægning og samstyring. Det vil derudover blive nemmere at få værdi ud af data fra nye typer sensorer, så som usikre vandkvalitetsmålinger, da dataassimilering i det store hele baserer sig på beregnede og forventede korrelationer. Dette gør at f.eks. farven af spildevand et sted i afløbssystemet, der til en hvis grad er korreleret til fortyndingsgraden af spildevandet, automatisk kommer til at forbedre modellens estimat af vandforbruget opstrøms i systemet. På den måde åbnes der op for tværfagligt samarbejde med alle, der kan lave sensorer til måling hvad af som helst, som vi kan inkludere i systemmodellerne.

Risici/hvad kan gå galt?

Der er en risiko for at det er sværere end antaget at udvikle tuningsalgoritmer, der gør dataassimileringen beregningseffektiv. Det værste, der kan ske ved dette, er imidlertid, at man må bruge mere computerkraft til beregningerne end strengt nødvendigt.

Mulige partnere

DTU Miljø: Har som de eneste herhjemme ekspertise i at bruge dataassimilering for urbane vandsystemsmodeller.

DHI: Udvikler af en af verdens førende softwareplatforme til modellering af de urbane vandsystemer.

NERSC instituttet, Norge: Ekspertise i data assimilering for en bred palette af systemer, så som oliereservoirer, vejr, klima og havstrømme.

Diverse udviklere af sensorteknologi.

En ny generation af optiske sensorer

Af forsker Jakob Janting (jajant@fotonik.dtu.dk, DTU Fotonik og lektor Luca Vezaro (luve@env.dtu.dk), DTU Miljø



Sensor med skidt fra spildevand
Foto: Ravi Kumar Chhetri, DTU Miljø

Problem

For at sikre en mere miljøvenlig drift af vores afløbssystemer er der behov for en konstant monitorering af vandkvalitet på tværs af disse komplekse underjordiske infrastrukturer. Nuværende sensorer er ikke robuste nok, de er svære at installere, og de kræver en konstant vedligeholdelse. Desuden kan kun et begrænset antal af forureningsstoffer måles med den påkrævede høje tidsopløsning. Der er derfor behov for bedre kemiske sensorer, der kan måle en bredere række af miljørelevante parametre med en tilstrækkelig nøjagtighed i spildevand på en direkte eller indirekte måde (dvs. ved at måle direkte i vand eller ved at estimere stofindhold i spildevand ved at måle i luftfase).

Vandteknologisk løsning

Optiske sensorer byder på mulighed for at måle på en række stoffer berøringsfrit og er dermed mere robuste end eksisterende sensorer, der skal være i kontakt med vandet for at måle. Der findes en række berøringsfri optiske kemiske sensorer på markedet, som allerede vil kunne benyttes, men de er dyre og ikke følsomme nok, og de er primært anvendt i et kontrolleret/beskyttet miljø (f.eks. laboratorier). Endvidere løser de ikke det grundlæggende problem med at få indsigt i repræsentative målesteder på tværs af afløbssystemet, dvs. i et barskt miljø, hvor det ikke er nemt til at installere og vedligeholde sensorerne.

Optiske fibre byder generelt på uovertrufne alsidige muligheder for online bio/kemiske målinger flere steder samtidigt over stor afstand kombineret med lille størrelse, mulighed for høj berøringsfri pålidelighed og lav pris.

Med kemiske Polymer Optisk Fiber (POF) sensorer vil det således i dette projekt blive muligt online at måle på vandets indholdsstoffer med begrænsede ressourcer (både med hensyn til installation og vedligeholdelse). Som noget helt nyt tillader målekonceptet bag POF installation af flere sensorer over lange afstande i afløbssystemer. Dette vil resultere i en forøget mængde af informationer om vandkvalitet fra et bestemt område, som kan bruges til bl.a. en bedre validering af sensormålinger og en forbedret nøjagtighed. Disse nye målinger vil give et bedre overblik over forureningsdynamikker på tværs af afløbssystemer, en mere præcis vurdering af miljøpåvirkning af udledning fra urbane områder til det naturlige vandmiljø, og de vil danne baggrund for forbedring og en bedre drift af disse infrastrukturer.

Sensorerne vil i dette projekt tage udgangspunkt i POFs og ikke glas-optiske fibre, idet sensorkemikalier er nemmere at integrere robust med POFs, og denne fibertype byder samtidig på nye muligheder for meget høj følsomhed i ppb-området, hvilket potentielt også gør dem interessante for kemisk monitorering af andre typer vand, som er mindre krævende mht. robusthed end spildevand, som f.eks. drikkevand.

Værdipotentiale

En ny generation af vandkvalitetssensorer, som er billige og robuste nok til bredt at muliggøre monitorering af afløbssystemer, vil skabe nye muligheder for drift af spildevands- og afløbssystemer i byområder. Nye styringsstrategier kan implementeres, og de vil resultere i længere holdbarhed af ledningsnettene, reduktion af forurening fra urbane områder, bedre økologisk tilstand i vandmiljøet og en øget rekreativ og æstetisk værdi af vandområder i vores byer.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Sensorerne vil kræve forskning indenfor optik, POF fremstilling, plastopløsning, optisk fiber Bragg gitre, integration af sensorkemikalier med plast og kemikaliefremstilling til bio/kemiske sensorer.

Efter måleprincippet bliver demonstreret for en række miljørelevante parametre, skal anvendelse i felten vurderes med hensyn til følsomhed, robusthed mv.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

DTU Miljø har en dybt forståelse af processer og vandkvalitetsparameter, der skal monitoreres for at sikre et bedre vandmiljø. De har også et overblik over, hvor og hvordan de nye sensorer kan anvendes i forskellige elementer af afløbs- og spildevandssystemer.

DTU Fotonik og SHUTE Sensing Solutions ved, hvordan de nye sensorer skal bygges.

DTU Mekanik og DTU Nanotech vil kunne bidrage med viden om fiber indkapsling, anti-fouling overflader mv., der kan gøre fiber sensorerne ekstra robuste.

DTU Compute kan sikre de matematiske værktøj for validering og gennemarbejdning af den store mængde målinger, der bliver genereret af POF-sensorer, efter de er blevet installeret på tværs af afløbssystemer.

Videnplatformen om udvikling og fremstilling af kemiske POF sensorer, som dette projekt genererer, kan i nye projekter genbruges og videreudvikles til hurtigere fremstilling af mange andre internationalt vigtige POF-kemiske sensortyper til overvågning i industriel produktion, konstruktioner, fly, bioteknologi (bioreaktorer), humanmedicin og diagnostik.

Risici/hvad kan gå galt?

Der vil være risiko for at sensorerne ikke er følsomme, robuste og billige nok, samt at de er for svære at installere/vedligeholde og ikke kan sende målinger med en tilstrækkelig tidsopløsning.

Mulige partnere

Projektet vil foregå i tæt samarbejde mellem forskningsmiljøerne hos DTU Miljø, Fotonik, Mekanik, Nanotech og aftagerene som i første omgang vil være SHUTE Sensing Solutions og sidste ende forsyningselskaber med ejerskab af vandværker, ledningsnet, rensningsanlæg mv.

Kommunikationsløsninger til vandteknologisektoren

Af lektor Sarah Renée Ruepp (srru@fotonik.dtu.dk), DTU Fotonik



Problem

Forsyningselskaber ønsker i stigende grad at kunne gøre brug af sensorer til at kunne overvåge kvaliteten og mængden af vand. En af de store udfordringer ved at lave målinger på og i vand er at opsamle og videre-sende disse måledata. Problemet er nemlig, at sensorer til vand ofte vil være svært tilgængelige, dvs. placeret i vandrør, kloakskakte, omkring spildevandstanke, etc. Traditionelle trådløse teknologier som f.eks. Wifi egner sig dårlig til områder med meget vand, idet Wifi-frekvenser absorberes i vand og kun gennemtrænger bygninger/beton i begrænset omfang. Ligeledes vil løsninger baseret på mobiltelefoni typisk være begrænset af meget dårlig eller slet ingen dækning i kældre, underjordiske vandledninger, kloaksystemer, eller lignende.

Vandteknologisk løsning

For at kunne tilvejebringe en kontinuerlig, pålidelig, realtidsforbindelse mellem sensorer i og omkring vand, er det særdeles interessant at kigge på de nye Low Power WAN teknologier som NB-IoT, LoRa og Sigfox. Teknologierne muliggør såkaldt deep indoor penetration, dvs. at man kan kommunikere med devices (sensorer) som er lokaliseret dybt inde i bygninger, kælderskakte, vandledninger, kloakker, osv.

Projektets løsningside er derfor at udstyre sensorer til vandindustrien med LP-WAN kommunikationsteknologi for at sikre kommunikationsvejen mellem de udviklede optiske sensorer og den dataanalyse, der skal foretages.

Værdipotential

Ved at kunne placere sensorer i alle dele af en bys vandkredsløb og trådløst aflæse sensorenes målinger, muliggøres en detaljeret overvågning af de parametre, der ønskes, samt formindskede omkostninger til personale, der foretager målinger manuelt. Samtidig understøttes udvikling af smarte byer og Internet of Things.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Projektet vil kræve forskning indenfor kommunikationsteknologi, elektronik og robust produktudvikling. I særdeleshed kræves der større viden inden for udbredelse af LP-WAN trådløse signaler i deep indoor situationer. Ligeledes er der brug for forskning indenfor nye kommunikationsteknologier og frekvensområder, der kan lede til nye muligheder. Endeligt er det nødvendigt med netværksmodellering og skaleringsstudier. Kommunikationsmodul skal kunne fungere med meget lang batterilevetid ved udnyttelse af Low Power teknologier.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

DTU Fotonik har dybdegående kendskab til kommunikationsløsninger, bl.a. LoRa, SigFox, NB-IoT.

DTU Miljø er eksperter indenfor vandforsyning, vandbehandling og vandanalyse.

DTU Elektro kan bidrage med elektronikudvikling og batterioptimering.

DTU Compute kan behandle de store mængder sensordata, der fjernaflæses.

Risici/hvad kan gå galt?

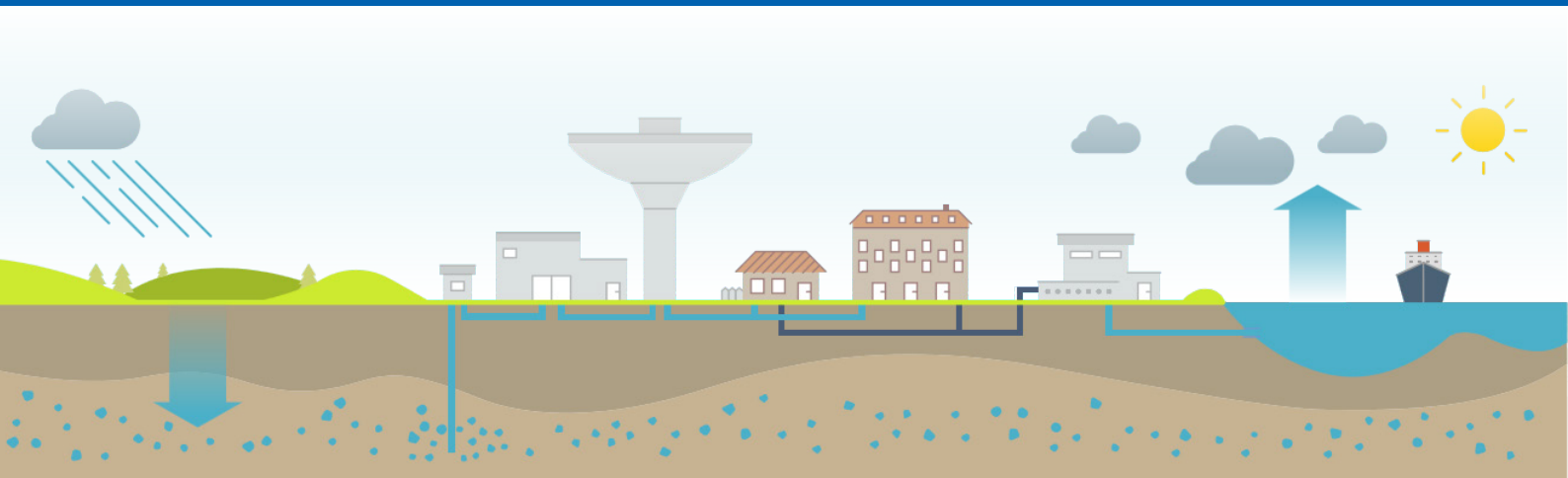
Det kritiske punkt for LP WAN teknologier er dækning. Der er fra udbydernes side kontinuerlig fokus på at forbedre teknologiernes udbredelse. Dette er også afgørende for, at kommunikationsmodul kan indpakkes i vandtætte beholdere, som ikke forringer dets antenneforhold.

Mulige partnere

Projektet vil foregå i samarbejde mellem forskningsmiljøerne på DTU Fotonik, DTU Miljø, DTU Elektro og DTU Compute samt vandforsyningselskaber, spildevandsbehandlingselskaber og udbydere af Smarte byer og bygninger.

Systems Engineering og digital systemintegration

Af professor Krist V. Gernaey (kvg@kt.dtu.dk), DTU Kemiteknik



Digital systemintegration, dvs. kobling af modeller af enkelte systemer (fx kloaksystem, drikkevandsproduktionsanlæg, rensningsanlæg mv.), muliggør udnyttelse af systems engineering metoder til at identificere potentielle driftsforbedringer.

Problem

Vores viden om processer til indsamling, transport og behandling af vand og spildevand er i stigende grad lagret i matematiske modeller af de enkelte systemer, fx et kloaksystem, et drikkevandsproduktionsanlæg eller et rensningsanlæg. Adgang til en voksende mængde af data har stor betydning, fordi modellerne kan kalibreres på basis af de indsamlede data og efter kalibrering kan give mere nøjagtige prædiktioner. Den stigende mængde tilgængelige data giver desværre også store udfordringer. Det skyldes bl.a., at kvaliteten af de tilgængelige data skal undersøges, før de kan bruges. Af den grund bliver den nødvendige modelkalibrering ofte oplevet som "bøvlet".

I praksis er systemerne koblet sammen. Det betyder, at en ændring i et af systemerne potentielt kan forstyrre driften af et eller flere andre systemer. Det giver derfor også mening at koble systemerne sammen digitalt for derved at muliggøre model-baserede undersøgelser af potentielt gavnlige effekter af systemintegration. Der er to grunde til, at det i praksis er en udfordring at koble matematiske modeller af de enkelte systemer sammen. Den ene er, at det forudsætter en tværfaglig tilgang. Den anden er, at modeller af de enkelte systemer er lagret i forskellige softwarepakker, der typisk ikke kan kommunikere med hinanden.

Vandteknologisk løsning

Det er vigtigt, at tilgængelige data udnyttes ifm. modelkalibrering. Den praktiske nytteværdi af matematiske modeller forbedres væsentligt, når modellerne er blevet kalibreret på basis af tilgængelige kvalitetssikrede data. Men de stigende mængder data udgør en udfordring. Der er derfor behov for forskning i metoder, der tillader automatisk kvalitetssikring af indsamlede data og automatisk kalibrering af matematiske modeller. Den type løsninger vil åbne op for en mere udbredt brug af matematiske modeller til driftsoptimering.

Det er ligeledes vigtigt, at modellerne af systemerne i stigende grad integreres for at tillade fuld udnyttelse af systems engineering værktøjer. Det skal ske mhp. at finde frem til den mest effektive drift af det integrerede system. Dette kan man fx gøre vha. scenarie analyse og usikkerheds- og sensitivitsanalyse, hvor en stigende mængde af tilgængelige data kan bidrage til en mere nøjagtig mapping af de vigtigste kilder til variationer og fejl i systemerne. Der er derfor behov for forskning og udvikling af brugervenlige interfaces mellem de forskellige systemer, og der bør udvikles validerede modeller af de enkelte systemer, der er frit tilgængelige for alle brugere (open source).

Værdipotentiale

Fejlsценарier kan simuleres vha. integrerede modeller. Derved kan man vha. digitalisering udvikle strategier, der kan hjælpe til at minimere de praktiske effekter af systemfejl, uden at systemet i den virkelige verden bliver forstyrret. Nye og alternative driftsscenarier kan også simuleres. Derved kan man f.eks. undersøge potentielle gevinster, der kan opnås ved at indbygge teknologier til energi- og ressourcegenvinding i eksisterende systemer, uden at det kræver dyre og tidskrævende eksperimentelle forsøg. Kun de mest lovende scenarier, der findes via simulering, kan bagefter undersøges, fx i pilotskala forsøg. Dermed opnår man en mere målrettet indsats af det eksperimentelle arbejde.

Betingelser for succes (herunder privacy/etik hensyn)

Projektet forudsætter adgang til store mængder data fx i et samarbejde med en kommune og et forsyningsselskab. Tværfaglig samarbejde er nødvendigt, såfremt projektet skal skabe værdi.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Der er brug for deltagelse af flere faggrupper i projektet. Matematiske modeller udvikles løbende som nye teknologier til behandling af vand eller spildevand bliver introduceret. Men der kræves også kompetencer inden for datalogi og programmering, systems engineering og multivariat statistik i kombination med en detaljeret forståelse af systemer til drikkevandsgenvinding, kloaksystemer, rensningsanlæg osv.

Risici/hvad kan gå galt?

Der er en reel risiko for, at kvaliteten af de tilgængelige data ikke er god nok til at tillade automatisk modelkalibrering.

Mulige partnere

Forsyningsselskaber

Kommuner

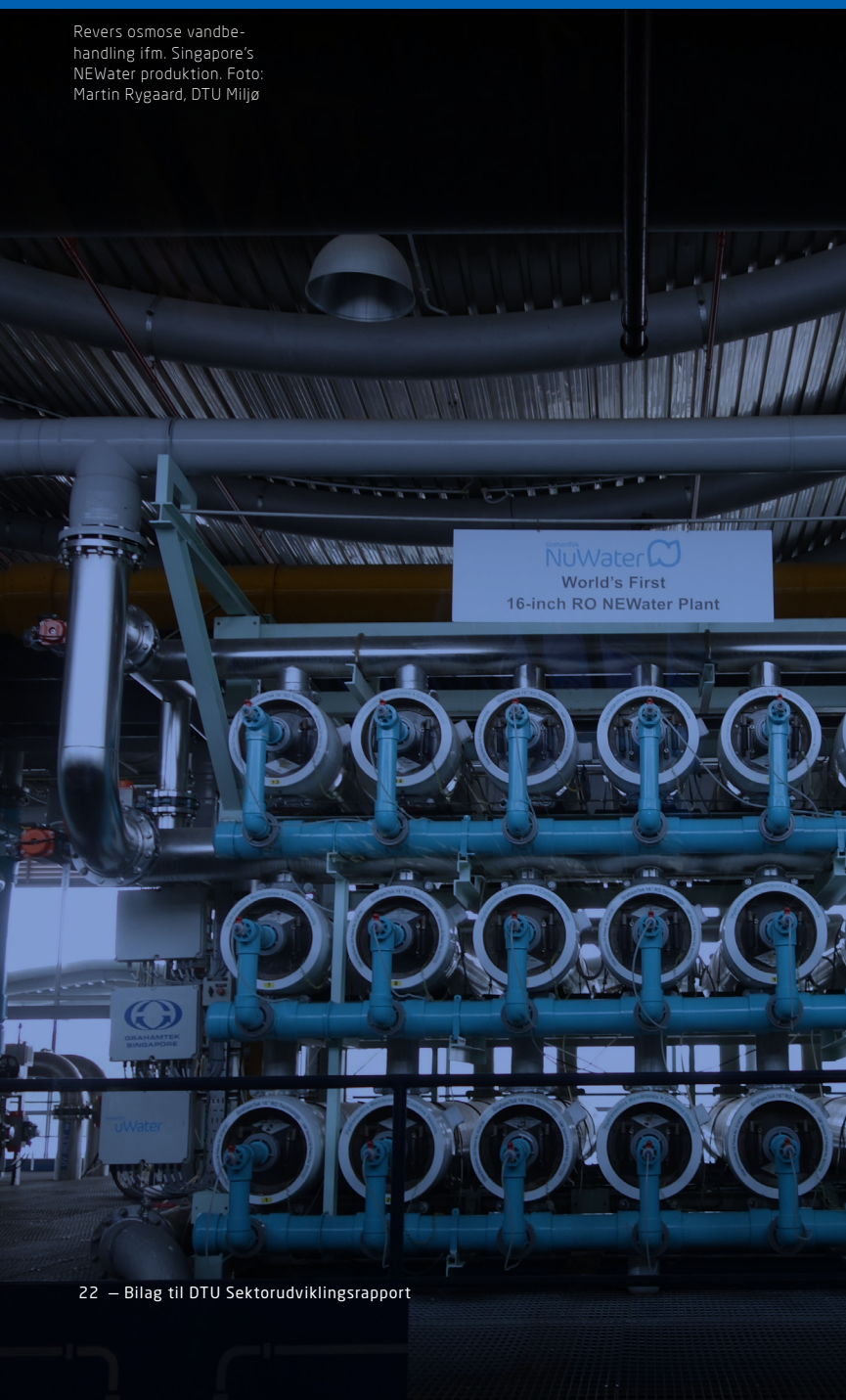
Rådgivende ingeniørfirmaer

Vidensinstitutioner: Der er brug for et bredt spektrum af samarbejdspartnere, bl.a. fra DTU Kemiteknik, DTU Compute og DTU Miljø.

Biomimetisk vandbehandling og ressourcegenindvinding

Af professor Claus Hélix-Nielsen (clhe@env.dtu.dk), DTU Miljø

Revers osmose vandbehandling ifm. Singapore's NEWater produktion. Foto: Martin Rygaard, DTU Miljø



Biomimetiske teknologier kan være fremtidens bud på effektiv og adaptiv vandrensning og ressourcegenindvinding. Ved at kombinere avanceret molekylærdynamiske og kvantekemiske beregninger med fundamental materialevidenskab og proteinproduktion kan nye membranteknologier og enzym-baseret binding og/eller nedbrydning udvikles til kombineret vandbehandling og genindvinding af ressourcer.

Problem

I udviklingslande såvel som i industrialiserede nationer er mængden af forurenende stoffer fra menneskelig aktivitet stigende i vandmiljøet. Den øgede bekymring for folkesundheden og miljøet kræver øget genbrug af industrielt vand, og rensning af vand. Dette udmønter sig i et behov for bæredygtige, effektive, billige og robuste vandbehandlingsmetoder. Hertil kommer, at efterspørgslen på bæredygtige genindvindingsmetoder, der opererer på vandige kilder, herunder spildevandsstrømme med lave stofkoncentrationer, er stigende på grund af stigende ressourceforbrug.

Vandteknologiske løsninger

Direkte osmose i form af vandekstraktion drevet af en osmotisk trykforskel over en membran som er permeabel for vand og ikke andet, optræder mange steder i naturen og kan eksemplificeres ved transportmekanismer i nyren hvor specialiserede membranproteiner - aquaporiner - formidler vandtransport og dermed kontrollerer koncentrationen af den udskilte urin. Direkte osmose er også blevet udviklet i form af membranteknologi - herunder i form af membraner som direkte benytter aquaporinproteiner som det centrale

element. I modsætning til omvendt osmose, som kræver et hydraulisk tryk, så har direkte osmose membraner en mindre tendens til begroning. De kan dermed anvendes, hvor de indkommende vandige strømme (f.eks. industrispildevand) har et højt indhold af opløste stoffer, som ellers ville forhindre en membranbaseret separation.

Naturen er også rig på eksempler, hvor stoffer specifikt bindes eller nedbrydes af proteiner/enzymer. Ved at udvælge sådanne stoffer kan vi udvikle en helt ny teknologi baseret på biologisk nedbrydelige enzymatiske scavengers - eller 'skraldemænd'. Disse kan benyttes i en række anvendelser herunder nedbrydning af sprøjtemiddelrester i grundvandet, nedbrydning af lugt- og smagsstoffer i vandsystemer og akvakultur, reduktion af fosfat og dermed reduktion af biofilm i vandbehandlingssystemer, og genindvinding af fosfat som er en svindende uerstattelig ressource.

Her kan enzymerne designes ved først at analysere naturlige proteiner for strukturelle motiver involveret i binding/nedbrydning. Disse motiver kan så optimeres med kvantemekaniske computerberegninger. Dernæst kan disse enzymer produceres og endeligt testes i vandforsyning, akvakultursystemer og vandrensning. Enzymerne kan eventuelt indgå sammen med osmotiske membraner i integrerede løsninger for effektiv bæredygtig vand- og ressource-genindvinding.

Værdipotentiale

Det stigende behov for vandgenanvendelse og ressource genindvinding nødvendiggør, at vi udvikler og implementerer bæredygtige teknologier til at imødekomme dette behov. Samtidigt er de stadig flere og forskellige typer af forureninger en udfordring for vandforsyningerne. Her kan som eksempel specielt nævnes behovet for at rense vand for farmaceutiske stoffer, som optræder i spildevand. Det er tankevækkende, at kun ca. 4% af disse optræder i hospitalsspildevand, mens de resterende 96% skal behandles i de kommunale spildevandsanlæg. Nogle af disse stoffer er svært nedbrydelige - og her kan specialiserede (designede) enzymer være vejen frem. Som en sidegevinst af enzymforskningen i spildevandsregi, vil vi få større indsigt i hvorledes biologien håndterer stofnedbrydning, hvilket kan bringe værdi til det medicinske arbejde med at forstå tarmfloraens betydning for menneskets helbred - et forskningsområde som oplever en kraftig vækst og interesse i disse år. Med 1400 renseanlæg, som i det daglige sørger for at rense spildevandet fra husholdninger, virksomheder og institutioner, er der potentielt et stort dansk marked for at teste og eventuelt implementere teknologien - forudsat den er skalerbar og kosteffektiv.

Betingelser for succes (herunder privacy/etik hensyn)

Det er naturligvis en forudsætning, at såvel myndigheder som forbrugere accepterer den grundlæggende præmis om at genbruge vand måske endog direkte fra spildevand til drikkevand jvnf. Singapore's NEWater koncept - eller som minimum til industrielt brug. Enzymtilsætning kan også i sig selv møde forbrugermistillid - specielt hvis slutproduktet er drikkevand eller eksempelvis vand til fødevarerbehandling.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

En biomimetisk tilgang indebærer i sagens natur en flerfaglighed af metoder, hvor koncepter fra fysik, kemi og matematisk modellering forenes med biologisk viden og ingeniørmæssig tilgang.

Risici/hvad kan gå galt?

Osmotiske membraner er for nyligt blevet kommercielt tilgængelige, mens enzymteknologien endnu er på det basale forskningsniveau. Der er derfor i sagens natur stadig en del teknologiske udfordringer, som skal adresseres. Udover den ovennævnte potentielle forbrugermistillid, er den åbenbare risiko, at specielt nedbrydning/indfangning ikke er effektiv nok på storskala, eller at det simpelthen tager for lang tid at udvikle og implementere teknologierne inden for en overskuelig årrække.

Mulige partnere

Spildevandsbehandlere samt teknologileverandører inden for området, som er udfordrede af erkendte problematiske stoffer, vil være oplagte interessenter. Da projektet har en betydelig grundvidenskabelig karakter med mange facetter, vil samarbejde med danske vidensinstitutioner være yderst relevant. Disse kunne, foruden DTU Miljø, inkludere DTU Compute, DTU Bioengineering, DTU Chemical Engineering, DTU Aqua samt DTU Energy.

Ny bioteknologi til et nyt paradigme for spildevandsbehandling

Af adjunkt Borja Valverde-Pérez (bvape@env.dtu.dk) og professor Barth F. Smets (bfsm@env.dtu.dk), DTU Miljø



Renseanlæg ved København med vindmøller i baggrunden. Kilde: State of Green

Problem

Konceptet spildevand er dødt. Det nye paradigme i forvaltningen af "brugt vand" er drevet af ambitionen om at reducere vores afhængighed af energi og ressourcer og vores CO₂-fodaftryk og har til formål at se spildevand som en ressourcerig strøm, hvorfra værdifulde ressourcer kan høstes - og ikke kun en affaldsstrøm der skal behandles. Udover det store potentiale er vi i stigende grad opmærksomme på, at vores "brugte vand" indeholder et stadigt voksende antal uønskede stoffer, der kræver omhyggelig håndtering, før vandet vender tilbage til miljøet og andre ressourcer finder vej til markedet gennem biobaserede produkter. Tilstedeværelsen af organiske sporstoffer og antimikrobielle resistensgener og bakterier er hér vigtige problemstillinger. Kreative nye teknologiske løsninger er nødvendige for at håndtere alle disse krav på en bæredygtig måde, og mikrobielle bioteknologier er en del af løsningen.

Vandteknologisk løsning

Vi foreslår at udvikle en integreret bioteknologidrevet restbehandlingsproces, der parallelt opfylder følgende mål: genvinding af restkulstof ved omdannelse til metan eller organiske syrer; opkoncentrering af resterende kulstof, kvælstof og fosfor til mikrobielle proteiner; co-metabolær biologisk nedbrydning af syntetiske organiske forbindelser (fx lægemidler og mikroplast); reduktion af udslip af lattergas; reduktion af tilstedeværelsen af antimikrobielle resistensgener (ARG); og reduktion af energiforbrug ved hjælp af membranbaserede beluftningssystemer. Den integrerede proces er bygget på elementer, som er blevet testet isoleret, men som aldrig før er kombineret i et samlet processkema. Eksempler på disse teknologier er anaerob behandling i membranbioreaktorer, anaerob nedbrydning kombineret med ammoniakstraktion via bioelektrokemiske systemer, membranbeluftede reaktorer til effektiv og sikker gasoverførsel i metanotrofe kulturer (til mikrobiel proteinproduktion), parallel nitrifikation-denitrifikation kombineret med forbedret energigenvinding eller biofilmsystemer til co-metabolær fjernelse af kemiske sporstoffer.

Værdipotentiale

Nutidens renseanlæg i den industrialiserede verden er tæt på at overskride deres tekniske levetid. Der er således mulighed for implementere helt nye teknologiske løsninger i løbet af de næste årtier. Rådgivende ingeniørvirksomheder og teknologivirksomheder i Danmark vil have gode muligheder for at udnytte mulighederne på området og blive mere konkurrencedygtige på verdensplan.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Effektiv procesintegration er nøglen til succes. Avancerede processer til fjernelse af forurenende stoffer (fx ved avanceret oxidation), kulstof- eller næringsstofgenvinding (fx ved membranekstraktion) og produktionsprocesser (fx fermenteringsprocesser) vil blive integreret med traditionelle vandbehandlingsmetoder. Implementering i stor skala af nye teknologier til fjernelse af organiske mikroforureningsstoffer og ARG samt nye styringsstrategier til minimering af N₂O-emissioner vil kræve nye regler med udlednings- og emissionsgrænseværdier, der ikke eksisterer i dag. Ellers vil forsyningselskaberne ikke mærke behovet for at målrette deres fjernelse mod disse stofgrupper.

Nye avancerede processer eller biobaserede produkter skal gennemgå livscyklusanalyser, så det er demonstreret, at løsningerne er bedre og mere bæredygtige end processen eller produktet, som de skal erstatte. Biobaserede produkter baseret på ressourcer genvundet fra 'brugt vand' skal opfylde sædvanlige kvalitetsstandarder, så de kan erstatte første generationsprodukter på markedet. Samfundet og forbrugerne skal endvidere gøres opmærksom på de nye produkters miljømæssige fordele (f.eks. ved brug af miljømærker som for økologiske produkter) for at fremme deres accept på markedet.

Tværfagligt og tværsektorielt perspektiv

Nye vandrensingsprocesser vil kræve interaktion mellem flere discipliner, herunder traditionel vandbehandling, miljømikrobiologi, procesmodellering og optimering, processtyring og overvågning, fermentering, masseoverførsel og separationsprocesser, samt risikoanalyse i fødevarer-, foder- og kemiske industrier samt akvakultur og landbrug. En vellykket udvikling og implementering af de nye teknologier kræver samarbejde på tværs af forskellige sektorer, herunder offentlige myndigheder, forsyningsvirksomheder, forskningscentre, private teknologiudviklere og industrier, der er villige til at anvende biobaserede produkter i deres egen produktudvikling.

Risici/hvad kan gå galt?

De vigtigste risici er relateret til lovgivningsmæssige aspekter - avancerede tekniske løsninger udvikles for at imødekomme krav om bedre udledningskvalitet og færre emissioner samt for at opnå højværdiprodukter. Lovgivningen forhindrer imidlertid at indføre disse produkter på markedet (på grund af manglende standarder for nye biobaserede produkter), eller lovgivningen regulerer ikke forurenende stoffer, vi sigter mod at undgå (f.eks. farlige mikroforureningsstoffer eller lattergas emissioner). Uden regulering er drivkraften for at gennemføre disse nye teknologier begrænset.

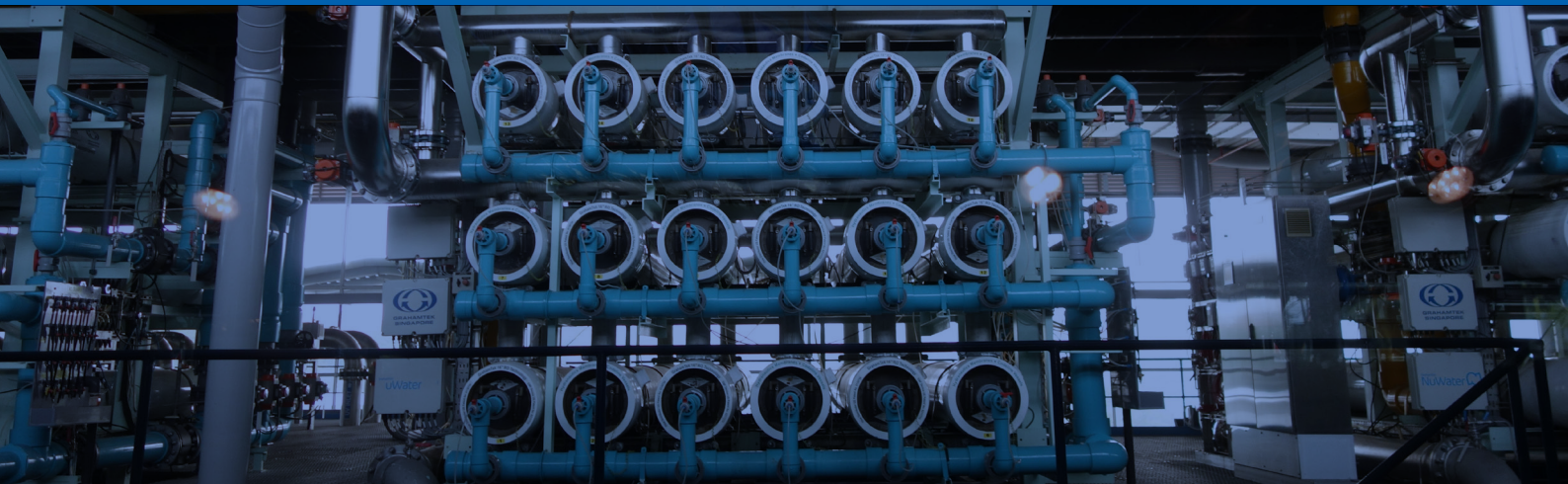
Den offentlige mening er en anden risiko. Hvis samfundet ikke mener, at processer til ressourcegenvinding er sikre og pålidelige, kan biobaserede produkter blive afvist, hvilket kan forhindre udvikling af nye værdikæder. Korrekt formidling af nye processer og produkter i samfundet vil øge efterspørgslen efter nye biobaserede produkter (selv til højere priser end produkter baseret på fossile brændstoffer) og efter mere pålidelige systemer til fjernelse af kemiske stoffer.

Potential partnere

For avancerede teknologier til fjernelse af mikroforurenende stoffer og ARG samt til minimering af kommunale drivhusgasemissioner er forsyningsvirksomheder, rådgivere og teknologiudviklere de relevante interessenter. Samfundet er også en nøgleinteressent, der har betydning ved udvikling af nye biobaserede produkter. Afhængigt af det producerede kemikalie er det nødvendigt at involvere relevante industrier (fx industrier med fokus på polymerisering og gødningsproducenter) eller grupper af slutbrugere (fx landbrugsorganisationer). Endvidere kan nogle industrier, der producerer store mængder af industrielt spildevand, være gode partnere ved udvikling af biobaserede løsninger af højere kvalitet end dem, der produceres fra kommunalt spildevand. Endelig er beslutningstagere vigtige interessenter, da de udvikler lovgivning, der i sidste ende vil retfærdiggøre behovet for avancerede processer til fjernelse af forurenende stoffer og reduktion af emissioner eller medvirke til at lette indførelsen af nye produkter på markedet. Hvis de ikke er opmærksomme på fremskridt på forskningsområdet, vil lovgivningen ikke følge de teknologiske fremskridt og dermed forhindre implementeringen af nye og mere bæredygtige teknologier.

Membransyntese og enzymteknologi til industriel vandbehandling

Af lektor Manuel Pinelo (mp@kt.dtu.dk), DTU Kemiteknik, samt lektor Andreas Kaiser (akai@dtu.dk) og lektor Bhaskar Reddy Sudireddy (bhsu@dtu.dk), DTU Energi



Revers osmose vandbehandling ifm. Singapore's NEWater produktion. Foto: Martin Rygaard, DTU Miljø

Problem

Vandmangel og behovet for fjernelse af forureningsstoffer gør behandling af industriens brugte vand/spildevand til en afgørende forudsætning for produktionsprocessens levedygtighed og i sidste ende for samfundet. En sådan behandling bør ideelt set være energieffektiv samt muliggøre genvinding af værdifulde opløste og absorberede bestanddele, hvilket kan bidrage til økonomien i selve processen. Membranfiltrering tilbyder løsninger, men der er udfordringer med effektivt at kunne fjerne opløste eller uopløste forurenende stoffer fra det industrielle eller kommunale spildevand. For det første er der brug for membraner med et højt overfladeareal og specifikke porestørrelser (i nogle tilfælde mindre end 200 nm) og en opbygning, der medfører høj flux. For det andet nødvendiggør fjernelse af nogle stoffer en funktionalisering af membranerne, der kan ændre deres hydrofilitet og tendens til at tilstoppe, og som kan indbygge enzymer, der kan fremme den biologiske nedbrydning af forurenende stoffer, der ellers ikke kan fjernes. Enzymbehandling vil gøre det muligt at fjerne sådanne forbindelser på en miljøvenlig, økonomisk og effektiv måde, men enzymer har brug for et specifikt miljø for at den kemiske indbygning i membraner er mulig.

Vandteknologisk løsning

For at fjerne forurenende stoffer og partikler fra industrielt spildevand effektivt, især aggressivt spildevand, er keramiske ultra/nanofiltreringsmembraner med stort aktivt overfladeareal og homogen porestørrelse (<200 nm) nødvendige for at opnå høj flux. Sådanne membraner kan udvikles og fremstilles ved en omhyggelige kontrol af de fysiske og kemiske egenskaber ved de keramiske pulvere, der benyttes, og optimering af den keramiske formgivning og sintring. Avancerede processer som additiv fremstilling, elektrospinning og frysestøbning kan anvendes for at fremstille disse porøse membraner.

Elektrospinning er en teknik, der muliggør dannelsen af ultrafine fibre af forskellige polymerer og andre materialer (herunder uorganiske eller keramiske materialer) med diametre fra et par mikrometer og ned til få nanometer. Processen gør det muligt at fremstille membranlag med højt specifikt overfladeareal, nano-skala pore størrelser, ultrahøj kontrollerbar porøsitet og fleksibilitet med hensyn til valg af materialer og muligheder for overflademodifikation. Således kan vigtige egenskaber såsom hydrofilitet/hydrofobicitet, permeabilitet, selektivitet eller immobilisering af biomolekyler målrettes en række forskellige anvendelser af membranerne.

Endvidere kan termokemiske processer som reaktiv sintring anvendes til at fremstille membraner omkostningseffektivt, og infiltrering af aktive bestanddele kan anvendes til give membranlagene/overfladerne specifikke funktioner.

To anvendelsesområder for enzymatiske membraner kan bruges som eksempler. For det første indeholder fødevarerindustriens spildevandsstrømme værdifulde næringsstoffer, der kan have en stor merværdi, hvis de bliver genvundet. I nogle tilfælde kan en højtydende fraktioneringsstrategi være tilstrækkelig for at genvinde stoffer eller forbindelser, som kan sælges som fødevarer eller fodertilsætningsstoffer. I andre tilfælde kan en fraktionering eller separation kobles til en reaktion, f.eks. kan polymerer hydrolyseres til monomerer, således at slutforbindelsen fremstilles og renses parallelt. Under alle omstændigheder kræves meget specifikt valg af membranmateriale, modul og driftsbetingelserne og ikke mindst (bio) katalysatoren for at opnå en økonomisk mulig løsning. For det andet har koblingen af membraner og enzymer også givet lovende resultater inden for biologisk medieret omdannelse eller nedbrydning af persistente kemikalier til ufarlige eller mindre farlige stoffer. Immobilisering af enzymer involveret i en sådan transformation, især oxidoreduktaser, på en membran er en effektiv måde til forbedring af enzymaktivitet og stabilitet såvel som til beskyttelse af enzymproteiner mod negative virkninger af hårde reaktionsbetingelser. Udfordringen er her at syntetisere en membran med en passende arkitektur og sammensætning, hvor enzymaktiviteten kan holdes på det maksimale niveau.

Værdipotentiale

Nye ultra/nanofiltreringsmembraner med høj flux kan give effektiv fjernelse af forurenende stoffer og partikler fra spildevand fra forskellige industrier som den marine, varmekraftværker, fødevarerindustrien og kommuner, hvilket vil gøre det muligt for disse at overholde udledningskrav. Resultatet af disse omkostnings- og energieffektive spildevandsbehandlingsprocesser er lavere miljøpåvirkning.

Alsidigheden af teknologien gør, at den kan anvendes til spildevand med meget forskellig sammensætning. Der er stort potentiale i fødevarerindustrien samt for by- og industrispildevand, der indeholder oxidoreduktase-følsomme forurenende stoffer, og teknologien har lette reaktionsbetingelser og er enkel at opskalere.

Betingelser for succes

En veludviklet logistik er nødvendig, hvilket særligt kan være en udfordring i udviklingslandene. Desuden skal det være muligt at opretholde stabilitet og enzymaktivitet. Teknologien er særlig fordelagtig, hvor effektivt genbrug og holdbare membraner er vigtigt (uorganiske membraner er særligt nyttige i dette tilfælde).

Tværfagligt og tværsektorielt perspektiv

Udvikling og fremstilling af de særlige nanofiltreringsmembraner kombinerer viden fra materialevidenskab, kemi og fysik. Samarbejdet mellem DTU Kemiteknik, med ekspertise i enzymatisk behandling og membranteknologi samt DTU Energi, med ekspertise i membransyntese, giver den nødvendige synergi for at bygge højtydende membraner til filtrering og for at øge den biologiske aktivitet, når det er nødvendigt.

Risici

Kvalitetskravene til drikkevand har stor betydning for det forretnings- og markedsmæssige potentiale af de foreslåede teknologiske løsninger.

Potentielle partnere

Industrielle partnere kan være Liqtech International, Alfa Laval (membraner), Arla, Rynkeby og Carlsberg (potentielle slutbrugere), samt Novozymes og Novo Nordisk (bioteknologi). Akademiske partnere kan være Fraunhofer og EMPA (membran syntese), Aalborg Universitet (membrantestning), Yale Universitet (membranbehandling) og DTU Management (livscyklusanalyse).

Vandbehandling ved adsorption på naturligt sand

Af seniorforsker Jean-Claude Grivel (jean@dtu.dk), DTU Energi



Problem

Tilgængeligheden af rent drikkevand er en af de vigtigste forudsætninger for at opretholde liv. Desværre resulterer den stadigt stigende befolkningsaktiviteter i udledning af store mængder af en lang række toksiske kemikalier enten direkte til vandmiljøet eller via renseanslæg, der ofte er ude af stand til at fjerne nye forureningsstoffer som blodgørere, smertestillende og antidepressiv medicin, solfiltre, osv. Blandt mange potentielle nye teknologier til fjernelse af specifikke stoffer fra vand, opfattes adsorption på forskellige former for partikler som et billigt og effektivt alternativ, der er fokus for et stigende antal publikationer. Desværre er fokus for de fleste undersøgelser enten på kunstigt syntetiserede nanopartikler, som skal genvindes fra vandet efter brug og indebærer en risiko for frigivelse af giftige elementer, eller på organisk affald fra industrielle aktiviteter, som ikke kan regenereres ved en simpel termisk behandling og ikke er tilgængelige i tilstrækkelig mængde til anvendelse i storskala.

Vandteknologisk løsning

Sand er en naturlig ressource, der er til rådighed i store mængder i det meste af verden, herunder offshore. Det er blevet brugt som et naturligt filtermedium til vandrensning i mere end to århundreder. Imidlertid har dets adsorptionspotentiale til fjernelse af nye forurenende stoffer og tungmetaller kun været genstand for et begrænset antal undersøgelser. I lyset af de lovende resultater, der er opnået, blandt andet i vores egne laboratorier, fremstår sand som en billig og ikke-energi-intensiv mulighed for vandrensning.

Naturligt sand er dog meget forskelligt alt efter oprindelsessted og kan have vidt forskellige evner. At finde ud af, hvilken type sand der er mest effektiv til bestemte former for forurenende stoffer, kræver en dybtgående forståelse af de processer, der spiller en rolle. Disse omfatter fysiske og kemiske overfladeinteraktioner såvel som biologisk aktivitet (biofilm der dannes ved overfladen af sandpartikler). Desuden kan de mineralske bestanddele af naturligt sand variere betydeligt i forskellige områder af verden, og ikke alle er egnede adsorbenter til reduktion af forurening. På den anden side er genskabelse/regenerering et emne, der ikke er berørt endnu, selvom det er et væsentligt aspekt i at forhindre bortskaffelse af store mængder forurenede sand.

Værdipotentiale

Konsekvenserne af den stigende mængde og forskellighed af skadelige forurenende stoffer i vand er stor - ikke kun for mennesker, men for livet på jorden som helhed, så der må gøres en stor indsats for at mindske risikoen for en truende global katastrofe. Samtidig skal omkostningerne med hensyn til energibehov og ressourceforbrug forblive indenfor realistiske rammer. Naturligt sand er derfor topkandidat i forhold til vandsrensning. Sand repræsenterer også en lokal naturressource, og dets udnyttelse kan blive en værdifuld indtægtskilde for sandudnyttelsesvirksomheder.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Den vigtigste betingelse for succes er evnen til at regenerere eller i det mindste rense sandet efter brug for at undgå at skulle bortskaffe store mængder af forurenede sand, da dette ville medføre en potentiel risiko for en koncentreret kemisk forurening og skabe etiske dilemmaer med tilhørende modstand i offentligheden.

Tværfagligt og tværsektorielt perspektiv

Kompleksiteten af processerne forbundet med vandrensning ved adsorption på naturligt sand kræver en tværfaglig tilgang, der omfatter kemi, fysik, biokemi og geologi. Vurdering af det reelle potentiale i denne løsning indebærer et direkte samarbejde med forskellige aktører som industrier og forsyningsvirksomheder, der producerer spildevand, og virksomheder, der udvinder sand i Danmark og i hele verden.

Risici/hvad kan gå galt?

Sand er muligvis ikke i stand til at absorbere alle skadelige stoffer og der er en risiko for at nye forurenende stoffer vil kunne overleve behandlingen og ende i vand der forventes rent. Der er behov for konstant overvågning af udløbsvand for at sikre effektiviteten af rensesystemerne og for udvikling af nye avancerede detektorer for at følge fremkomsten af nye stoffer.

Mulige partnere

Potentielle samarbejdspartnere omfatter forsyningsvirksomheder og industrier, der producerer spildevand indeholdende nye forurenende stoffer (fx hospitaler, fødevarerindustri, kemikaliefabrikker eller medicinalproduktionsanlæg), samt ejere af grusgrave, der er interesserede i at udvide deres produktportefølje og virksomheder, der udvikler sensorer såvel som alarmsystemer. Udviklings- og tredjeverdens lande vil helt sikkert være relevante samarbejdspartnere på grund af de lave omkostninger ved den foreslåede løsning. På forsknings- og udviklingsniveau betragtes flere DTU-institutter som værdifulde potentielle samarbejdspartnere: DTU Miljø, DTU Kemi, DTU Kemiteknik, DTU Aqua, DTU Food, DTU Bioengineering og DTU Fysik.

Selvregulerende biologisk drikkevandsbehandling

Af professor Hans-Jørgen Albrechtsen (hana@env.dtu.dk), DTU Miljø



Grundvandsbaseret drikkevandsforsyning kan være særdeles miljømæssigt bæredygtig. Ved at kombinere digitalisering med dyb viden om de mikrobiologiske processer kan disse behandlingsteknologier sikre godt, sundt og sikkert drikkevand.

Problem

Grundvand omtales ofte som en ressource, der bruges ubehandlet, men virkeligheden er, at stort set alt grundvand behandles, før det bliver til drikkevand. Der fjernes blandt andet ammonium, mangan, jern, sulfider og metan, i de fleste tilfælde ved hjælp af biologiske metoder. Grundvandskvaliteten er yderligere udfordret af antropogene forureninger som fx pesticider. Alene inden for det sidste år er der fundet tre nye pesticidforureninger - i visse tilfælde i foruroligende koncentrationer, over grænseværdien, og for flere af stofferne er fundene vidt udbredte. I disse tilfælde har der været tale om pesticider, der nu er forbudte - fortidens synder - men en række pesticider, som stadig benyttes i stort omfang, findes desværre også i grundvandet.

I og med der er tale om en række forskellige mikrobiologiske processer og dermed forskellige mikroorganismer, er det en udfordring at sikre, at alle organismerne hver især har optimale forhold. Ikke mindst fordi nogle af mikroorganismene er afhængige af andre substrater for at kunne udføre den ønskede proces. Desuden er der driftsmæssige forhold såsom flowforhold og returskyldning af filtrene som kan påvirke de mikrobielle processer. Dette fordrer både monitorering, overvågning og styring - og dermed digitalisering.

Vandteknologisk løsning

En dybere indsigt i de mikrobiologiske processer, de mikroorganismer, der udfører processerne, og de forhold, der er nødvendige for at optimere processerne, rummer potentiale for at disse processer også kan løse en række forureningsproblemer, som fx pesticider. Nogle af mikroorganismene er afhængige af andre substrater for at kunne udføre den ønskede proces - fx er lave koncentrationer af kobber essentielt for ammoniumoxiderende bakterier. Nogle af de pesticidnedbrydende bakterier får energi fra omsætning af methan. Det vil sige, at koncentrationen af dette primærsubstrat styrer omsætningen af det sekundære substrat - det pågældende pesticid, som forekommer i meget lavere koncentrationer end primærsubstratet. For at styre disse processer kan det være nødvendigt at dosere methan - evt. i alternerende drift mellem vækst på primær substratet og nedbrydning af sekundærsubstratet (pesticidet), når primærsubstratet er brugt op.

Kompleksiteten af de mange samtidige, parallelle processer - der potentielt konkurrerer om ressourcerne - kræver udvikling og anvendelse af nye relevante sensorer, en tæt monitoring og udvikling af modeller af processerne i realtid, så feedback-mekanismer kan sikre, at systemet hele tiden er optimeret. Grundet kompleksiteten bør det afsøges, om machine learning kan bidrage til at gøre disse biologiske sandfiltre til selvstyrende, autonome systemer.

Værdipotentiale

Tilliden til, at det er sikkert drikkevand, der kommer ud af vandhanen, er ubetalelig. Samtidigt er de stadig flere og forskellige typer af forureninger en udfordring for vandforsyningerne. Da de forskellige forureninger hver kræver en særlig behandling, øger det omkostningerne ved vandproduktionen. Biologiske teknologier kan være fleksible og økonomiske. I lyset af, at alt drikkevand i Danmark er grundvandsbaseret med omkring 2500 vandværker, er der et stort potentiale. Derudover er ca. halvdelen af verdens vandforsyning grundvandsbaseret.

Generelt er biologisk baserede teknologier miljømæssigt bæredygtige.

Betingelser for succes (herunder privacy/etik hensyn)

Det er naturligvis en forudsætning, at såvel myndigheder som forbrugere accepterer de biologisk baserede teknologier - men de er allerede vidt udbredt. Andre steder i verden, fx USA, er der desværre udbredt mistillid til at involvere mikrobielle processer i drikkevandsbehandling - omend interessen er stigende. Det er således en betingelse for teknologiens succes, at en sådan mistillid kan fjernes.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Kompleksiteten i disse teknologier kræver en høj grad af tværfaglighed - fx miljøteknologisk, mikrobiologisk, hydraulisk og processteknologisk, måleteknisk, modelmæssigt og styringsmæssigt.

Risici/hvad kan gå galt?

Disse teknologier er under udvikling, og tager det for lang tid at udvikle og implementere teknologierne, er der risiko for, at problemejerne bliver utålmodige og søger andre løsninger. Dette tidspres illustreres af, at der er vandværker, som på grund af pesticidforureninger, i dag må sende deres vand direkte i kloakken. For andre forureningsramte forsyninger er det et reelt problem at kunne producere tilstrækkeligt vand til deres forbrugere.

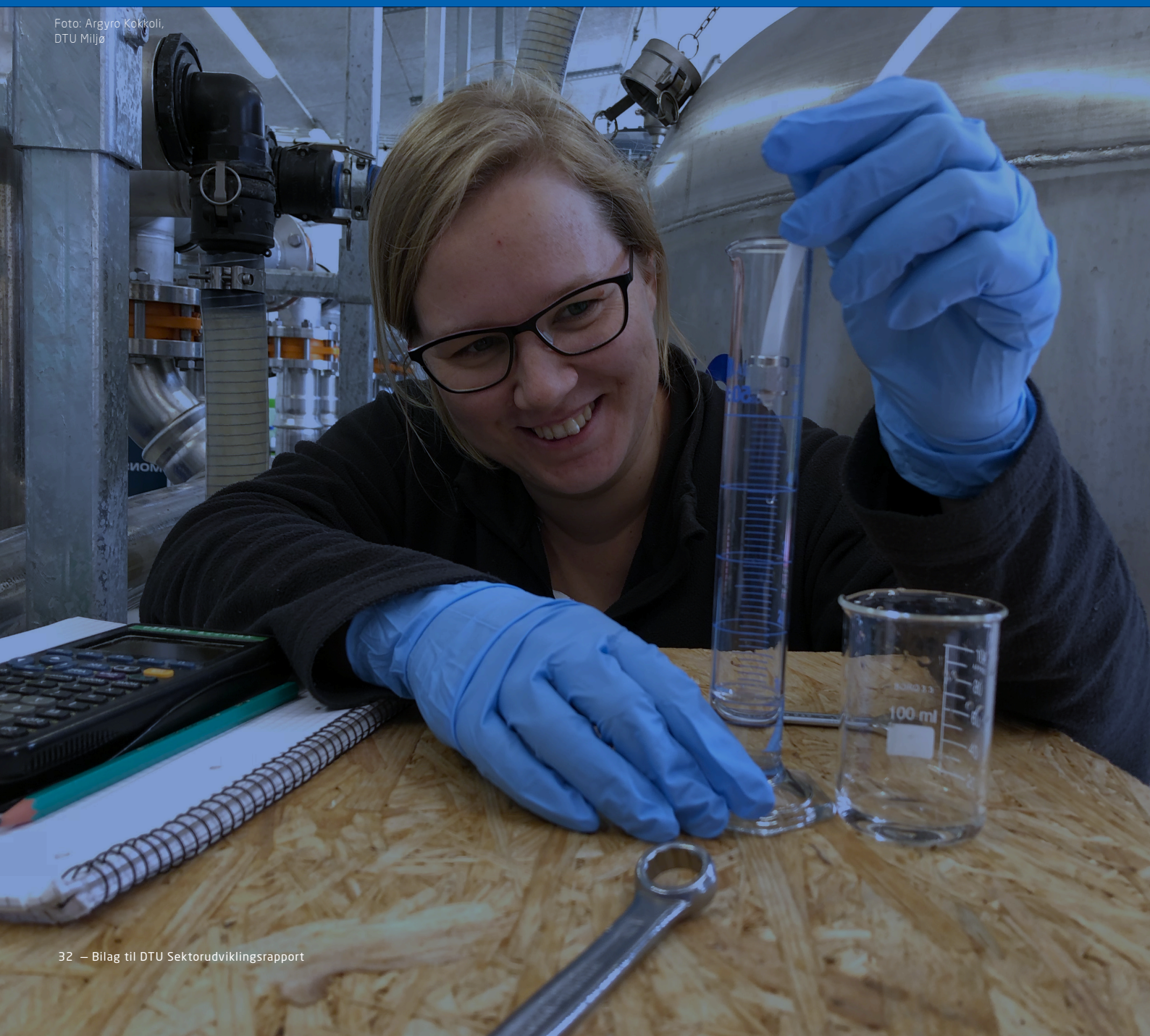
Mulige partnere

Vandforsyninger med forureninger vil være oplagte og interesserede partnere. Teknologileverandører, såvel inden for sensorer som vandbehandlingsteknologier, vil ligeledes være relevante partnere. For at kunne udbrede de udviklede teknologier kan det være relevant at involvere centrale rådgivende ingeniørfirmaer. Som videninstitutioner vil der ligeledes være behov for et bredt spektrum af partnere (fx DTU Miljø, DTU Compute, DTU Elektro eller NanoDTU).

Ozonering - et alternativ og supplement til kul

Af forsker Kamilla M. S. Kaarsholm (kmsk@env.dtu.dk) og professor Henrik R. Andersen (hran@env.dtu.dk), DTU Miljø

Foto: Argyro Kokkoti,
DTU Miljø



Problem

Forureninger med for eksempel klorede opløsningsmidler truer flere steder grundvandet i Danmark. Mange af disse steder er punktforureninger stammende fra virksomheder som har brugt klorede opløsningsmidler til affedtning. Ved punktforureninger i grundvand anvendes ofte en afværgepumpning nedstrøms og nært ved forureningskilden for at begrænse forureningens udbredelse til dybere grundvand, som kan anvendes til drikkevand. Den vandstrøm der fremkommer ved afværgepumpninger kræver rensning inden udledning. Traditionelt anvendes kulfiltre til at rense vandet inden det afledes til kloak, overfladerecipient eller re-injiceres til grundvandet. Imidlertid er kulfiltrering ineffektivt til en række almindelige polære organiske forureningsstoffer herunder klorede solventer som klorethener. Desuden er den miljømæssige bæredygtighed i kulfiltrering tvivlsom pga. den store forurening, som fremstilling af filterkul medfører.

Vandteknologisk løsning

Ozon er oxiderende og kan reagere med en lang række organiske stoffer. Ved at anvende en ozonbehandling før kulfiltrerne kan ozon nedbryde en række polære forureningsstoffer som normalt vil være de første der bryder igennem kulfiltret. Herved mangedobles kulfiltrernes kapacitet. Men da grundvand ofte indeholder jern og mangan, skal der sammensættes en behandling med flere teknologier så der ikke opstår problemer med okker og jernoxider, der blandt andet kan blokere kulfilterne.

Værdipotentiale

Den foreslåede ozonbehandling vil forlænge levetiden markant på de kulfiltre, man anvender til vandrensning. Disse kulfiltre er omstændige at producere og er både dyre og har et højt CO₂-aftryk, hvorfor en forlængelse af deres levetid vil forbedre både driftsøkonomien ved afværgepumpninger og miljøpåvirkningen. Resultaterne fra at anvende ozonbehandling vil også kunne anvendes til rensning af forurenede vand i andre sammenhænge.

Betingelser for succes (herunder evt. privacy/etik hensyn)

Projektet vil kræve adgang til en afværgepumpning ved en forurening, hvor det vil være muligt at opstille testanlæg.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

DTU Miljø har ekspertise indenfor ozonbehandling samt måling af ozon i vand og luft. Koncepter med at have en alternativ behandlingsform med en anden mekanisme end sorption til aktivt kul kan udbredes til andre kemikalier, f.eks. meget vandopløselige pesticid-nedbrydningsprodukter. En anden anvendelse er meget kraftigt forurenede grundvand hvor ozonering kan fjerne vandets giftighed for bakterier ved at nedbryde fenoler og antibiotika, som muliggør at resten af forureningen kan behandles med biofiltre.

Risici/hvad kan gå galt?

Ufuldstændig oxidering fører til nedbrydningsprodukter, som potentielt kan være giftige, det skal derfor kontrolleres at disse fanges af det efterfølgende kulfilter eller nedbrydes.

Mulige partnere

Projektet vil foregå i tæt samarbejde mellem DTU Miljø, Regionerne, samt virksomheder med teknologier til vandbehandling herunder ozonbehandling. Valget af metoder og kombination af metoder ud fra ressource- og miljøeffekt støttes af koncepter fra DTU Management.

Når der kigges på pesticid nedbrydningsprodukter, kan GEUS og Århus universitet bidrage.

Værdiskabelse og miljøpåvirkninger i fremtidens vandsystemer - Eco-efficiency

Af lektor Martin Rygaard (mryg@env.dtu.dk) og post doc Berit Godsken (berg@env.dtu.dk), DTU Miljø



Eco-efficiency kan blive et uomgængeligt værktøj til at kvantificere værdiskabelsen og miljøpåvirkningen af fremtidens vandteknologier, så de sikres at bidrage til FNs bæredygtigheds mål.

Problem

Kompleksiteten af byens og industriens vandsystemer er stigende, og det øger vigtigheden af at opgøre påvirkning af miljø, økonomi og samfund. Der anvendes flere vandkvaliteter i vandforsyningen, der genindvindes vand, energi og materialer fra spildevandet, og regnvand flyttes fra beton til grønne løsninger. Hvad enten systemerne er baseret på højteknologi eller naturbaserede løsninger, vil der ske påvirkninger af miljø og samfund i et samspil med energisystemer, natur, trafik og meget andet. Værdien af de nye teknologier kan både være økonomisk i form af vækst og arbejdspladser, men også i form af konkrete svar på den globale bæredygtigheds dagsorden fx bæredygtige byer. Mange værdier lader sig vanskeligt opgøre, og her vil en videreudvikling af eco-efficiency metoden bidrage til en mere systematisk og holistisk evaluering af en teknologisk værdiskabelse og sætte det i forhold til teknologiens påvirkning af miljø og ressourcer. Et yderligere potentiale opstår, hvis bæredygtighed af teknologier til vandbehandling tænkes ind og dokumenteres allerede i deres udviklingsstadiet, inden det færdige produkt står klart. Et eco-efficiency værktøj tilrettet vandteknologi vil være uomgængeligt, når beslutningstagere skal skabe fremtidens vandsystemer inden for rammerne af FNs bæredygtigheds mål (SDG'erne).

Vandteknologisk løsning

Eco-efficiency metoden består af en miljøvurdering og en opgørelse af værdiskabelsen. Miljøvurderingen foretages i en livscyklusvurdering, som kvantificerer miljøpåvirkninger af et produkt eller system gennem hele dets livscyklus ved at opgøre ressourceforbrug og emissioner til miljøet. Hér vil vi bl.a. videreudvikle konceptet for Total Value Added (TVA), så det kan opgøre den samfundsmæssige værdi ud over økonomisk vækst og for alle relevante aktører. Når andre systemer som naturen, trafikken med mere påvirkes, er det vigtigt, at der udvikles en bedre forståelse af, hvordan systemerne hænger sammen og påvirker hinanden. Beskrivelser af teknologier og systemer skal indarbejdes i eksisterende databaser, der bruges til miljøvurdering.

Når værdiskabelse i bred forstand sættes i forhold til miljøpåvirkningen, er det muligt at pege en vandteknologi i retning af eco-innovation, der forstås som et produkt, der skaber værdi for en aktør og samfundet, samtidigt med at det reducerer systemets samlede miljøpåvirkning.

Værdipotentiale

Innovation i vandsystemerne: Når eco-efficiency anvendes allerede under teknologiudviklingen sikres det, at potentielle faldgruber kan opdages tidligt og korrigeres inden der er store investeringer bundet i produktet eller løsningen. Faldgruber kan være, når der sker et byrdeskifte, som for eksempel når en øget renseseffektivitet kommer på bekostning af en øget drivhusgasudledning. Det kan også være et byrdeskifte mellem flere aktører, som når en industri indfører lokal rensning af spildevand og dermed reducerer det økonomiske bidrag til lokalområdets spildevandsrensning. Eco-efficiency-værktøjet identificerer sammenhænge og giver aktører mulighed for at tale sammen og tilrette deres systemer og teknologivalg, så der undgås beslutninger, der kan binde investeringer u hensigtsmæssige i årtier.

FNs bæredygtighedsmål er dagsordensættende for mange aktører på vandområdet. Derfor bliver det fremover endnu vigtigere at teknologileverandører og forsyninger kan beregne og dokumentere deres produkters og systemers bidrag til disse. Et dokumenteret bidrag til bæredygtighedsdagsordenen må forventes at blive et almindeligt krav for aktører i vandbranchen ikke mindst i forbindelse med udbud og markedsføring.

Betingelser for succes

Det er en betingelse for succes, at vandområdet prioriterer eco-efficiency analysen og bruger evalueringen aktivt i beslutningsfasen, når vandsystemer udvikles på både teknologi- og systemskala. En succesfuld udnyttelse af eco-efficiency værktøjet forudsætter tillid mellem vandsystemets aktører. Dette vil kræve tid og ressourcer dedikeret til udviklingen hos flere parter. Det vil også kræve en videreudvikling af partnerskaber på vandområdet, så information om teknologiers og systemers indbyrdes afhængigheder kan deles. Endelig er der behov for en fortsat udvikling af software og databaser, der kan være med til at strømline udførelsen af eco-efficiency. Dér kan vi bygge videre på de mange erfaringer, der allerede er gjort på området for livscyklusanalyse.

Tværfaglighed og tværsektorielt perspektiv

Tværfaglighed er en forudsætning for eco-efficiency af vandsystemer, og analysen foretages oftest på tværs af sektorer, idet forsyningsarterne interagerer med hinanden, f.eks. når vandsystemet bruger eller producerer energi og ressourcer. Eco-efficiency er netop et værktøj, der giver mulighed for at lægge et samfunds- og tværsektorielt perspektiv til grund for beslutninger. Redskabet vil derfor helt naturligt bidrage til at bringe aktørerne i vandsektoren tættere på hinanden.

Risici/hvad kan gå galt?

Det er vigtigt at inkludere en usikkerheds- og følsomhedsanalyse i sin eco-efficiency analyse, da parametre kan være fejlestimeret eller ændre sig i fremtiden og dermed påvirke evalueringen. En anden risiko er, at man foretager eco-efficiency analysen med en fejlagtig systemafgrænsning eller på grundlag af ufuldstændige data og dermed ikke understøtter en bæredygtig udvikling. Det er derfor vigtigt, at der udover selve værktøjsudviklingen sættes på korte efteruddannelsesinitiativer af de folk, der skal bruge værktøjet eller dets resultater.

Mulige partnere

Eco-efficiency-metoden skal videreudvikles i tæt samarbejde med teknologiudviklere og beslutningstagere i forsyning og hos myndigheder. Potentielle partnere er vand- og spildevandsforsyninger, teknologivirksomheder, store vandforbrugende virksomheder og interesseorganisationer. Videnspartnere udover DTU Miljø er DTU Management, Københavns Universitet, Århus Universitet, Syddansk Universitet, TI og rådgivere.



Foreningen af
Rådgivende Ingeniører
FRI



Dansk Industri

Danmarks Tekniske Universitet
Anker Engelundsvej 1
2800 Kgs. Lyngby