



SPILDEVANDSKOMITEEN

ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 1 • 39. ÅRGANG • JANUAR 2026

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Anders Badsberg Larsen

(Formand)

WSP

Alfred Nobels Vej 21C st. tv, 9220 Aalborg Øst

mail: anders.badsberg@wsp.com

Tlf. 6040 0492

Rikke Rørvang

(Næstformand)

HOFOR

Ørestads Blvd. 35, 2300 København

e-mail: julbj@hofor.dk

Tlf. 2795 4309

Klaus K. Jensen

(Kasserer)

Vejle Spildevand A/S

Toldbodvej 20, 7100 Vejle

e-mail: klaje@vejlespildevand.dk

Tlf. 5172 4893

Signe Barnes

Novozymes A/S

Hallas Alle 1, 4400 Kalundborg Denmark

e-mail: sgba@novonesis.com

Tlf. 3077 0985

Andreas Kvist Fredberg

Rambøll

Olof Palmes Allé 22, 8200 Aarhus N

e-mail: akvf@ramboll.dk

Tlf. 5161 0445

Jasper Vanger Jensen

Aalborg Forsyning

Norbis Park 100, 9310 Vodskov

E-mail: Jasper.jensen@aalborgforsyning.dk

Tlf. 3085 0901

Rikke Svenningsen

Aarhus Universitet, Institut for Byggeri og Bygningsdesign

Navitas, Inge Lehmanns Gade 10, 8000 Aarhus C

E-mail: rs@cae.au.dk

Udgiver

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA.

Indlæggene i bladet står for forfatterens egen regning, og Eva-udvalget er ikke nødvendigvis enig i den udtrykte holdning eller anbefaling.

Hjemmeside

www.evanet.dk

E-mail

evaudvalg@gmail.com

Dette blads redaktør

Andreas Kvist Fredberg, akvf@ramboll.dk

Næste blads redaktør

Rikke Rørvang, rikror@hofor.dk

Deadline for indlæg til næste blad

Marts 2026

Næste blad forventes udgivet

Maj 2026

Redaktion

Margrethe Nedergaard, man@skanderborgforsyning.dk

Indhold

Leder	5
Indbydelse til Temadag og Årsmøde	6
Afløbsbidrag fra grønne arealer under forskellige regn- og jordfugtighedsbetingelser:	
Hvor og hvornår er bidraget signifikant?	
Helene Kirkebye Vilsen, Anna Hansen, Maria Behnk Solnæs, Søren Liedtke Thorndahl og Jesper Ellerbæk Nielsen	10
Kan det betale sig at håndtere det terrænnære grundvand?	
Forsyningens opgave og beregning af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed	
Nadia Kirstein	14
Betydningen af den umættede zone, ved vurdering af det terrænnære grundvand	
Forsyningens opgave og beregning af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed	
Emil Born Pedersen, Kristian Roland Skjødt og Mette Ryom	18
Tid til nye metoder til monitorering af vandkvaliteten i byområder!	
Urban M2O – sikring af nem og praktisk indsamling af vandkvalitetsdata	
Luca Vezzaro	26
Modelbaseret beregning af det optimale klimatilpasningsniveau	
Dan Rosbjerg	30

Kalender

Faglige arrangementer

EVA-udvalget opfordrer til, at medlemmerne holder øje med faglige arrangementer på relevante hjemmesider (EVA-udvalget, DANVA, IDA Miljø, Ferkvandscenteret m.fl.)

EVA-udvalget søger at placere temadage så de ikke konflikter med andre større fagligt relevante arrangementer.





Leder

Det nye år er skudt i gang og hverdagen kan indfinde sig. Måske de hårde deadlines blev nået før jul – og en tiltrængt pause har givet overskud til nysgerrighed og fordybelse. Find dig nu godt til rette og dyk ned i det nyeste blad fra EVA-fællesskabet.

I efteråret afholdt EVA-udvalget sin anden temadag om terrænnært grundvand. Denne gang var fokus på data, modeller og håndtering i praksis. Der er generelt stor interesse for emnet, hvilket også viste sig ved, at der deltog 93 personer på temadagen.

Indlæggene viste, at emnet er kompliceret og der er brug for stærke grundvandstekniske kompetencer i arbejdet. På temadagen udtrykte deltagerne stort ønske om at træffe veldokumenterede beslutninger, hvilket kan kræve omfattende dataindsamling og -behandling. Med skarpe deadlines kan det blive svært at få tid og kvalitet til at gå op i udpegningsfasen både i forhold til behovet for data/målinger og beregningsbyrden for kommuner og forsyninger.

Den kommende temadag står i de våde regnvandsbassiners tegn. Her præsenteres en opdatering af vidensgrundlaget for våde regnvandsbassiner fra den tidlige planlægning til de tekniske aspekter.

- *Hvad er behovet for forbassiner?*
- *Kan olieudskillere undværes, hvis der laves dykket udløb?*
- *Hvornår bør der anvendes membran og hvordan undgås det, at membranen forårsager besværlig drift?*

Tilmeld dig temadagen den 26. februar 2026 og få svar på spørgsmålene.

På temadagen vil der også blive afholdt EVA's årsmøde, hvor der vil være valg til bestyrelsen. I denne forbindelse ønsker Klaus K. Jensen ikke at genopstille, hvilket efterlader en åben plads. Så hvis du ønsker at deltage i fællesskabet med at arrangere temadage og være med til at formidle faglig viden, så er det nu!

Bestyrelsen takker Klaus for det store arbejde han har bidraget med i EVA-udvalget, hvor han på fornemmeste vis har repræsenteret de mellemstore forsyninger og varetaget kasserer-posten med bravur.

Der skal derfor vælges et nyt udvalgsmedlem. Forslag til kandidater fremsendes til Anders Badsberg Larsen (anders.badsberg@wsp.com) og Jasper Vagner Jensen (jasper.jensen@aalborgforsyning.dk) senest den 18. februar 2026.

Vi glæder os til at se dig til den næste spændende temadag d. 26. februar 2026 på Hotel Nyborg Strand.

EVA-udvalget

EVA-udvalget indbyder til

EVA-temadag

Torsdag den 26. februar 2026, Hotel Nyborg Strand

Fremtidens våde regnvandsbassiner – design og dimensionering

Separeringen af regnvand fra spildevand fortsætter – og med den følger et stadigt behov for nye våde regnvandsbassiner. Men på hvilket grundlag skal de bygges?

Fem forsyninger – **Novafos, Fors, Din Forsyning, Fredericia Forsyning og Aalborg Forsyning** – har slået sig sammen om projektet Videnopdatering af Våde Regnvandsbassiner.

Siden juni har flere grupper af landets eksperter arbejdet med at indsamle og bearbejde den seneste viden. Deres resultater præsenteres, hvor flere spørgsmål kommer under lup:

- Hvad er den gode planlægningsproces, der sikrer rammerne for den gode vandhåndtering?
- Hvad er samspillet mellem design, drift og naturværdi i et vådt regnvandsbassin og effekten på det omgivende miljø?
- Hvad er den gode udformning af et vådt regnvandsbassin og er der behov for forbassiner og olieudskillere?
- Hvornår bør membraner anvendes – og hvordan undgår man, at de skaber driftsproblemer?
- Hvordan kan driften af våde regnvandsbassiner optimeres med smarte og billige løsninger?
- Er opholdstiden det nye sort? Er det slut med typetal?



Vi har et godt tilbud her i starten af året

For at kunne styrke samarbejdet mellem forsyningsvirksomhed og myndigheden/kommunen, kan deltagere fra forsyningen invitere en af deres kollegaer fra kommunen til at deltage i temadagen til **1.075 kr. en besparelse på 50%!** Hvis du tager en kollega med, skal navn og e-mail på kollega sendes til vores koordinator Sylvie Chambelland på syc@ida.dk
senest tirsdag den 10. februar 2026 kl. 10:00.

Dagens Program

9:30 Kaffe/te og morgenbrød

10:00 Velkomst

v. Rikke Rørvang, EVA-udvalget

10:10 Projektet: Vidensopdatering af Våde Regnvandsbassiner

v. Katrine Nielsen, Teknologisk Institut

Teknologisk Institut har stået i spidsen for at samle nyeste viden om våde regnvandsbassiner på vegne af de fem forsyninger. Katrine vil præsentere baggrunden og formålet med projektet.

10:25 Design af våde regnvandsbassiner

v. Steffen Bloch Frandsen, NIRAS og Anja Thrane Thomsen, WSP

Udformningen og opbygningen af regnvandsbassiner spiller en afgørende rolle for deres funktion og effektivitet. I denne del-opgave har NIRAS og WSP bl.a. opsamlet nyeste viden fra branchen ift. følgende emner:

- Udformningen af bassiner, herunder udformning af alternative designs, dybden af det permanente våde volumen, formålet og behovet for forbas-siner, samt beskrivelse af olieudskiller-funktion i forbindelse med våde regnvandsbassiner
- Materialevalg til udformning af våde regnvandsbassiner herunder opbygning af membraner og udfordringer med højtstående grundvand
- Muligheden for CO₂ reduktion og opnåelse af god biodiversitet ved udførelse af våde regnvandsbassiner
- Design af regnvandsbassiner, der udføres med godt arbejdsmiljø for øje.

10:55 Kaffepause

DELTAGERGEBYR

STUDERENDE,
IKKE MEDLEM AF IDA
kr. 0

LEDIG
kr. 0

STUDIEMEDLEM
kr. 0

MEDLEM AF ARRANGØR
kr. 2.150

IDA-MEDLEM
kr. 2.150

SENIORMEDLEM
kr. 2.550

IKKE IDA-MEDLEM
kr. 3.450

Er du ph.d. studerende?

Så kan du blive tilmeldt til 0 kr!

Skriv til koordinator
Sylvie Chambelland på
syc@ida.dk så sørger
hun for din tilmelding.

TILMELDING

Tilmeld dig på
IDAs hjemmeside

HVOR DU OPGIVER

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

(Arrangementet
er åbent for alle)

11:10 Biodiversitet og udledning

v. Sara Egemose, SDU

Regnvandsbassiner er tekniske løsninger til at håndtere afstrømning – men de kan også være gode levesteder for dyr og planter. Hvordan går dyre- og planteliv og en effektiv reduktion af udledning til vandmiljøet hånd i hånd? Og hvilken indflydelse kan udledningen fra bassinerne have på det vandmiljø der udledes til? Oplægget giver indsigt i den nyeste viden om samspillet mellem bassinernes design, drift, egen naturværdi og effekt på det omgivende miljø.

12:55 Årsmøde

v. Anders Badsberg Larsen, Formand for EVA udvalget

1. Valg af dirigent
2. Bemærkninger til dagsordenen
3. Formandens beretning
4. Fremlæggelse af regnskab
5. Valg af udvalgsmedlemmer *
6. Eventuelt

* Klaus K. Jensen er på valg og genopstiller ikke.
Der skal derfor vælges et nyt udvalgsmedlem.

Forslag til kandidater fremsendes til:

Anders Badsberg Larsen (anders.badsberg@wsp.com) og

Jasper Vagner Jensen (jasper.jensen@aalborgforsyning.dk)

senest den 18. februar 2026.

12:00 Frokost

13:00 Planlægning

v. Sara Bugge Ploug og Jacob Bennedsgaard Krog, NIRAS

Våde regnvandsbassiner er pladskrævende og ofte kommer placering af bassiner, og vandhåndtering generelt, for sent ind i lokal- og byudviklingsplaner. Med en langsigtet og målrettet fysisk planlægning, hvor bassiner og vandhåndtering indtænkes tidligt i planarbejdet, vil det være muligt at forebygge mange udfordringer.

Denne del af projektet har søgt at udspecificere planlægningsaspekter ud fra hovedemner som; Myndighedsforhold og plangrundlag, planlægningsværktøjer, sammenhæng mellem våde regnvandsbassiner og andre vandkilder, samt udarbejdelse af en overordnet procesbeskrivelse med opmærksomhedspunkter for planlægning af våde regnvandsbassiner.

13:30 Drift af våde regnvandsbassiner

v. Thomas Aabling, Vandmiljø ApS

Hvordan kan driften optimeres? Hvilke smarte billige løsninger kan reducere driftsbehovet? Hvad er erfaringerne med membraner i bassinbunden – og er membranerne nu virkelig nødvendige?

14:05 Kaffepause

14:35 Vandkvalitet og hydrauliske forhold

v. Katrine Nielsen, Teknologisk Institut

Udformning og de hydrauliske forhold, herunder også den effektive opholdstid, i våde regnvandsbassiner har betydning for renseeffekten. Luca Vezzaro (Kruger) og Jes Vollertsen (Aalborg Universitet) har samlet op på de seneste undersøgelser på området. Katrine Nielsen, vil præsentere deres arbejde, der viser vigtigheden af, at våde regnvandsbassiner i fremtiden udformes med de bedste hydrauliske forhold for øje.

15:05 anbefalinger til design og dimensionering af fremtidens våde regnvandsbassiner

v. Katrine Nielsen, Teknologisk Institut og Jens Stærdahl, Novafos

Der samles op på, hvordan vi kan designe fremtidens regnvandsbassiner smartere i forhold til drift, biodiversitet og miljø samt hvilken planlægning der er nødvendig. Dette munder ud i en ny anvisning og der samles i dette oplæg op på de vigtigste anbefalinger til fx anvendelsen af dykkede udløb og forbassiner, bæredygtighedstiltag, optimering af renseeffekt og udregning af det permanente våde volumen.

15:20 Afrunding og afsluttende bemærkninger

v. Rikke Rørvang, EVA-udvalget

15:25 Tak for denne gang og kom godt hjem

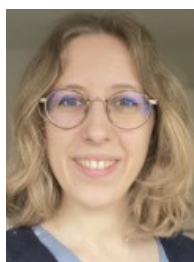


Afløbsbidrag fra grønne arealer under forskellige regn- og jordfugtighedsbetingelser:

Hvor og hvornår er bidraget signifikant?



Af: Helene Kirkebye Vilsen
tidl. kandidatstuderende
Aalborg Universitet,
nu rådgiver hos WSP



Af: Anna Hansen
tidl. kandidatstuderende
Aalborg Universitet,
nu rådgiver hos Watson C



Af: Maria Behnk Solnæs
tidl. kandidatstuderende
Aalborg Universitet,
nu rådgiver hos Niras

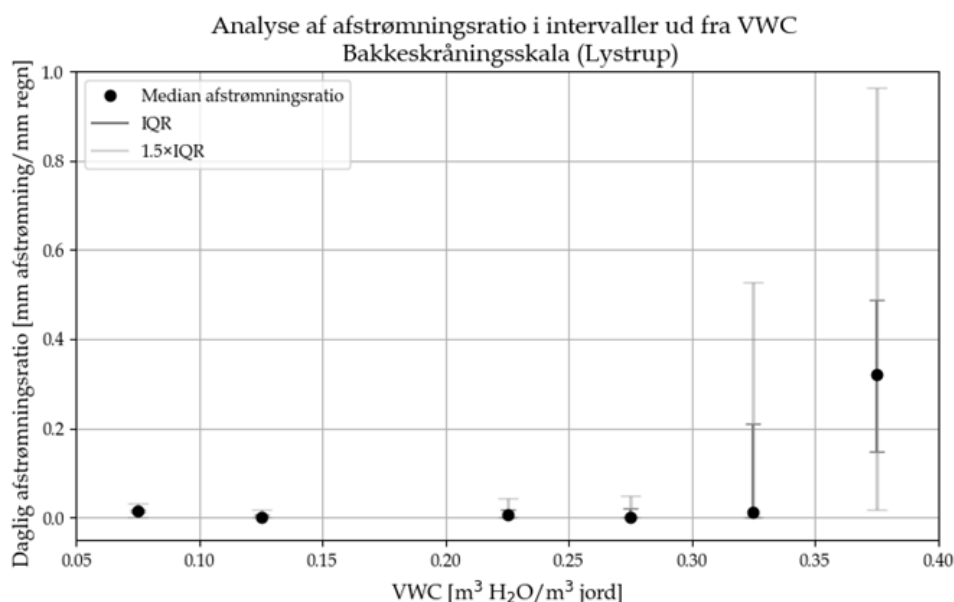
Søren Liedtke Thorndahl, lektor ved Aalborg Universitet
Jesper Ellerbæk Nielsen, lektor ved Aalborg Universitet

Afløbssystemerne er traditionelt set designet til at håndtere bidrag fra de befæstede arealer, men kan de ubefæstede arealer medføre et overset bidrag? Resultater fra undersøgelsen viser, at under særlige forhold, især om vinteren, bidrager grønne skrånede arealer op mod 100% til afløbssystemet.

Traditionelt antages det, at nedbør der falder på ubefæstede arealer infiltrerer til jorden og dermed ikke bidrager til det urbane afløbssystem. Dog kan der under visse betingelser være et bidrag som hyppigt benævnes situationsafhængig afstrømning. Disse betingelser inkluderer; kraftige regn-hændelser der overstiger jordens infiltrationskapacitet eller høj jordfugtighed der begrænser opmagasineringsniveauet i jorden. Hvis den situationsafhængige afstrømning er signifikant, kan den overskydende vandvolumen føre til kapacitetsproblemer i afløbssystemet, forøge volumener i regnvandsbassiner, nedsætte effektiviteten af renseanlæg og i kritiske tilfælde forårsage oversvømmelser. Bidraget fra de ubefæstede arealer afhænger i høj grad af jordens egenskaber og sammensætning, og kan derfor variere fra lokation til lokation.

Analyse af situationsafhængig afstrømning

Projektet VandKant blev startet i 2022 for bedre at forstå hvor og hvornår den situationsafhængige afstrømning foregår. Projektet inkluderer flere kommuner, forsyninger og private virksomheder. Hos vandselskaberne Vejle Forsyning, Novafos, Aarhus Vand og Vandcenter Syd er der etableret flere målelokaliteter som varierer i type og størrelse og der er indsamlet data i form af nedbørsmålinger, vandføringsmålinger og

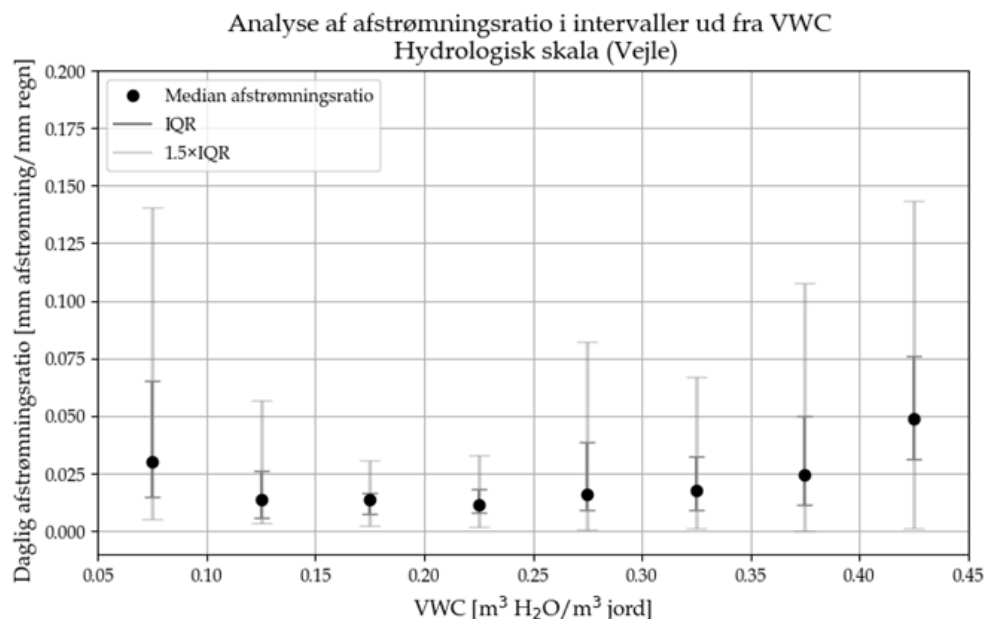
**Figur 1**

Afstrømningsratio for forskellige intervaller af volumetrisk vandindhold i jorden for Bakkeskråningsskala. Afstrømningsratioer over 1 er sorteret fra da disse kan skyldes snesmeltning samt usikkerheder i oplandsareal og målinger.

jordfugtighedsmålinger for hver lokation. Ved behandlingen af disse data, foretaget i et kandidatspeciale af Aalborg Universitet (Hansen et al., 2025), undersøges den situationsafhængige afstrømning på tre forskellige skalaer; bakkeskråningsskala, urban deloplandsskala og hydrologisk skala. Bakkeskråningsskalaen dækker over mindre græsarealer med en hældning, hvor afstrømningen opsamles med et linjedræn, og alt det opsamlede vand kan beskrives som situationsafhængig afstrømning. Urban deloplandsskala dækker over et større område med både befæstede og ubefæstede arealer, hvor afstrømningen er målt i afløbssystemet og derfor består af bidrag fra befæstede og ubefæstede arealer og eventuelt spildevand og indsvivende vand. Den største skala er den hydrologiske skala, som er det hydrologiske opland til Grejs Å i Vejle, hvor vandføringen i åen er målt. Problemstillingen i Vejle inkluderer høje vandstande i å-systemerne som løber gennem Vejle centrum. Her kan den situationsafhængige afstrømning medføre at vandstanden i vandløbene øges grundet den hurtigere afstrømning i og ovenpå topjorden.

Resultater

På bakkeskråningsskala og hydrologisk skala ses der en signifikant sammenhæng mellem jordfugtighed og afstrømningsratio (mm afstrømning pr. mm regn), hvilket sandsynligvis skyldes bidrag fra grønne områder. Den høje jordfugtighed observeres typisk om vinteren, hvor langvarige regnperioder og lav fordampning forekommer. På projektlukationen Lystrup i Aarhus kan det ses, at der er et bidrag fra det grønne areal når vandindholdet i jorden overstiger $0,31 \text{ m}^3 \text{ vand}/\text{m}^3 \text{ jord}$, og at bidraget er ubetydeligt ved lavere jordfugtigheder (jf. figur 1). På figur 1 findes en statistisk signifikant forskel mellem afstrømningsratioen ved en jordfugtighed på 0,35-0,4 sammenlignet med afstrømningsratioen ved jordfugtigheder under $0,35 \text{ m}^3 \text{ vand per m}^3 \text{ jord}$.

**Figur 2**

Afstrømningsratio for forskellige intervaller af volumetrisk vandindhold i jorden for Hydrologisk skala.

Afstrømningsratioer over 1 er sorteret fra da disse kan skyldes snesmeltning samt usikkerheder i oplandsareal og målinger.

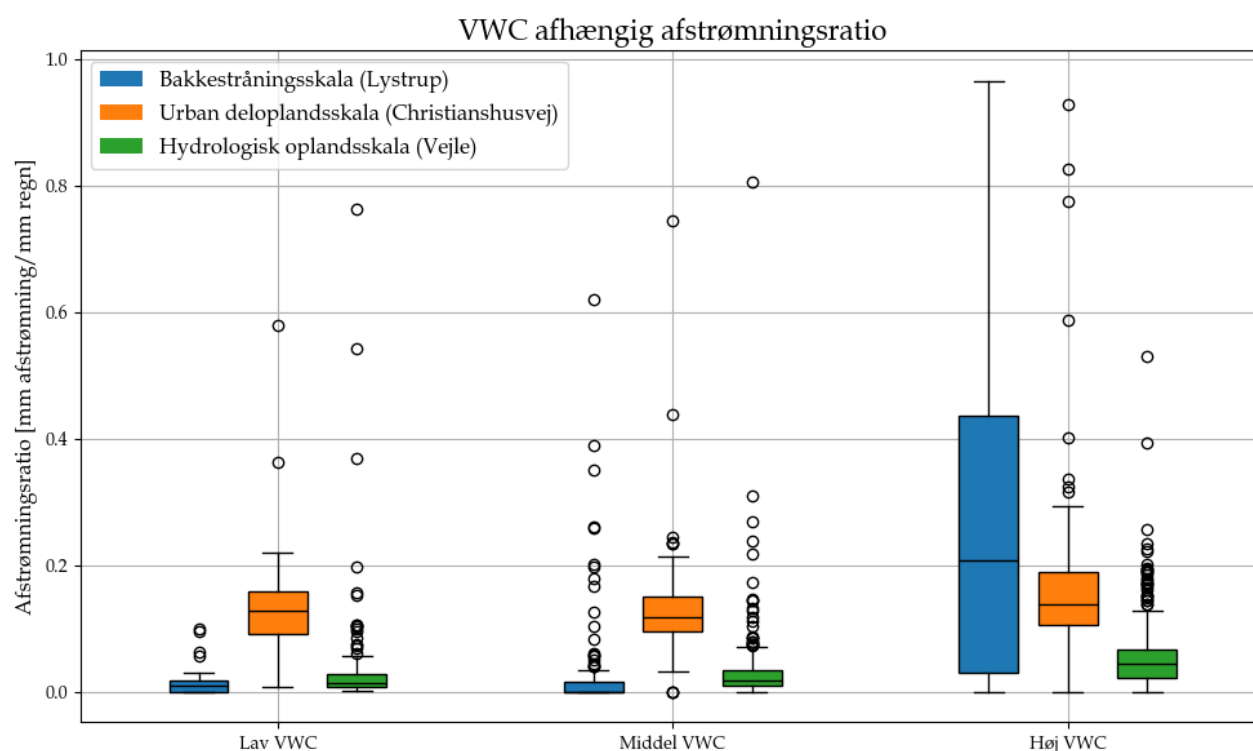
Samme tendens ses på hydrologisk skala i Vejle, hvor afstrømningen stiger når jordfugtigheden overskrider $0,33 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (jf. figur 2). Desuden ses der en lille stigning i afstrømningsratioen under meget tørre jordforhold ($< 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$), hvilket sandsynligvis skyldes hydrofobe forhold i jorden. På figur 2 findes en statistisk signifikant forskel mellem afstrømningsratioen ved en jordfugtighed på $0,40\text{-}0,45$ sammenlignet med afstrømningsratioen ved jordfugtigheder på $0,1\text{-}0,4 \text{ m}^3$ vand per m^3 jord.

På urban deloplandsskala er der ikke observeret en statistisk signifikant sammenhæng mellem afstrømningen og jordfugtigheden, hvilket sandsynligvis skyldes forsinkelsesbassiner på lokationerne, der kan minimere effekten af den situationsafhængige afstrømning samt at bidragene fra grønne arealer kan være skjult i bidrag fra de befæstede arealer. På baggrund af resultaterne fra bakkeskråningsskala vurderes det dog at der med høj sandsynlighed er bidrag fra de grønne arealer i urbane områder.

Ved høj jordfugtighed er der på bakkeskråningsskala i nogle tilfælde observeret en afstrømningsratio på over 0,9, hvilket svarer til et næsten fuldt bidrag fra det grønne areal (jf. figur 3). Forklaringen på denne høje afstrømning er sandsynligvis at der på lokationen er et kompakt lerlag i 40-50 centimeters dybde der forhindrer infiltration. På urban deloplandsskala og hydrologisk skala ses der en stigning i medianafstrømningsratioen ved høj VWC sammenlignet med medianafstrømningsratioerne ved lav og middel VWC. Dette indikerer at der kan være oversete bidrag fra grønne arealer på alle undersøgte skalaer og specielt grønne områder med en skråningshældning har risiko for at bidrage med op til 100 % til afløbssystemet.

Hvad er næste skridt?

Resultaterne fra analysen viser at antagelsen om at grønne arealer ikke bidrager til afløbssystemet i nogle tilfælde vil føre til, at betydelige bidrag bliver overset. En bedre forståelse af den situationsafhængige afstrømning vil medføre mere robuste og klimasikre afløbsløsninger. En del af denne forståelse ligger i at kunne identificere områder, hvor situationsafhængig afstrømning er af særlig betydning på grund af f.eks. jordsammensætning, beplantning eller topografi.



Figur 3
Afstrømningsratio for alle tre skalaer under lav, middel og høj volumetrisk vandindhold ($m^3 H_2O/m^3$ jord).

Specifikationer omkring analysen

På urban deloplandsskala og hydrologisk skala bliver den situationsafhængige afstrømning vurderet ved at fraskille spildevand, indsivende vand og grundvand ved en baseflowanalyse. Dataene for hver lokation grupperes i regn-hændelser og defineres ud fra regn start og 24 timer frem for bakkeskrånings- og urban deloplandsskala og 48 timer frem for hydrologisk skala. Dette gøres for at tage højde for forsinkelser mellem nedbør og vandføring, som er vurderet ud fra en krydskorrelation.

Bibliography

Hansen, A., Vilsen, H. K., & Solnæs, M. B. (2025). Analysing the Impact of Soil Moisture on Runoff from Urban Green Areas and Its Application in Flow Modelling. Kandidatspeciale Aalborg Universitet, Vand og Miljø

Kan det betale sig at håndtere det terrænnære grundvand?

Forsynings opgave og beregning af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed



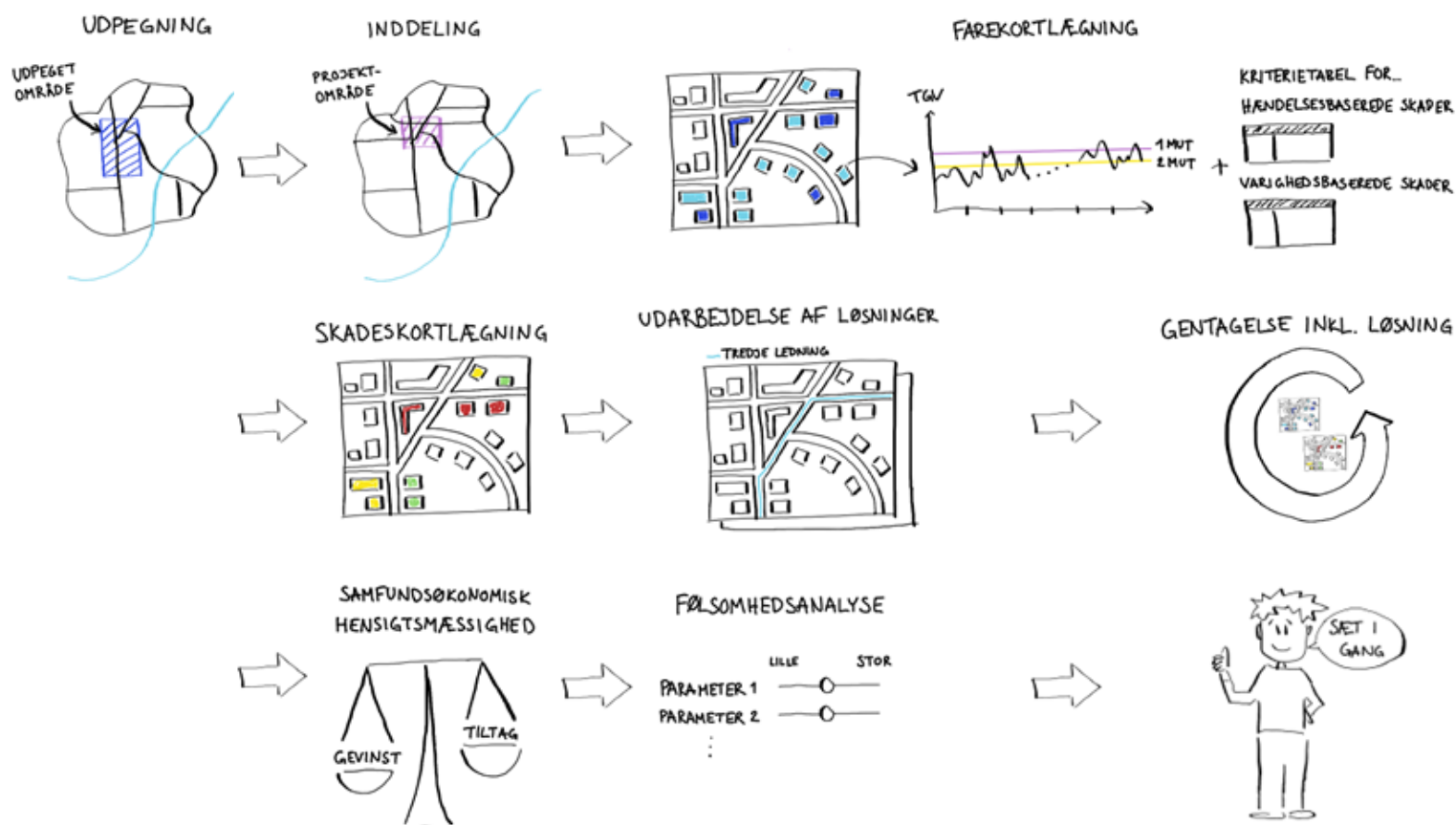
Af: Nadia Kirstein
Udviklingschef, Envidan

Branchen har i årevis efterspurgt muligheden for at håndtere det terrænnære grundvand – nu er loven trådt i kraft. Men har vi overhovedet data i en god nok kvalitet? Er opgaven ikke uoverstigelig stor? Og hvad med det dér samgravning?

Den 1. juli 2025 trådte en ny lov i kraft, der muliggør, at forsyninger håndterer det terrænnære grundvand i kollektive løsninger. Og ikke nok muliggør den det bare – hvis kommunen har udpeget et undersøgelsesområde i spildevandsplanen, så skal forsyningen lave en samfundsøkonomisk analyse af området. Og er den analyse positiv, så skal forsyningen også udføre projektet og får dermed forsyningspligt.

Overordnet proces

Vi venter stadig på den endelige bekendtgørelse og vejledning omkring forsyningernes opgave. Vejledningen forventes dog at lægge sig op ad Envidans rapport om samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed af kollektive løsninger til håndtering af terrænnært grundvand, som ligger offentligt tilgængelig på klimatilpasning.dk.



Trin i den samfundsøkonomiske analyse.

Forsyningen skal forventeligt igennem seks overordnede trin som led i beregningen af samfundsøkonomisk hensigtsmæssighed:

1. Opdeling af undersøgelsesområdet i relevante projektområder
2. Farekortlægning
3. Skadeskortlægning (af statusscenarie)
4. Udarbejdelse af løsning
5. Skadeskortlægning (af planscenarie)
6. Samfundsøkonomisk analyse

Derudover er det god ingeniørpraksis at lave en følsomhedsanalyse for at vurdere usikkerheden på den samfundsøkonomiske beregning.

Balance i usikkerheder

Det er selvfølgelig vigtigt, at datagrundlaget er i orden, og branchen har det seneste år talt meget om kvaliteten af det grundvandsdata, der skal ligge til grund for farekortlægningen. Er data fra HIP meget usikkert i et givent område, så er der heldigvis andre metoder til at estimere en mere korrekt grundvandsstand.

Det er dog vigtigt at huske, at usikkerheden af grundvandsdata skal vejes op mod usikkerheden af metoden generelt såvel som af de andre parametre, der bruges i analysen. Det giver altså ikke nødvendigvis ekstra værdi at kende grundvandsstanden med stor præcision, når selve metoden er designet til at arbejde med spring i grundvandsstand på 1 meter, og når der også er en væsentlig usikkerhed på f.eks. enhedspriserne for skadesgenopretning og kendskabet til andelen af eksisterende private omfangsdræn i området.

Her kan følsomhedsanalysen med fordel bruges aktivt som værktøj til at finde ud af, hvor – og om – der er behov for at reducere usikkerheden af de specifikke parametre, der er udslagsgivende for, om den samfundsøkonomiske analyse bliver negativ eller positiv.

Fokus for forsyningerne skal være på løsningerne

Det er en stor opgave som forsyningerne står overfor – men heldigvis ikke så stor, som den kunne virke.

Beregningerne kan (næsten) umuligt foretages for et helt område som håndberegninger eller i et Excel-ark, men med hjælp fra skræddersyede programmer er det nemt og hurtigt at foretage beregningerne.

Fokus for forsyningerne bør derfor være på at få designet de gode løsninger. Her har vi som branche meget at lære endnu, og ser man mod udlandet er der spændende initiativer, der kunne være interessante at teste i en dansk kontekst.

Timing er essentiel

Timing af, hvornår løsningen anlægges, er væsentlig af flere årsager.

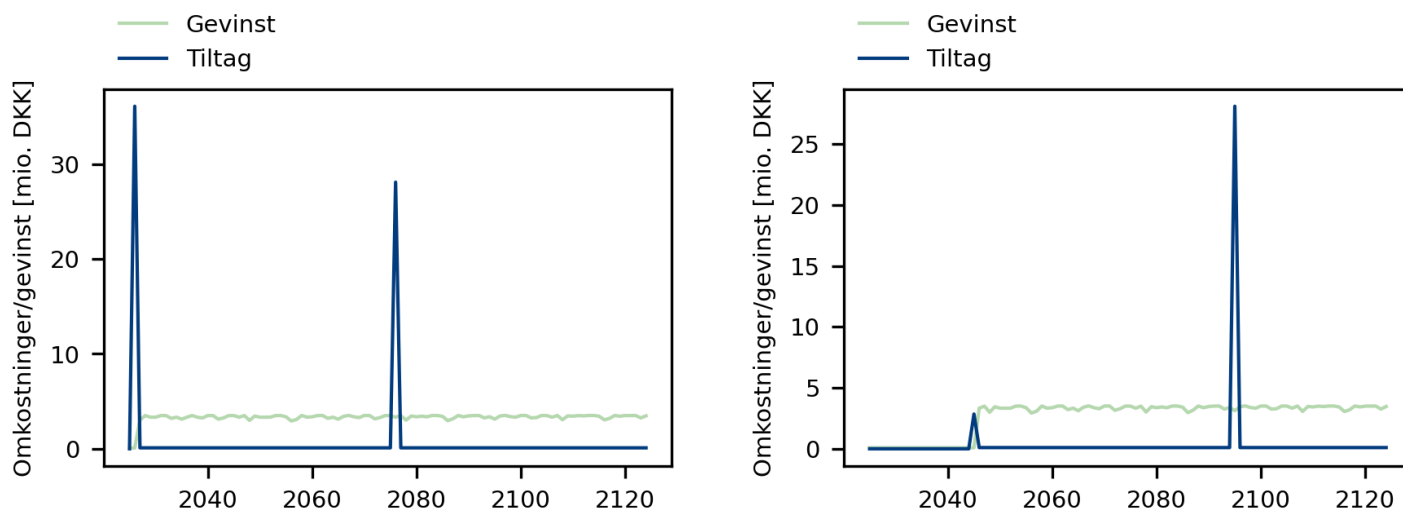
For det første er en krone ikke bare en krone. Når man udfører samfundsøkonomiske beregninger, skal omkostninger og gevinster over tid nemlig tilbagediskonteres til nutidsværdi. Jo længere ud i fremtiden omkostningerne og gevinsterne ligger, jo mindre er de værd i nutidskroner. Dette gør det svært på forhånd at estimere udfaldet af den samfundsøkonomiske analyse.

Timing med andre projekter kan desuden være essentiel for, at det kan betale sig at lave en kollektiv løsning til håndtering af terrænnært grundvand. Derfor kan det nogle gange betale sig at vente med at implementere en løsning til forsyningen f.eks. alligevel skal separatloakere et opland. Hvis der er længe til, så er der dog en risiko for, at skaderne, der fortsætter med at forekomme indtil projektet udføres, overstiger besparelsen i anlægsomkostninger ved at vente. Dette ser man f.eks. i beregningseksemplet i Bakkeby i Envidans rapport, hvor det samfundsøkonomisk bedre kan betale sig at anlægge en tredje ledning med det samme end at vente til der skal separatloakeres om 20 år. Det er dog også en mulighed at vende det hele på hovedet og spørge: Giver det mening at ændre i forsyningens separeringsstrategi, så områder med mange skader fra højtstående grundvand separeres tidligere end ellers planlagt?

Mens vi venter...

Forsyningerne kan først gå rigtigt i gang med de samfundsøkonomiske beregninger, når kommunerne har udpeget undersøgelsesområderne i spildevandsplanerne. Men der er masser af ting at arbejde med i mellemtiden.

For det første vil det være en klar fordel for forsyninger at være en medspiller i den kommunale udpegning. Dels ligger forsyningen inde med lokalkendskab om, hvor de f.eks. støder på terrænnært grundvand i anlægsprojekter, og hvor de har kommende anlægsprojekter (og hvor der dermed kan være samgravningsfordele). Dels er det også i forsyningens interesse at have medbestemmelse på, at den opgave, der efterfølgende lægges på deres bord, er meningsfuld for dem.



Omkostninger til tiltag (blå kurve) og reducerede omkostninger til skader (gevinst, grøn kurve) over tid når en tredje ledning anlægges i (venstre) år 2026 kontra (højre) år 2046. Det ses af den førstkomende mørkeblå peak, at tiltagsomkostningen falder markant, når der ventes til 2046, hvor forsyningen alligevel skal separatkloakere området. Dog er dette ikke nok til at opveje de skader – og deraf den missede gevinst – som opleves i perioden frem til 2046. Den anden mørkeblå peak repræsenterer reinvesteringen af tiltaget, der er upåvirket af samgravningsfordelene.

Dernæst kan forsyningen også med fordel allerede begynde at forberede det data, der skal bruges i analysen. Er der styr på mængden af indsivning? Hvordan er kvaliteten af HIP i forsyningsområdet? Hvad er planen, hvis HIP er for usikkert? Og hvad er ambitionsniveauet, når det kommer til løsninger – vil man helst lægge en traditionel drænledning, eller ønsker man i større grad at spille ind i den bæredygtige dagsorden og arbejde med blågrønne løsninger og merværdier?

Uanset hvad man vælger, så er det nu, man skal i arbejdstøjet.

Betydningen af den umættede zone, ved vurdering af det terrænnære grundvand



Af: Emil Bom Pedersen
Rambøll



Af: Kristian Roland Skjødt
Rambøll



Af: Mette Ryom
Rambøll

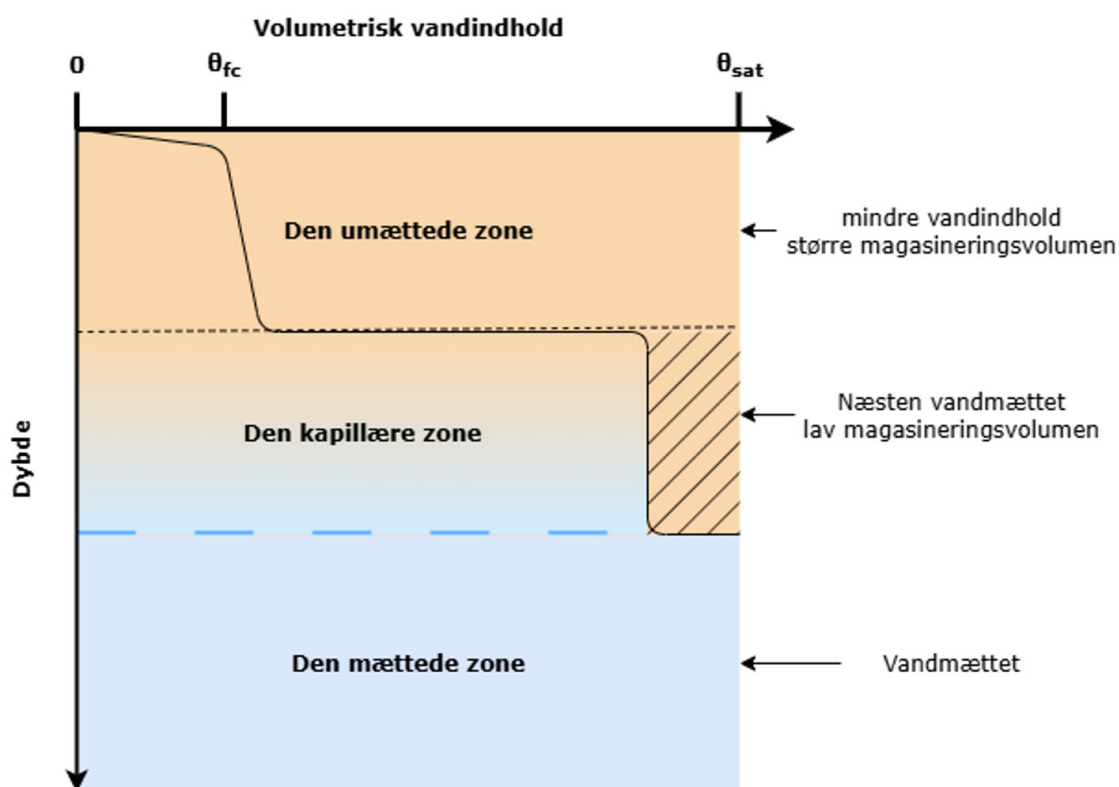
Vurdering af niveauet af det terrænnære grundvand er essentielt i alle faser under processen med den nye lov om håndtering af terrænnært grundvand.

Grundvandsstanden kan pejles i borer, registreres over tid med loggere, vurderes ud fra mængden af uvedkommende vand eller endda ud fra synlige observationer og registreringer. For at kunne udpege undersøgelsesområder, foretage hændelses- og varighedsbaserede skadesvurdering, effekt- og påvirkningsvurderer løsningsmuligheder samt planlægge de bedste håndteringsløsninger, kræves forskellige præcisionsniveauer af bestemmelsen af niveauet af det terrænnære grundvand, og i de fleste tilfælde kræves modellering af det terrænnære grundvand.

I denne artikel præsenteres to speciale projekter, der omhandler modellering af den umættede zone, samt den potentielle praktiske anvendelse heraf i arbejdet med det terrænnære grundvand.

Introduktion til den kapillære zone

Jorden kan opdeles i tre zoner i forhold til vandindhold (se figur 1). Den umættede zone indeholder vand, men væsentlig mindre end den kapillære zone. Den kapillære zone er en næsten vandmættet zone. Den mættede zone er vandmættet, hvilket betyder at alle porerne er fyldt med vand. Det er toppen af denne zone, som typisk vil svare til den grundvandsstand, der pejles i borer. Tykkelsen af zonerne kan



Figur 1
Opdelingen af jorden i zoner¹

variere og den umættede zone og den kapillære zone kan helt bortfalde hvis det terrænnære grundvand når terrænniveauet. Har den umættede og kapillære zone en vis tykkelse, vil der forekomme at være en vis kapacitet til optagelse af nedbør, men dette kan være farligt at antage, hvis den kapillære zone er den dominerende. De næsten vandmættede forhold i den kapillære zone resulterer i en meget lav kapacitet til magasinering af yderligere vand fra nedbør. Dette kan resultere i hurtige og store stigninger i grundvandsstanden som følge af nedbør. Derfor kan det i områder have væsentlig betydning at inddrage den kapillære zone i modelleringen af det terrænnære grundvand, samt de heraf følgende vurderinger.

¹ Skjødt, K. R. (2025). Modellering af det terrænnære grundvand – metode og analyse sammenligning. Aalborg Universitet.

Modellering af det terrænnære grundvand, Metode- og analyse-sammenligning

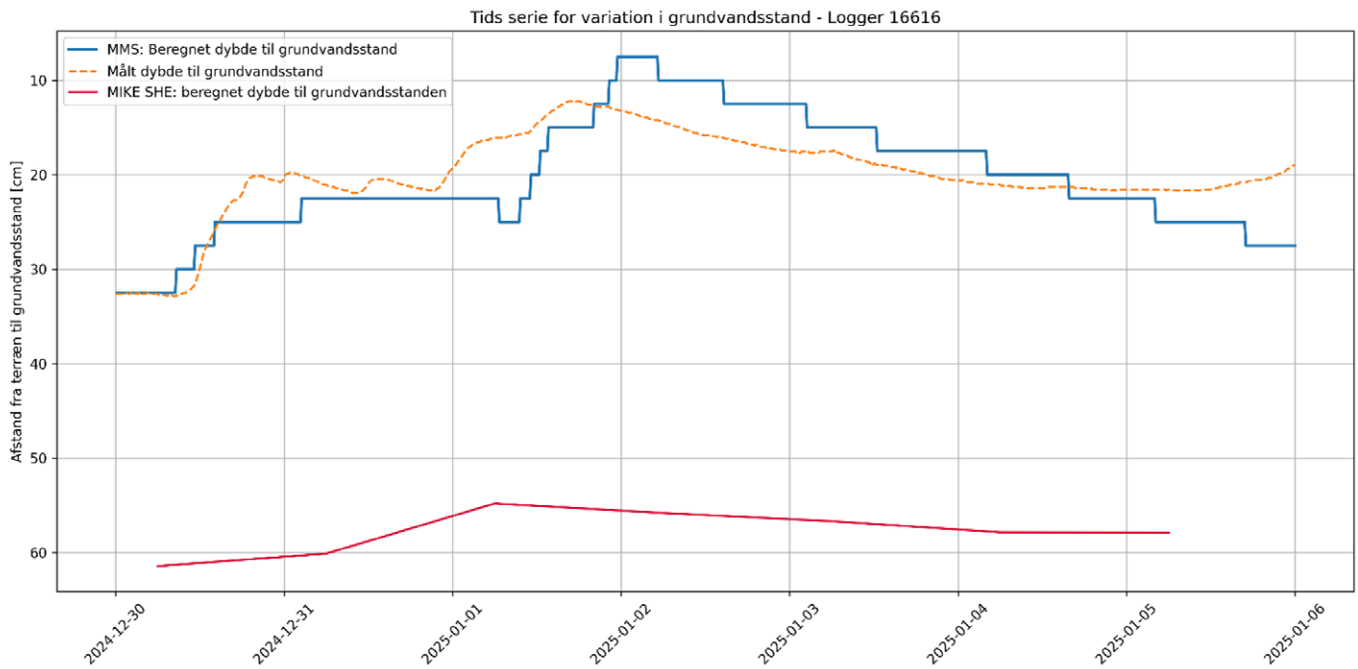
ved Kristian Roland Skjødt

Dette speciale sammenligner analysemetoder for det terrænnære grundvand, for et konkret projektområde med indsamling af lokale grundvandsloggerdata. Forskellige modelleringstilgange og kompleksiteter blev afprøvet og sammenlignet. En analytisk stationær løsning, en dynamisk numeriske løsning baseret på en MIKE SHE-model og en dynamisk numeriske model umættede zone model (MMS-model, Moving Mean Slope), hvor vandindholdet i og tykkelsen af den kapillære zone kan beregnes.

Undersøgelsen i projektområdet vha. screening for det terrænnære grundvand vha. HIP og lokale observationer viste høj risiko for at være udsat for problemer med højtstående terrænnært grundvand. Denne risiko er bekræftet og dokumenteret gennem indsamling af grundvandsloggerdata i perioden december 2024 til maj 2025. Håndtering af det terrænnære grundvand med etablering af en tredje drænløsnings er undersøgt ved vurdering af de forventede effekter og påvirkningskonsekvenserne. Dette er forsøgt vurderet ved hjælp af en analytisk løsning og en MIKE SHE-model. Her kan det konkluderes, at de to modeller overordnet viser en tilsvarende effekt på grundvandsstanden efter implementering af dræn. Den analytiske løsning vurderes at have større usikkerhed i resultaterne sammenlignet med MIKE SHE-modellen. Derfor kan det konkluderes, at den analytiske løsning kan være en tilstrækkelig metode, hvis risikoen for påvirkninger af eksisterende infrastruktur og natur er lav. Hvis risikoen vurderes at være høj, bør en mere avanceret model som MIKE SHE anvendes.

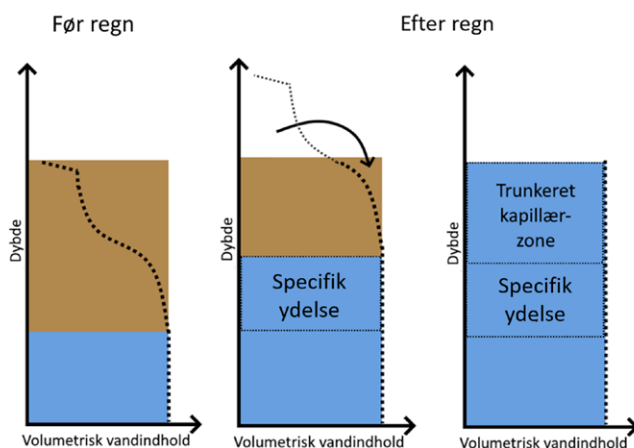
Der er i specialeprojektet anvendt dels en simpel MIKE SHE-model med simpel beskrivelse af den umættede zone. Denne model giver en tilfredsstillende gengivelse af grundvandsstanden generelt. Denne model er dog sammenlignet med en dynamisk numeriske umættede zone model (MMS-model, Moving Mean Slope) det giver en mere detaljeret beskrivelse af den kapillære zone. MMS-modellen viste sig at være i stand til at gengive den målte grundvandsstand inden for 0–10 cm samt overordnet at gengive grundvandsdynamikkerne. Dette er væsentligt bedre end MIKE SHE-modellen, særligt i forbindelse med dybere målte værdier af grundvandsstanden. MMS-modellens fordele er, at størrelsen på den kapillære zone og dens magasineringsvolumen er inkluderet. Det betyder, at MMS-modellen er i stand til at gengive stigninger og fald i grundvandsstanden over korte perioder, samt at modellen kan give indikationer på størrelsen af den kapillære zone. Se Figur 2 for sammenligning mellem MIKE SHE og MMS resultater.

På baggrund af dette projekt konkluderes det, at de indsamlede lokale grundvandsloggerdata er udgør det altafgørende grundlag for indsigt i grundvandsdynamikkerne i projektområdet. I forbindelse med modellering af det terrænnære grundvand, og særligt vurdering af løsninger, bør der foretages en foregående risikovurdering. Hvis der er stor risiko for påvirkning af beskyttet natur, sætningsskader, tvivl om effektradius mv., bør mere avancerede tilgange anvendes. Hvis risikoen er mindre, kan det i et vist omfang være tilstrækkeligt at anvende en analytisk løsning. Denne analytiske løsning kan sideløbende anvendes som startestimer for drændybder til en mere avanceret løsning. MMS-modellen kan anvendes som et supplement til f.eks. MIKE SHE for at give en mere detaljeret beskrivelse af dynamikkerne i den kapillære zone.



Figur 2

Sammenligning mellem MIKE SHE og MMS modelresultater af grundvandsstanden sammenstillet med målte grundvandsloggerdata².



Figur 3

Principskitse for trunkering af grundvandspejl under regn, reverse Wieringermeer effekt³.

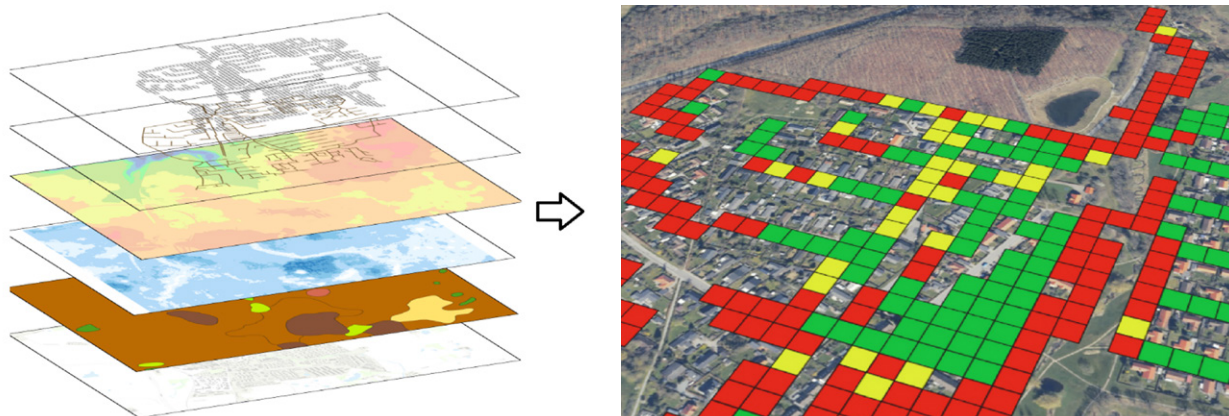
Udvikling af et screeningsværktøj til at vurdere risikoen for grundvandsinfiltration ind i afløbssystemer ved brug af modellering af det terrænære grundvand

ved Emil Bom Pedersen

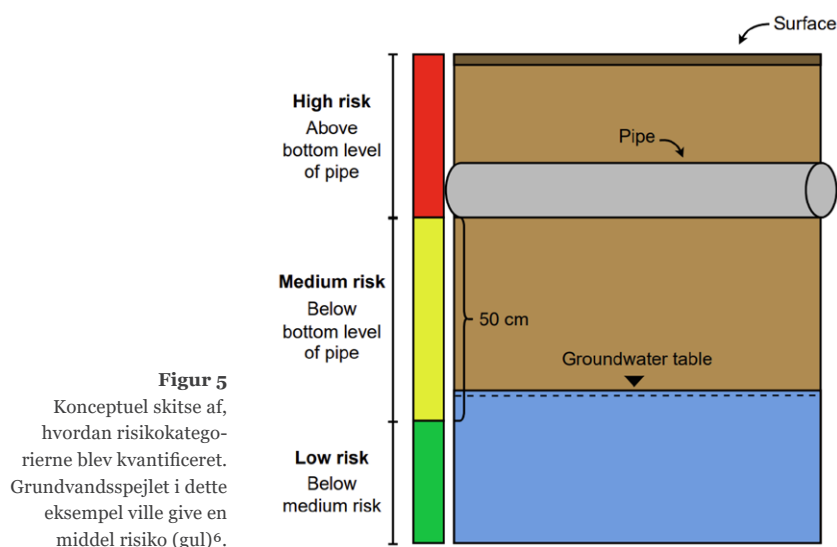
I dette speciale er blandt andet udviklet et screeningsværktøj, som kan bruges til at vurdere risikoen for grundvandsinfiltration ind i afløbssystemer. Screeningsværktøjet modellerer stigningen i grundvandet ved hjælp af MMS-modellen. På den måde opnår screeningsværktøjet en god modellering af det terrænære grundvand som kan tage højde for hurtigt stigende grundvand under regn grundet trunkering af kapillærzonen. En principskitse for trunkering af kapillærzonen under regn er vist på Figur 3.

² Skjødt, K. R. (2025). Modellering af det terrænære grundvand – metode og analyse sammenligning. Aalborg Universitet.

³ Pedersen, E. B., Nørhund, M. i D., & Pedersen, G. D. (2024). Development of a screening tool for risk assessment of groundwater infiltration into sewer systems - including capillary fringe induced rapid groundwater rise during rain. Aalborg Universitet.



Figur 4
Principskitse for screeningsværktøjet,
definitionen af de enkelte farvekategorier
fremgår af Figur⁵.



Figur 5
Konceptuel skitse af,
hvordan risikokatego-
rierne blev kvantificeret.
Grundvandsspejlet i dette
eksempel ville give en
middel risiko (gul)⁶.

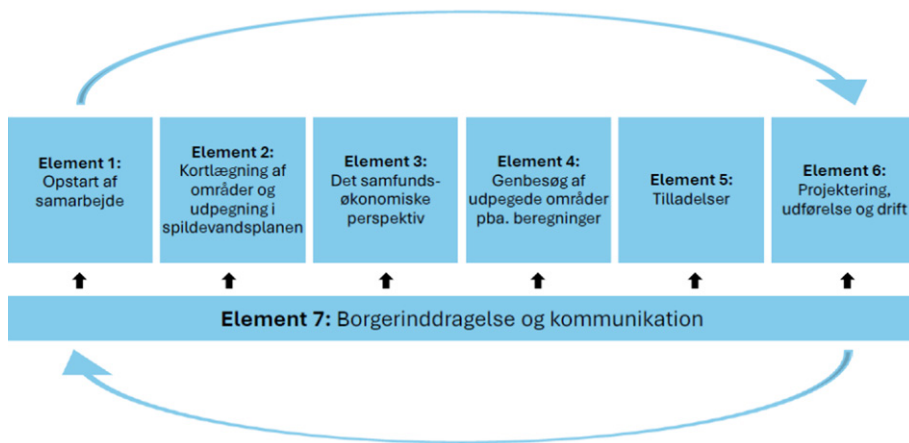
Når en kapillarzone bliver trunkeret vil det sige, at den bliver afskåret af overfalden, så den ikke kan nå sin fulde udbredelse. Hvis dette sker under regn, og grundvandet derfor stiger, vil mængden af vand som var i den øvre del af kapillarzonen skulle finde et andet sted at være, og vil bidrage til yderligere stigninger af grundvandet. Dette kan ofte lede til ret væsentlige stigninger sammenlignet med nedbørsmængden når grundvandet står meget terrænnært⁴. På Figur 3 kan effekten af trunkeringen af kapillarzonen ses sammenlignet med mere traditionelle metoder til modelleringen af stigningen ved anvendelse af det specifikke udbytte. Denne yderligere stigning der sker ved trunkering af kapillarzonen kaldes også reverse Wieringermeer effekt.

Som case område til udviklingen af screeningsværktøjet blev den danske by Beder, syd for Aarhus, anvendt. Screeningsværktøjet er baseret på hypotesen om, at grundvand infiltrerer ind i afløbssystemet pga. stigninger i grundvandsspejlet. Formålet med screeningsværktøjet er at udvikle et værktøj som kan hjælpe beslutningstagere med risikovurdering af uvedkommende vand i form af grundvandsinfiltration. Screeningværktøjet samler placeringen af afløbssystemet, overføre geologien fra jordartskortet,

⁴ Khaled, I. M., M. Tsuyoshi, N. Kohei, N. Taku, og I. Hiromi (2011). "Experimental and Modeling Investigation of Shallow Water Table Fluctuations in Relation to Reverse Wieringermeer Effect". I: Journal of Soil Science, 1, pp. 17–24.

⁵ Pedersen, E. B., Nørnlund, M. i D., & Pedersen, G. D. (2024). Development of a screening tool for risk assessment of groundwater infiltration into sewer systems - including capillary fringe induced rapid groundwater rise during rain. Aalborg Universitet.

⁶ Pedersen, E. B., Nørnlund, M. i D., & Pedersen, G. D. (2024). Development of a screening tool for risk assessment of groundwater infiltration into sewer systems - including capillary fringe induced rapid groundwater rise during rain. Aalborg Universitet.

**Figur 6**

De 7 elementer i procesbeskrivelsen af håndtering af terrænnært grundvand. KL og Danva.

et sæt geologiske parametre for type jorde, topografi og initialt grundvandsspejl fra HIP-modellen i et bestemt grid, se Figur 4. Herefter er MMS-modellen kørt i hver grid celle i screeningsværktøjet, hvorefter en rød, gul, grøn risiko farvekategori er beregnet for hver celle. De enkelte farvekategorier er vist på Figur 5.

Screeningsværktøjet udviklet i specialet viste overordnet at geologien og grundvands nærhed til terræn var de primært styrende faktorer for resultatet. Screeningsværktøjet er et hurtigt og nemt værktøj at anvende for beslutningstagere til at identificerer potentielle risiko-områder og dermed kan værktøjet hjælpe til identificerer hvilke områder indsatsen skal prioriteres.

Screeningsværktøjet anvendes i dets nuværende til at risikovurdere for grundvandsinfiltration i afløbssystemet. Dog vil værktøjet nemt kunne tilpasses andre risikovurderinger så længe sigt, at der kan defineres faste risikokategorier. Dette kunne f.eks. være sokkel under kant eller kælder niveau.

Praktiske anvendelser af modellering af det terrænnære grundvand med inklusion den kapillære zone

KL og DANVA har i forlængelse med lovgivningen om håndtering af terrænnært grundvand udgivet 'Procesbeskrivelse af håndtering af terrænnært grundvand'. Her foreslås meget fornuftigt at arbejdsprocessen kan opdeles i de 7 elementer gengivet i figur 7.

Vurdering af niveauet af det terrænnære grundvand er essentielt i store dele af processen. Ved opstart af processen vil det være naturligt at foretage en screening af det tilgængelige datagrundlag for vurdering af niveauet af det terrænnære grundvand. I element 2 kan HIP være et tilstrækkeligt grundlag, men i de senere procestrin er der efterhånden bred enighed om, at det er nødvendigt at supplere HIP med lokale data og viden. Den lokale data og viden, kan være grundvandsspejlinger i borer, registrerede grundvandsstande over tid med loggere, vurderede mængder af uvedkommende vand eller endda synlige observationer og registreringer.

Indsamling af grundvands-loggerdata i udpegede relevante områder, vil kunne gavne i alle de efterfølgende procestrin. Disse kan være med til at be- eller afkræfte HIPs modelberegninger, og kan anvendes til at opdatere HIP-grundlaget. Logger-tidsserier af grundvandsstanden en væsentlig del i at forstå dynamikkerne for grundvandet; hvordan grundvandsstanden ændrer sig ved enkelte og gentagende perioder med nedbør, jordens magasineringskapacitet og tærskelkapacitet. Disse tidsserier er tilsvarende væsentlige som be- eller afkræftelse af modelberegninger vist HIP, samt en anvendelse til kalibrering af en evt. grundvandsmodel. Udpegning af relevante områder til indsamling af grundvands-loggerdata bør baseres på en screening af allerede tilgængelige øvrige data samt område-karakteristika og kompleksitet. Denne screening vil tilsvarende kunne anvendes til en skalering eller valg af analyse-niveau i de efterfølgende procestrin; om en analytisk løsning er tilstrækkelig, eller der er behov for mere nuancerede modeltilgange.

Risikovurderings faktorer	Rød	Gul	Grøn
Naturpåvirkning	Høj	Høj	Lav
Sætningsskader	Høj	Mellem	Lav
Mobilisering af forurening	Høj	Høj	Lav
Usikkerhed i screening / HIP	Høj	Høj	Lav
Kompleksitet af geologi	Høj	Mellem	Lav

Figur 7

Eksempel på en risikovurdering/screening af områdekompleksiteten for vurdering af behov for dataindsamling og analysetilgang⁷.

GRØN:

Yderligere dataindsamling er måske ikke nødvendigt, og en analytisk løsning/screening vil være tilstrækkelig.

GUL:

Dataindsamling kan være relevant, og analysetilgangen kan f.eks. være en simpel lokal MIKE SHE model tilpasset de lokale forhold med randbetingelser fra HIP.

RØD:

Her prioriteres yderligere dataindsamling, og analysetilgangen kunne f.eks. være en MIKE SHE model med en forfinet beskrivelse af den kapillære zone.

En screening af behov for indsamling af grundvands-loggerdata samt skalering af analysetilgang kan være ved at rangere en række udvalgte parametre som; jordartsforhold, bygningstæthed, HIP-risikoniveau, HIP-usikkerhedsniveau, nærtliggende §3-natur, jordforureninger mv. Et eksempel på en sådan screeningstilgang er vist i figur 7 i form af en risikovurdering, som blev anvendt i det førstnævnte specialeprojekt. Denne risikovurdering kan være med til at understøtte prioritering af supplerende dataindsamling samt kompleksitet i analysetilgangen.

Da udpegning af områder sætter krav til at de er regnvandskloakeret eller planlagt til regnvandskloakering, vil disse nemt blive omfattet af den gule risikoklassificering, da regnvandskloakeret områder oftest vil være bebygget områder. Dette skyldes risiko for sætninger, risiko for mobilisering af forurening og generel kompleks geologi med masser af fyldmaterialer.

I nedenstående gives yderlige eksempler på hvordan erfaringerne fra specialerne med modellering med inklusion af den kapillære zone, kan indgå i procesrinnene 'Element 2: Kortlægning af områder og udpegning i spildevandsplanen' og 'Element 3: Det samfundsøkonomiske perspektiv'.

Element 2:**Kortlægning af områder og udpegning i spildevandsplanen**

De nuværende lovkrav fra spildevandsbekendtgørelsen ligger op til at HIP suppleret med lokal viden og data for at udpege områder til spildevandsplanen. I element 2 kan HIP være et tilstrækkeligt, men som nævnt ovenfor er det værd at foretage en screening af datagrundlaget om områdets karakteristik og kompleksitet for vurdering af eventuelt behov for indsamling af yderligere lokale grundvandsloggerdata. Disse kan være med til at be- eller afkræfte HIPs modelberegninger, og dermed kvalificere udpegningen af undersøgelsesområder til den videre proces.

Som det er beskrevet ovenfor under de to speciale-projekter har jordarten og grundvands nærhed til terræn en væsentlig betydning for hvor meget og hvor hurtigt grundvandet stiger efter nedbør. Jordarten har også en stor betydning for hvor hurtigt grundvandet falder igen efter regn. Ved at inddrage f.eks. screeningsværktøjet udviklet ved overstående beskrevne speciale kan der tages højde for disse geologiske dynamikker. Dette vil være en relativt hurtig måde at nuancere vurderingen og udpegning af områder til spildevandsplanen med inddragelse af de mulige effekter fra den kapillære zone, som kan undervurdere risikoniveauet for påvirkning af terrænnært grundvand.

⁷ Skjødt, K. R. (2025). Modellering af det terrænnære grundvand – metode og analyse sammenligning. Aalborg Universitet.

Element 3:

Det samfundsmæssige økonomiske perspektiv

På baggrund af element 2 og en risikovurdering for sænkningen af det terrænnære grundvand kan der gennemføres beregninger på baggrund af den valgte løsning for at kunne anskue det samfundsøkonomiske perspektiv.

Det samfundsøkonomiske perspektiv afhænger væsentlig, at hvilke kriterier der stilles op for skadevoldende dybder. Den skadevoldende dybde kan i områder være væsentlig undervurderet hvis den baseres på pejlede eller loggede grundvandsstande, som ikke tager højde for den kapillære zone. Dette undgås ved inddragelse af de mulige effekter fra den kapillære zone.

Den nuværende udkast til bekendtgørelse beskriver, at der kan opstilles forskellige kriterier for skadevoldende niveauer for grundvandet. Disse kriterier kan derfor tilpasses til det specifikke projekt. Denne nuancering gør det muligt at beregne samfundsøkonomien for det enkelte udpegningsområder med netop de problematikker som er til stede der.

Anvendelse i praksis ved et projekt i Aarhus Kommune.

Viden om den kapillære zone koblet til element 2 og element 3 er anvendt til at undersøge årsagerne bag fugtige fundamenter og våde kældre i et boligområde i Aarhus Kommune. Projektet var et tværfagligt samarbejde mellem grundvand, afvanding og bygningsrenovering. Her blev grundvandsloggere opsat, fundamenter opgravet og ledningsnettet kontrolleret. Loggere viste at årsagen bag problematikkerne skyldes højtstående terrænnært grundvand. Et projekt specifikt kriterie for de skadevoldende dybder blev opsat, samt opdateret enhedspriser anvendt i de samfundsøkonomiske beregninger. Det tværfaglige samarbejde samt gennemgående analyser af både grundvandsforhold og afvandingsforhold muliggjorde en mere retvisende samfundsøkonomi i forhold til skader på bygningsmasse og forbedringer til dræningsforhold.

Opsamling

En retvisende vurdering af det terrænnære grundvandsniveau kræver godt datagrundlag, samtidig med at det er afgørende for vurdering af risikoniveauet, at den umættede og særligt den kapillære zone inddrages aktivt. Når grundvandet står terrænnært, er jordens magasineringsskapacitet ofte meget begrænset, og selv moderate regnhændelser kan medføre hurtige og betydelige stigninger i grundvandsstanden. Disse dynamikker kan ikke tilstrækkeligt beskrives med traditionelle stationære metoder eller ved udelukkende at anvende pejlede grundvandsstande.

De to præsenterede specialer dokumenterer, at modellering, der inkluderer den kapillære zone – eksempelvis via MMS-modellen – giver en væsentligt bedre gengivelse af korttidsvariationer og regnbetingede stigninger i grundvandsstanden end mere simple betragtninger.

Viden om den umættede og kapillære zone kan anvendes til at styrke vurderingen af terrænnært grundvand i hele processen fra screening til valg af løsning. Særligt i områder med højtstående grundvand kan traditionelle metoder undervurdere både niveauer og stigninger efter regn.

Ved at inddrage denne viden i screeningsværktøjer og modellering kan indsatsen for dataindsamling og analyse målrettes de mest komplekse områder. Samtidig muliggør det en mere retvisende vurdering af skadevoldende grundvandsniveauer og dermed et bedre grundlag for prioritering af indsatser og samfundsøkonomiske beregninger.

Tid til nye metoder til monitorering af vandkvaliteten i byområder!

Urban M2O – sikring af nem og praktisk indsamling af vandkvalitetsdata

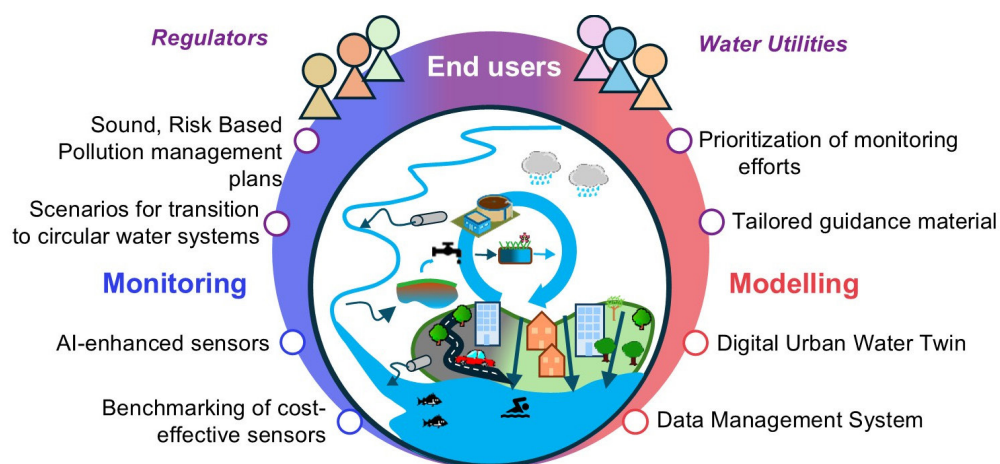


Af: Luca Vezzaro, DTU

URBAN M2O er et nyt EU-projekt, der skal sikre, at vi får alle de vandkvalitetsdata, vi har brug for at mindske forurening til vandmiljøet. URBAN M2O vil kombinere nye sensorer med digitale tvillinger til at overvåge mange forskellige typer forurening i byernes vandsystemer. Projektets mål er at tilbyde fleksible løsninger, der kan tilpasses de forskellige udfordringer, som byer i hele Europa står over for.

Monitorering af vandkvalitet i integrerede urbane vandsystemer (drikkevand, fælles og separate afløbssystemer, grundvand, overfladevand og det naturlige vandmiljø) har altid været en kompleks og kostbar proces. Derfor er der generelt mangel på tilgængelige data over de mange forurenende stoffer, der findes i de forskellige vandmatricer i byområder. Monitorering af vandkvalitet er dog afgørende for at kunne håndtere de udfordringer, som byerne står overfor med hensyn til reduktion af forurening, tilpasning til klimaforandringer og en mere bæredygtig håndtering af vand. Derudover har en strengere fortolkning af eksisterende regler og ny miljølovgivning, såsom det nye EU's byspildevandsdirektiv, øget fokus på behovet for at indsamle data om eksisterende forureningsniveauer.

Denne fornyede opmærksomhed står dog over for den udfordring, at eksisterende monitoreringsløsninger ikke giver tilstrækkelig information til at understøtte indsatsen for at mindske forurening på en store urbane skala. De nuværende sensorer og laboratoriebaserede prøveanalyser måler typisk få forurenende stoffer, ellers er de dyre (både i anskaffelse og drift). Sensorerne er svære at installere og vedligeholde og kræver omfattende datavalidering, mens automatiske prøvetagere har begrænset rumlig og tidsmæssig opløsning. Modelleringsværktøjer og digitale tvillinger af vandinfrastruktur kan kompensere for disse mangler ved at forudsige vandkvalitet på steder, som ikke er monitoreret, eller estimere vandkvalitet i perioder, hvor dataindsamling ikke var mulig (såkaldte software-sensorer). Modeller integrerer dog sjældent vandkvalitetsniveaurealtidsdata og påvirkes af flere usikkerhedskilder. Endelig hæmmer datafragmentering tilgængeligheden af data for beslutningstagere, da måledataenes lagring typisk er spredt over forskellige systemer og administrative enheder.



URBAN M₂O projektet, der finansieres af EU's Horizon-program, blev iværksat i juni 2025 for at håndtere disse udfordringer. URBAN M₂O sigter efter en fremtid, hvor beslutningstagerne kan indsamle alle nødvendige oplysninger om nuværende og fremtidige trusler mod det urbane vandmiljø, som skyldes forskellige forurenende stoffer (og blandinger heraf), som stammer fra forskellige kilder i byområder.

URBAN M₂O bygger på ideen om at kombinere innovative monitoreringsløsninger med dynamiske matematiske modeller for at skabe synergier mellem disse to datakilder. URBAN M₂O vil opgradere eksisterende omkostningseffektive sensorer med AI-metoder, der kombinerer flere signaler for at forbedre sensorernes nøjagtighed og præcision samt for at estimere proxy-indikatorer for vandkvalitet. Data fra sensorerne vil derefter blive integreret med skræddersyede modelleringsværktøjer (digitale tvillinger), som vil kvantificere strømme af forskellige forurenende stoffer igennem det urbane vandsystem. Integration af modeller og sensorer vil gøre det muligt at ekstrapolere information på rumlig og tidsmæssig basis (dvs. hvor sensorer ikke er tilgængelige, eller når monitoreringsdata ikke blev registreret). Da målinger af vandkvaliteten i byområder er forbundet med en vis naturlig usikkerhed, vil alle resultater blive analyseret i en risikobaseret ramme, hvor der tages højde for både monitorerings- og modelleringsusikkerheder.



De fem udviklede sensorer, der er målrettet forskellige vandkvalitetsindikatorer (partikler, tungmetaller, organiske miljøfremmede stoffer, bakterier, økologisk toksicitet), vil blive valideret og sammenlignet mod traditionelle monitoreringsmetoder, dvs. mod monitoreringsprotokoller, der i øjeblikket er anvendt og anerkendt af miljømyndighederne i hele Europa. Sammenligningen vil vurdere sensorernes præcision og nøjagtighed, men også deres omkostninger, både i form af CAPEX og OPEX (herunder ressourcer, der skal afsættes til indkøb, sensorvedligeholdelse og drift, men også datavalidering). De digitale tvillinger, der assimilerer data fra monitoreringskampagnerne, kan også anvendes til at vurdere effekten af planlagte indsatser for at reducere forurening og for at understøtte implementeringen af monitoreringskampagner (f.eks. ved at hjælpe med at identificere potentielle forureningshotspots, hvor monitoreringsindsatsen bør fokuseres). Dataene, der genereres gennem monitorering og modellering, vil blive udvekslet via et Data Management System (DMS). DMS skal understøtte udviklingen og implementeringen af planer til forbedring af vandkvalitet i byområder, ved at udveksle dataene mellem flere aktører og på tværs af flere organisationer.

URBAN M₂O-projektet involverer 20 partnere fra over 10 lande i Europa. Monitorings-, modellerings- og datadelingsløsninger vil blive demonstreret i tre casestudier (Barcelona, Zürich og København). Projektet ledes af DTU med deltagelse af tre andre Danske partnere: Miljøportalen, Københavns Kommune og Miljøstyrelsen. I Danmark vil URBAN M₂O demonstrere nye tilgange til at monitorere vandkvalitet i regnbetingede udledninger (fælles kloakoverløb og udledning fra separate afløbssystemer), vurdere fjernelse af forureningsstoffer i grønne løsninger (f.eks. rødzone anlæg) og badevandskvalitet i badezoner. Sensorerne vil blive placeret flere steder i Københavns vandsystemer, primært omkring Utterslev Mose og i Københavns Havn. Monitoreringskampagnen vil vare to år og starte sommeren 2026.



Alle løsninger udviklet af URBAN M₂O vil blive skræddersyet til slutbrugernes behov (myndigheder, vandforsyninger). Disse aktører er derfor velkomne til at følge projektets udvikling, give feedback under de arrangementer, der organiseres i de næste tre år, og potentielt teste nogle af de udviklede tilgange i deres egne oplande. Store danske vandforsyninger (HOFOR, BIOFOS, NOVAFOS, Aarhus Vand, Vandcenter Syd) og Spildevandskomiteén deltager allerede i den såkaldte "Exploitation Group", som giver direkte indsigt i projektets fremskridt, mulighed for at påvirke projektets udvikling og tidlig adgang til de udviklede løsninger. Exploitation Group er åben for nye deltagere, og information om, hvordan man tilmelder sig, findes på projektets hjemmeside (www.urbanM2O.eu/meet-us/).

Desuden følger URBAN M₂O FAIR-principperne (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), og alle projektets resultater vil være offentligt tilgængelige. URBAN M₂O har allerede organiseret en række workshops for at indsamle information om nuværende og fremtidige monitoreringsbehov (type af vandkvalitetsindikatorer, nødvendig monitoreringsfrekvens, datalagring, tilgængelighed og visualisering), hvilket vil hjælpe med udviklingen og benchmarkingen af de nye monitoreringsløsninger. I de kommende år vil URBAN M₂O levere værktøjer og vejledning til at ændre den måde, vi indsamler vandkvalitetsdata i byområder på, samt gøre monitorering enklere, billigere og mere robust. Alt dette vil føre til bedre handlemåder til at reducere forurening fra byområder og dermed forbedre vandkvaliteten i vores byer.



Modelbaseret beregning af det optimale klimatilpasningsniveau



Af: Dan Rosbjerg, Institut for Miljø- og Ressourceteknologi, DTU

Introduktion

Der er i det efterfølgende foretaget en række tilnærmede beregninger med henblik på at bestemme nutidsværdien af de samlede omkostninger til skader og klimatilpasningstiltag som funktion af klimatilpasningsniveauet (serviceniveauet). Det optimale serviceniveau er beregnet som det, der minimerer nutidsværdifunktionen, hvilket modsvarer af den maksimale nettonutidsværdi. For den samfundsøkonomiske metode henvises til [1], mens klimafremskrivning er beskrevet efter en metode udviklet i [2], og som case er valgt Eksempel I i [3].

Log-lineære skades- og kapitalomkostningsfunktioner

Det antages her, at der kan opnås en tilstrækkelig præcis skadesberegning med en enkelt log-lineær model for skadesfunktionen $D(T)$ som funktion af den nutidige gentagelsesperiode T (normalt en meget robust antagelse)

$$D(T) = a \ln T + b \quad (1)$$

Konstanterne a og b kan let findes ved at plotte i Excel og indlægge en regressionslinje.

Kapitalomkostningerne $C(T)$ til klimatilpasning antages ligeledes at variere som en log-lineær funktion (også en robust antagelse)

$$C(T) = c \ln T + d \quad (2)$$

hvor konstanterne c og d ligeledes kan findes ved at plotte i Excel og indlægge en regressionslinje.

Forventet årlig skadesomkostning og klimafaktor

Den forventede årlige skadesomkostning EAD er jf. [1]

$$EAD = \frac{a}{T_0}; \quad T_0 = \exp\left(-\frac{b}{a}\right) \quad (3)$$

Efter klimatilpasning svarende til gentagelsesperioden T bliver EAD jf. [1]

$$EAD = \frac{a}{T} \quad (4)$$

under forudsætning af, at stigningstakten i skadesomkostningerne er uændret i tiden. Imidlertid vil der ske en gradvis ændring i stigningstakten af EAD pga. klimaudviklingen, se nedenfor.

Hvis $x_{T,c}$ angiver T -årshændelsen i det nutidige klima, og $x_{T,f}$ betegner T -års hændelsen i det fremtidige klima defineres klimafaktoren CF

$$CF = \frac{x_{T,f}}{x_{T,c}} \Rightarrow x_{T,f} = CF x_{T,c} \quad (5)$$

Klimafaktoren antages i det følgende at variere lineært fra 1 til $CF(L)$ gennem levetiden, som nedenfor er antaget at være $L = 100$ år. Herved fås

$$\theta = \frac{CF(L)-1}{L} \quad (6)$$

hvor $\theta = 0.004$ for $CF(L) = 1.4$. Hældningen på skadeskurve i år L er jf. [1] approksimativt $a CF(L)$, hvilket i kombination med den lineære variation leder til tidsafhængigheden

$$a(t) = a CF(t) = a + a\theta t \quad (7)$$

Tages der jf. [2] yderligere hensyn til, at klimafaktoren er en funktion af gentagelsesperioden

$$CF(T) = \alpha + \beta \ln T \quad (8)$$

hvor $\alpha = 1.1718$ og $\beta = 0.0506$, fås

$$\theta(T) = \frac{CF(L,T)-1}{L} = \xi + \eta \ln T \quad (9)$$

hvor $\xi = 0.001718$ og $\eta = 0.000506$.

Derved bliver hældningen på skadeskurven som funktion af både t og T

$$a(t, T) = a + a(\xi + \eta \ln T) t \quad (10)$$

Tilbagediskontering

Ved tilbagediskontering af skadesomkostninger gennem levetiden må der tages hensyn til den tidsmæssige udvikling i klimafaktoren. Benævnes diskonteringsrentefoden r , kan diskonteringsfaktoren for den samlede udgift mellem årene t_i og t_j , når de årlige udgifter er konstante, beregnes til

$$\varphi_1(t_i, t_j) = \int_{t_i}^{t_j} e^{-rt} dt = \frac{1}{r} (e^{-rt_i} - e^{-rt_j}) \quad (11)$$

For udgifter, der er proportionale med t , bliver den samlede diskonteringsfaktor for udgifter mellem t_i og t_j

$$\varphi_2(t_i, t_j) = \int_{t_i}^{t_j} t e^{-rt} dt = \frac{1}{r^2} (e^{-rt_i} - e^{-rt_j}) + \frac{1}{r} (t_i e^{-rt_i} - t_j e^{-rt_j}) \quad (12)$$

hvoraf

$$\varphi_1^* = \varphi_1(0, L) = \frac{1}{r} (1 - e^{-rL}) \quad (13)$$

$$\varphi_2^* = \varphi_2(0, L) = \frac{1}{r^2} (1 - e^{-rL}) - \frac{L}{r} e^{-rL} \quad (14)$$

$$\varphi_1(0, \tau) = \frac{1}{r} (1 - e^{-r\tau}) \quad (15)$$

$$\varphi_2(0, \tau) = \frac{1}{r^2} (1 - e^{-r\tau}) - \frac{\tau}{r} e^{-r\tau} \quad (16)$$

$$\varphi_1(\tau, L) = \frac{1}{r} (e^{-r\tau} - e^{-rL}) \quad (17)$$

$$\varphi_2(\tau, L) = \frac{1}{r^2} (e^{-r\tau} - e^{-rL}) + \frac{1}{r} (\tau e^{-r\tau} - L e^{-rL}) \quad (18)$$

$$\varphi_1^I = \frac{1}{r_1} (1 - e^{-r_1 t_1}) \quad (19)$$

$$\varphi_2^I = \frac{1}{r_1^2} (1 - e^{-r_1 t_1}) - \frac{t_1}{r_1} e^{-r_1 t_1} \quad (20)$$

$$\varphi_1^{II} = \frac{1}{r_2} (e^{-r_2 t_1} - e^{-r_2 t_2}) \quad (21)$$

$$\varphi_2^{II} = \frac{1}{r_2^2} (e^{-r_2 t_1} - e^{-r_2 t_2}) + \frac{1}{r_2} (t_1 e^{-r_2 t_1} - t_2 e^{-r_2 t_2}) \quad (22)$$

$$\varphi_1^{III} = \frac{1}{r_3} (e^{-r_3 t_2} - e^{-r_3 t_3}) \quad (23)$$

$$\varphi_2^{III} = \frac{1}{r_3^2} (e^{-r_3 t_2} - e^{-r_3 t_3}) + \frac{1}{r_3} (t_2 e^{-r_3 t_2} - L e^{-r_3 t_3}) \quad (24)$$

$$\Phi_1 = \varphi_1^I + \varphi_1^{II} + \varphi_1^{III} \quad (25)$$

$$\Phi_2 = \varphi_2^I + \varphi_2^{II} + \varphi_2^{III} \quad (26)$$

Optimalt klimatilpasningsniveau uden og med klimafaktorens T -afhængighed

De årlige vedligeholdelsesomkostninger antages at svare til en faktor ρ af anlægsudgiften. Nutidsværdien af anlægsomkostninger og fremtidige skades- og vedligeholdelsesomkostninger bliver herved, når der ikke tages hensyn til klimafaktorens afhængighed af T

$$\begin{aligned} PV(T) &= C(T) + \int_0^L \left\{ \left[\frac{a}{T} + \rho C(T) \right] e^{-rt} + \frac{a\theta}{T} e^{-rt} \right\} dt \\ &= (c \ln T + d)(1 + \rho \varphi_1^*) + \frac{a}{T} \varphi_1^* + \frac{a\theta}{T} \varphi_2^* \end{aligned} \quad (27)$$

Det optimale klimatilpasningsniveau T_{opt} kan nu bestemmes ved at sætte den afledede med hensyn til T lig med 0, hvoraf

$$T_{opt} = T_{opt} = \frac{a}{c} \frac{\varphi_1^* + \theta \varphi_2^*}{1 + \rho \varphi_1^*} \quad (28)$$

Tages der hensyn til T -afhængigheden, fås

$$\begin{aligned} PV(T) &= \left\{ C(T) + \int_0^L \left[\frac{a}{T} + \rho C(T) \right] e^{-rt} dt + \left[\frac{a\xi}{T} + \frac{a\eta \ln T}{T} \right] e^{-rt} \right\} dt \\ &= (c \ln T + d)(1 + \rho \varphi_1^*) + \frac{a}{T} \varphi_1^* + \left(\frac{a\xi}{T} + \frac{a\eta \ln T}{T} \right) \varphi_2^* \end{aligned} \quad (29)$$

Differentieres med hensyn til T og sættes udtrykket lig med 0 fås

$$c + \left(\rho c - \frac{a}{T} \right) \varphi_1^* + a \left(\frac{\eta - \xi}{T} + \frac{\eta \ln T}{T} \right) \varphi_2^* = 0 \quad (30)$$

Denne ligning har ingen eksplicit løsning for T , men den optimale værdi kan bestemmes ved iteration eller med tilnærmelse som

$$T_{opt} \approx \frac{a}{c} \frac{\varphi_1^* + (\xi - \eta) \varphi_2^*}{1 + \rho \varphi_1^*} \quad (31)$$

Refinansiering

Hvis levetiden for konstruktionen ω er mindre end den betragtede tidshorisont for optimering, L , bliver det nødvendigt at foretage en refinansiering. Antages levetiden ω at være større end $L/2$, vil den tilbagediskonterede merudgift blive

$$C(T) \left[e^{-r\omega} - \left(2 - \frac{L}{\omega} \right) e^{-rL} \right] = \varepsilon C(T) \quad (32)$$

der i så fald skal medtages i lign. (6). Herved er restværdien af konstruktionen til tiden T også medtaget. Den optimale gentagelsesperiode bliver nu uden hensyn til klimafaktorens T -afhængighed

$$T_{opt} = \frac{a}{\varepsilon c} \frac{\varphi_1^* + \theta \varphi_2^*}{1 + \rho \varphi_1^*} \quad (33)$$

Nettonutidsværdi

Anvendes en cost-benefit betragtning beregnes omkostninger til anlæg og vedligeholdelse for sig, mens benefits, beregnes som forskellen mellem de forventede skadesomkostninger henholdsvis uden og med klimatilpasning. Omkostningerne bliver i så fald

$$C^*(T) = (c + d \ln T)[1 + \rho(c + \ln T) \varphi_1^*] \quad (34)$$

mens benefits bliver

$$B^*(T) = \left(\frac{a}{T_0} - \frac{a}{T}\right) \varphi_1^* + \left(\frac{a\theta}{T_0} - \frac{a\theta}{T}\right) \varphi_2^* \quad (35)$$

Nettonutidsværdien bliver nu

$$NPV(T) = B^*(T) - C^*(T) \quad (36)$$

Sammenlignes den afledede af lign. (27) med den afledede af lign. (36) ses, at

$$\frac{dPV(T)}{dT} = -\frac{dNPV(T)}{dT} = \left(-\frac{a}{T^2} + \frac{\rho c}{T}\right) \varphi_1^* - \frac{a\theta}{T^2} \varphi_2^* + \frac{c}{T} \quad (37)$$

dvs. at minimum for nutidsværdien PV findes for samme T -værdi som maksimumsværdien af nettonutidsværdien NPV .

Forsinket klimatilpasning

Hvis det i stedet for en øjeblikkelig klimatilpasning antages, at klimatilpasningen først finder sted med en forsinkelse på τ år, bliver nutidsværdien af investering, vedligehold og skadesomkostninger

$$PV(T, \tau) = (c \ln T + d)[e^{-r\tau} + \rho \varphi_1(\tau, L)] + \frac{a}{T_0} \varphi_1(\tau, L) + \frac{a\theta}{T_0} \varphi_2(0, \tau) + \frac{a}{T} \varphi_1(\tau, L) + \frac{a\theta}{T} \varphi_2(\tau, L) \quad (38)$$

Minimumsværdien bestemmes ved at differentiere med hensyn til T og sætte differentialkvotienten lig med 0. Herved fås

$$T_{opt}(\tau) = \frac{a}{c} \frac{\varphi_1(\tau, L) + \theta \varphi_2(\tau, L)}{e^{-r\tau} + \rho \varphi_1(\tau, L)} \quad (39)$$

Variabel diskonteringsrente

I [3] anvendes en variabel diskonteringsrente, hvor rentefoden er $r_1 = 0.035$ fra 0 til $t_1 = 35$ år, $r_2 = 0.025$ fra t_1 til $t_2 = 70$ år og $r_3 = 0.015$ fra $t_3 = L = 100$ år. Det undersøges derfor, hvilken indflydelse det har på den optimale gentagelsesperiode og den tilsvarende minimale nutidsværdi.

Ved udnyttelse af lign. (19) - (26) bliver nutidsværdien

$$PV(T) = c \ln T + d + \left(\frac{a}{T} + \rho(c \ln T + d)\right) \Phi_1 + \frac{a\theta}{T} \Phi_2 \quad (40)$$

og ved at differentiere mht. T og sætte udtrykket lig med 0 fås den optimale værdi af T til

$$T_{opt} = \frac{a}{c} \frac{\Phi_1 + \theta \Phi_2}{1 + \rho \Phi_1} \quad (41)$$

hvor Φ_1 og Φ_2 er givet ved ligning (25) og (26).

Eksempel***Minimum af nutidsværdi uden og med T-afhængighed***

Med data fra [3] er skadesomkostningsfunktionen afbildet i Fig. 1

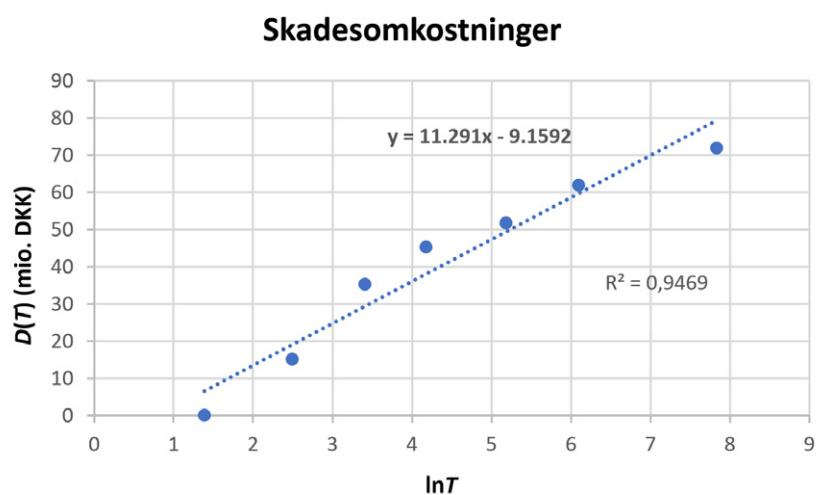


Fig. 1. Skadesomkostninger som funktion af gentagelsesperiode.

og kapitalomkostningsfunktionen i Fig. 2.

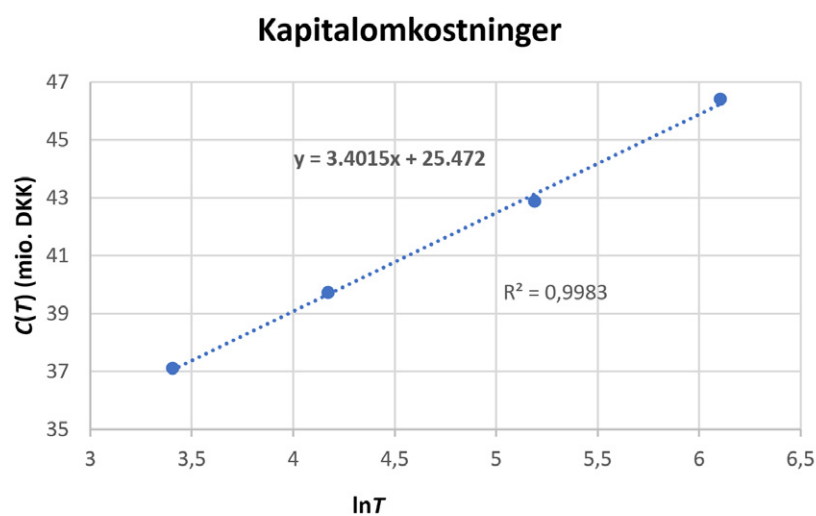


Fig. 2. Kapitalomkostninger som funktion af gentagelsesperiode.

Nutidsværdien som funktion af gentagelsesperiode uden hensyn til T -afhængighed, lign. (29), er afbildet i Fig. 3.

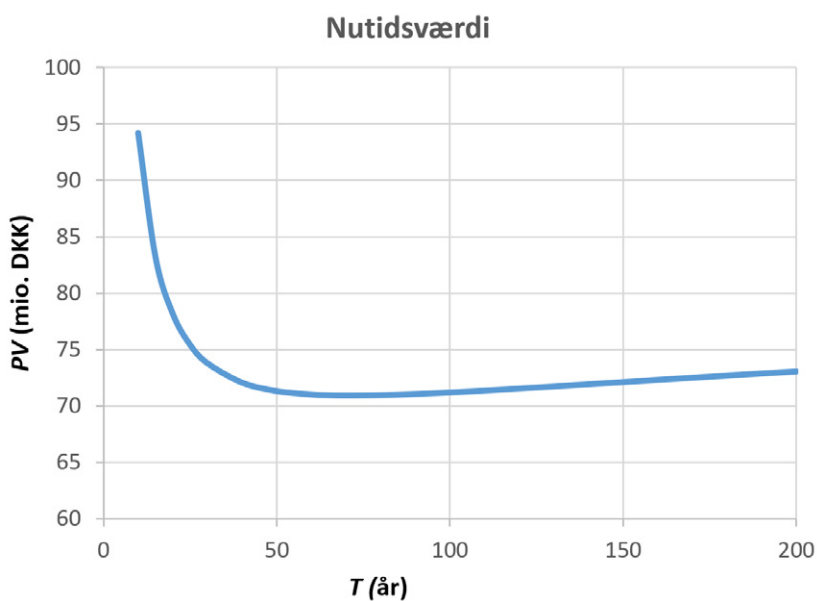


Fig. 3. PV som funktion af gentagelsesperiode.

Lign. (27) og (28) giver henholdsvis $T_{opt.} = 71.6$ år og $PV(T_{opt.}) = 70.9$ mio. kr. og. Beregnes nutidsværdien under hensyntagen til T -afhængigheden, findes $T_{opt.} = 70.5$ år (approksimativt 66.6 år med lign. 40) og $PV(T_{opt.}) = 70.9$ mio. kr., med lign. (29). Det ses, at der kun er en ubetydelig afvigelse mellem de to sæt værdier, hvilket er illustreret i Fig. 4.

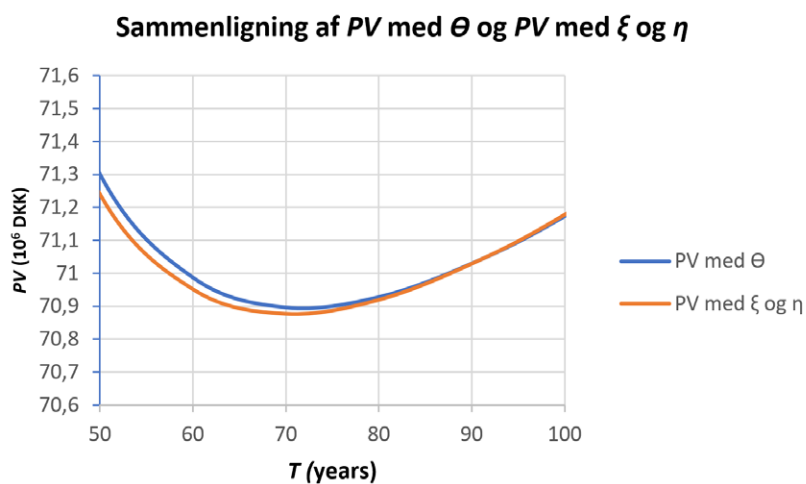


Fig. 4. Sammenligning af PV med og uden hensyntagen til T -afhængighed.

Følsomhedsanalyse

En stor fordel ved den analytiske tilgang til optimeringen er muligheden for at foretage en omfattende følsomhedsanalyse. I tabellen nedenfor er de resulterende værdier af den optimale gentagelsesperiode T_{opt} og den tilsvarende nutidsværdi $PV(T_{opt})$ beregnet ved at variere de indgående parametre $\pm 20\%$, her uden hensyn til T -afhængigheden.

Table 1. Følsomhedsanalyse af den optimale gentagelsesperiode T_{opt} og den korresponderende nutidsværdi $PV(T_{opt})$.

	a	c	d	θ	r	ρ	T_{opt} (år)	$PV(T_{opt})$ (mio. DKK)
Basis	11.291	3.402	25.472	0.004	0.03	0.02	71.6	70.9
0.8 a	9.033						57.3	69.6
1.2 a	13.549						85.9	71.9
0.8 c		2.721					89.5	66.0
1.2 c		4.082					57.7	75.5
0.8 d			20.378				71.6	62.6
1.2 d			30.566				71.6	79.2
0.8 θ				0.0032			70.1	70.8
1.2 θ				0.0048			73.0	70.9
0.8 r					0.0024		80.6	77.0
1.2 r					0.0036		64.0	66.3
0.8 ρ						0.016	77.6	65.8
1.2 ρ						0.024	66.4	75.9

Som det ses fra tabellen, er både den optimale gentagelsesperiode og den tilsvarende nutidsværdi relativt ufølsomme for variationer i de indgående parametre. De mest betydningsfulde er hældningerne på skadeskurven og omkostningskurven fulgt af diskonteringsrenten og vedligeholdelseskvoteienten, men overordnet set ingen drastiske ændringer.

Refinansiering

Inklusion af refinansiering efter 70 år resulterer i en optimal gentagelsesperiode på $T_{opt} = 78.3$ år og $PV(T_{opt}) = 77.1$ mio. kr. Også i dette tilfælde ændrer optimum sig ikke signifikant.

Maksimum af nettonutidsværdi

Omkostninger, benefits og nettonutidsværdi er afbildet i fig. 5.

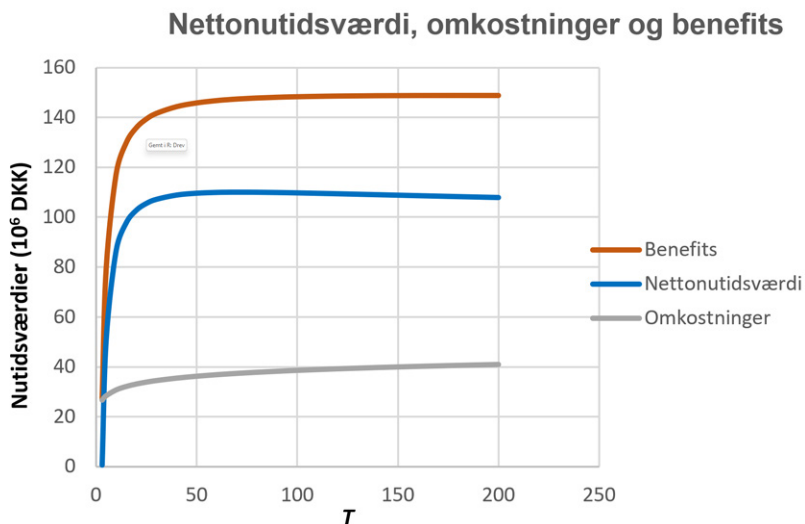


Fig. 5. NPV, investerings/vedligeholdelsesomkostninger og benefits som funktion af gentagelsesperiode.

Det ses, at maksimum i fig. 4 svarer til minimum i fig. 3.

Forsinket klimatilpasning

Nutidsværdien af samtlige udgifter, lign. (38), svarende til den optimale gentagelsesperiode, lign. (39), er vist i fig. 6 som funktion af forsinkelsen i klimatilpasningen

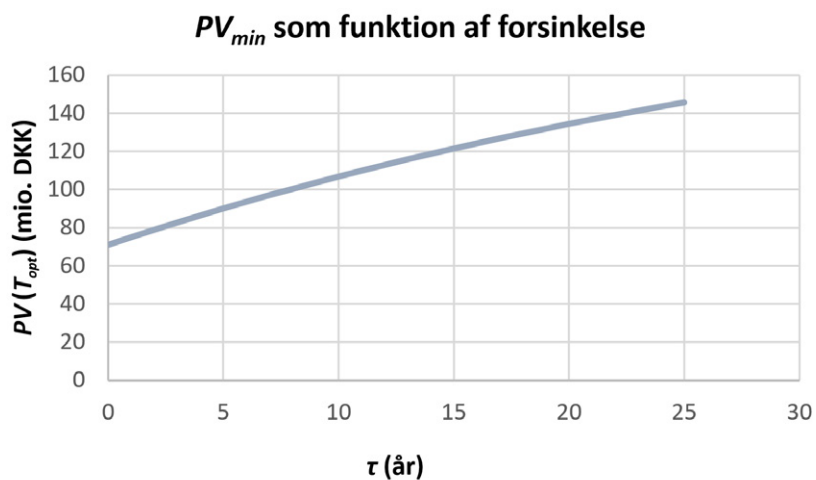


Fig. 6. Minimum nutidsværdi som funktion af en forsinkelse på τ år.

Det ses, at en forsinkelse i klimatilpasningen vil resultere i en betragtelig merudgift, primært pga. fortsatte skadesomkostninger frem til tidspunktet for klimatilpasningen.

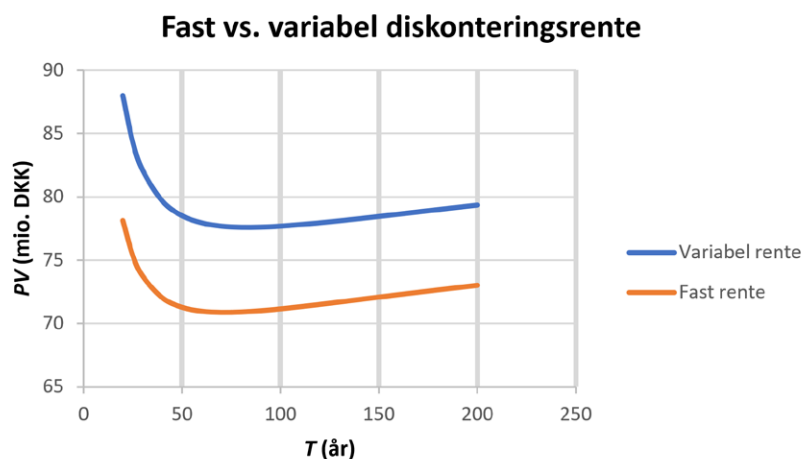


Fig. 7. PV som funktion af gentagelsesperioden med variabel og fast diskonteringsrente.

Variabel diskonteringsrente

Med lign. (41) findes den optimale T -værdi nu til $T_{opt} = 81.9$ år. Den variable diskonteringsrente har således bevirket en stigning på 10 år i forhold til anvendelse af en fast diskonteringsrente. Nutidsværdien svarende til den optimale T -værdi findes af lign. (40) til $PV(T_{opt}) = 77.6$ mio. kr. Det betyder, at anvendelse af variabel diskonttering i dette tilfælde har forøget den optimale T -værdi med 10 år, mens den tilsvarende nutidsværdi er øget med knap 7 mio. kr. Nutidsværdien som funktion af gentagelsesperioden er sammenlignet med fast rente i fig. 7.

Fremtidig gentagelsesperiode

Ønskes kendskab til gentagelsesperioder ved tidshorisontens slutning, kan disse jf. [5] let beregnes som funktion af klimafaktoren. Med nutidig gentagelsesperiode T_n findes den fremtidig gentagelsesperiode T_f som

$$T_f = T_n^{1/CF} \quad (42)$$

hvor CF er klimafaktoren. En nutidig gentagelsesperiode på $T_n = 81.9$ år svarer derfor til en gentagelsesperiode om 100 år på $T_f = 23.3$ år.

Yderligere information

For mere uddybende information henvises til [6].

Referencer

- [1] Finansministeriet (2023) Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. <https://fm.dk/udgivelser/2023/juni/vejledning-i-samfundsøkonomiskekonsekvensvurderinger/>
- [2] Rosbjerg, D. (2017) Optimal adaptation to extreme rainfalls in current and future climate, Water Resour. Res. **53**(1), 535-543, <https://doi.org/10.1002/2016WR019718>
- [3] Miljøstyrelsen (2022) Vejledning om fastsættelse af serviceniveau for tag- og overfladevand efter den samfundsøkonomiske metode i servicebekendtgørelsen. <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2020/2276>
- [4] IDA Spildevandskomiteen (2023) Skrift nr. 32, Regional variation af ekstremregn i Danmark (1979-2019) inkl. korrektion for klimaændringer. <https://spildevandskomiteen.dk/skrift-nr-32-2/>
- [5] Rosbjerg, D. (2024) Return periods in current and future climate, Proc. IAHS, **285**, 485-487, <https://doi.org/10.5194/piahs-385-485-2024>
- [6] Rosbjerg, D. (2025) Socio-economic optimum of urban drainage expansion for climate change adaptation, Hydrol. Res. **56**(3), 233-243, <https://doi.org/10.2166/nh.2025.134>

THE FUTURE OF URBAN AND INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY

11.03.2026 | 9:00 AM- 4:00 PM

- 9:00am** REGISTRATION AND COFFEE
- 9:30am** WELCOME
Vice Dean & Professor Michael Toft Overgaard and Chair for AAU WATER Steering Group, Professor Jes Vollertsen, Department of the Built Environment, AAU
- 9:45am** RESOURCE RECOVERY FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT
Professor Mark van Loosdrecht, Delft University of Technology
- 10:15am** MIDAS - SURVEILLANCE AND CONTROL OF MICROBIOLOGY IN TECHNICAL SYSTEMS
Professor Per Halkjær Nielsen, Department of Chemistry and Bioscience, AAU
- 10:40am** COFFEE BREAK
- 11:00am** AARHUS REWATER – A DRIVER IN DANISH WATER TECHNOLOGY AND WASTEWATER RESOURCE RECOVERY
Project Manager Per Overgaard Pedersen, Aarhus Vand
- 11:25am** CHALLENGES IN FUTURE WASTEWATER TREATMENT
Department Manager Vibeke Reimer Borregaard, Aalborg Forsyning
- 11:50am** LUNCH AND POSTER SESSIONS
- 1:10pm** THE NEED FOR MACHINE LEARNING IN URBAN WASTEWATER MANAGEMENT
Team Lead Fabio Polesel, Danish Hydraulic Institute A/S
- 1:35pm** MACHINE LEARNING FOR WASTEWATER TREATMENT - QUO VADIS
Professor Kim Guldstrand Larsen, Department of Computer Science, AAU
- 2:00pm** MEMBRANES FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT
Lead Water Technology Engineer Bo Højris, Grundfos A/S
- 2:25pm** COFFEE BREAK
- 2:40pm** WATER, ENERGY AND SOLUTES RECOVERY FROM INDUSTRIAL WASTE STREAMS
Associate Professor Cejna Quist-Jensen, Department of Chemistry and Bioscience, AAU
- 3:05pm** THE WATER KIC - A ROADMAP FOR INNOVATION FOR WATER IN EUROPE
CEO Jane Skou Pedersen, Water Vally Denmark
- 3:25pm** PANEL DISCUSSIONS
- 3:55pm** CLOSING REMARKS
by Professor Jes Vollertsen

LOCATION:
Aalborg University,
Innovate, Auditorium.
Thomas Manns Vej 25,
9220 Aalborg East



AALBORG UNIVERSITY

THE FUTURE OF URBAN AND
INDUSTRIAL WASTEWATER
TREATMENT AND RESOURCE



EVA

studierejselegat

for studerende på de videregående uddannelsesinstitutioner

Studerer du indenfor det faglige område, som EVA-udvalget normalt dækker gennem temadage, og har du mod på at rejse ud i verden og hente ny viden med hjem til Danmark og videreformidle denne viden, så har du mulighed for at søge et EVA-studierejselegat.

Formål

- At medvirke til at studerende opsøger ny/nyeste viden indenfor EVA-udvalgets faglige interesseområder gennem deltagelse i seminarer, kurser på udenlandske universiteter, udstillinger, studieture, studie/praktikophold eller lignende.
- At dygtiggøre danske studerende og give dem international indsigt.
- At medvirke til at der bringes ny viden og inspiration med hjem til Danmark, og at denne formidles til EVA's medlemmer gennem et mundtligt indlæg på en EVA-temadag og/eller et skriftligt indlæg i EVA-bladet.





Vilkår

1. Legatet kan søges af danske studerende, som har gennemført mindst 2 år af en dansk videregående uddannelse og indenfor en EVA-relevant studieretning.
2. Ansøgeren skal være studiemedlem af IDA.
3. Legatet kan kun søges individuelt, dvs. af enkeltpersoner, og kan kun tildeles den samme person én gang.
4. Legatet kan tildeles til deltagelse i fagrelevant aktivitet, og legatet kan dække udgifter til:
 - a. Rejse på økonomiklasse
 - b. Hotel og ophold holdt indenfor statens dispositionsbeløb for det pågældende land
 - c. Deltagergebyr
 - d. Rejseforsikring
5. Ansøgning om legat fremsendes pr. mail til EVA-udvalget (evaudvalg@gmail.com). Ansøgningen skal indeholde en kort beskrivelse af aktiviteten, det faglige indhold og forventet udbytte heraf. Med ansøgningen skal budget, CV og udtalelse/anbefaling fra studiested vedlægges. Eventuelle spørgsmål kan rettes til EVA-udvalget. Deadline for ansøgninger er 1. feb. og 1. sep. Ansøgningerne vil blive behandlet på det efterfølgende bestyrelsesmøde.
6. EVA-udvalget afgør suverænt eventuelle tvivlsspørgsmål vedrørende opfyldelse af vilkår.
7. Legatet kan maksimalt være på DKK 20.000,-.
8. Alle ansøgninger besvares personligt direkte til ansøgeren, når afgørelsen er truffet.
9. Legatmodtageren fremsender umiddelbart efter aktiviteten en kort skriftlig redegørelse, indeholdende et kort resume af aktiviteten og en evaluering af udbyttet for legatmodtageren.
10. Et studierejselegat er som udgangspunkt skattefrit, men legatet indberettes til SKAT, hvilket betyder at legatmodtageren er pligtig til at gemme de nødvendige dokumenter/bilag til dokumentation af de afholdte udgifter.
11. På normalt næstkommende EVA-temadag efter endt aktivitet afholder legatmodtageren et fagligt indlæg, baseret på deltagelse i aktiviteten, og/eller leverer et skriftlig indlæg til det efterfølgende EVA-blad.
12. Der kan opstå krav om tilbagebetaling hvis rejsen ikke kan udføres – eller hvis aktiviteten afviger væsentlig fra godkendt ansøgning. I sådanne tilfælde kontakter legatmodtager EVA-udvalget så snart det bliver legatmodtager bekendt, at aktiviteten vil afvige i fht. det ansøgte.

