

International Conference on Urban Drainage (ICUD) 2024: Noen høydepunkter fra konferansen

Av Isabel Seifert-Dähnn¹, Astha Bista^{1,2}, Kim Haukeland Paus², Vegard Nilsen², Bardia Roghani², Abbas Roozbahani², Noëlie Maurin³, Camillo Bosco³, Franz Tscheikner-Gratl⁴, Marius Møller Rokstad⁴, Spyros Pritis⁴ and Thomas Meyn⁴

- ¹ Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Seksjon Vann og Samfunn, Oslo, Norway.
- ² Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Department of Building and Environmental Technology, Ås, Norway.
- ³ SINTEF Community, Infrastructure, Trondheim, Norway.
- ⁴ Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Civil and Environmental Engineering, Trondheim, Norway.

Summary

The International Conference on Urban Drainage 2024: Some highlights from the conference. The conference was held in Delft in the Netherlands. Interesting key-note speeches, talks and posters, covered traditional stormwater and sewage treatment, but also use of green infrastructure and detection of emerging pollutants and other challenges. Modelling studies, performance and monitoring of drainage and stormwater infrastructure, hydrodynamic as well as pollution dynamics were among the topics addressed at the conference. There was a strong advocacy for more and better observation data, especially for green infrastructure, but also to calibrate stormwater models. Green infrastructure has become a complementary measure to traditional grey stormwater solutions and requires similar strategies concerning its operation and maintenance.

Sammendrag

Den internasjonale konferansen om Urban Drainage 2024 ble avholdt i Delft i Nederland.

Konferansen besto av interessante hovedinnlegg, foredrag og postere som dekket tradisjonell overvanns- og kloakkrensing, men også bruk av grønn infrastruktur, deteksjon av nye forurensende stoffer og andre utfordringer. Modelleringstudier, ytelse og overvåking av avløps- og overvannsinfrastruktur, hydrodynamikk og forurensningsdynamikk var blant temaene som ble tatt opp på konferansen. Det var et sterkt ønske om mer og bedre observasjonsdata, spesielt for grønn infrastruktur, men også for å kalibrere overvannsmoeller. Grønn infrastruktur har blitt et supplement til tradisjonelle grå overvannsløsninger og krever tilsvarende systemer for oppfølging av drift og vedlikehold.

Innledning

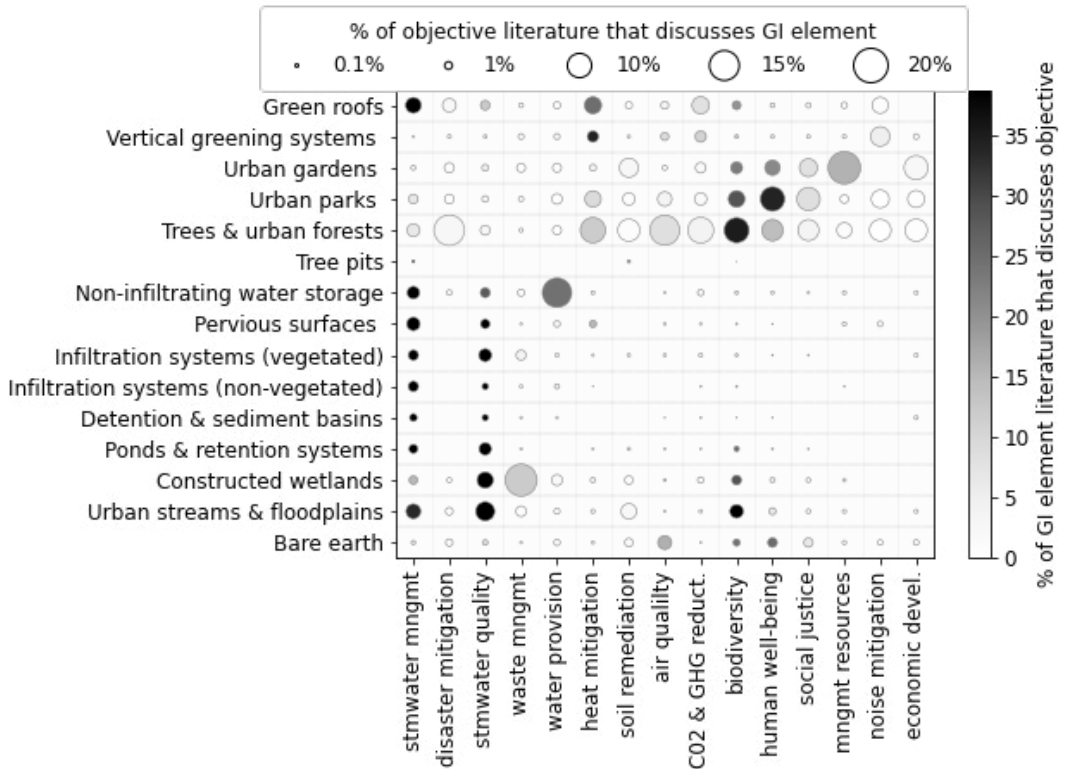
Omtrent hvert tredje år organiserer Joint Committee Urban Drainage (JCUD) som er et samarbeid mellom IWA (International Water Association) og IAHR (International Association for Hydro-Environment Engineering and Research) en egen konferanse dedikert kun på

urban avrenning - International Conference on Urban Drainage. I juni 2024 ble konferansen avholdt i Delft i Nederland og flere deltagere fra Norge fikk presentere sin egen forskning, men lot seg også inspirere fra internasjonal forskning på urban avrenning. Med denne artikkelen ønsker forfatterne, som deltok på konferansen, å dele noen høydepunkter og innsikter fra konferansen med flere norske avløps- og overvannsentusiaster. Vi presenterer spennende forskning relatert til design, bygging og ytelse av overvannstiltak inkludert grønn infrastruktur, viser resultater fra både modellerings- og observasjonsstudier, belyser hydraulisk ytelse og vannkvalitetsaspekter av overvann og fremsnakker nye tilnærminger for forvaltning av infrastruktur for overvann (asset management).

Design og bygging av overvannstiltak

Multifunksjonelle fordeler av grønn overvannsinfrastruktur

Grønn infrastruktur (GI) har et stort potensial for å gi multifunksjonelle fordeler på økologiske, sosiale og økonomiske områder. Disse fordelene blir ofte først tatt hensyn til etter at GI-ene er installert, og blir dermed ikke tatt godt nok hensyn til ved prosjektering og bygging (Cook et al., 2024). Dette kan føre til at GI ikke gir alle de mange fordelene de lover å gi. Flere mål for bærekraftig utvikling, strategier for biologisk mangfold og rammeverk for grønn infrastruktur har bidratt til å veilede beslutningstakere i retning av å innlemme sosiale og økologiske komponenter i planleggingen av GI. Det mangler imidlertid fortsatt metoder for å innlemme en mengde informasjon om GI mange funksjoner i planleggingsprosessen.



Figur 1. Matrise som viser hvor hyppig GI-typene og multifunksjonelle fordeler ble studert i forhold til hverandre (kilde: Cook et al., 2024)

Lauren M. Cook og medforfatterne presenterte resultater fra en omfattende litteraturgjennomgang hvor de skilte ut 15 typer av GI og 15 multifunksjonelle fordeler. Resultatene (Figur 1) viser hvor ofte de forskjellige GI-fordeler ble diskutert for hver type GI og omvendt dvs. hvor hyppig de forskjellige GI-typene ble vurdert for å oppnå en ønsket fordel. Studien viste et skille mellom vannrelaterte GI-typer som f.eks. konstruerte våtmarker, infiltrasjons og retensjonssystemer og andre særlig urbane GI-typer som f.eks. parker, hager og trær. For den siste gruppen ble GI-fordeler belyst i litteraturen i sin fulle bredde, dvs. de fleste fordeler ble studert. For vannrelatert GI ser man imens at vann-relaterte fordeler særlig relatert til overvanns- og flomhåndtering ble studert hyppig, mens andre fordeler inkludert biologisk mangfold og menneskelig velvære ble studert sjelden. Videre ble det funnet utfordringer med å innlemme sosiale og økologiske fordeler, blant annet pga. mangel på kvantifiseringsmetoder og vanskeligheter med å ta hensyn til ulemper og avveininger.

Usikkerhet ved å bruke kun en enkelt dimensjonerende storm til utforming av overvannstiltak

Studien som ble presentert fra S. Pritsis og kolleger satte søkelys på den utbredte ingeniørpraksisen med å bruke en enkelt dimensjonerende storm- i dette tilfellet en Chicago-hyetograf - som grunnlag for utforming av urbane avløps-systemer (Pritsis et al, 2024). Resultatene tyder på at det nåværende designparadigmet, som ofte overser hyetografens form, ikke garanterer pålitelighet og robusthet i urbane drenerings-systemer. Ved å ta hensyn til ulike former og mønstre i designprosessen kan ingeniører skape systemer som er mer robuste mot ulike typer nedbørshendelser. Datasettet som ble brukt i denne studien, ble laget av masterstudenter ved NTNU som fikk i oppgave å designe et urbant avløpssystem for et nybygd urbant nedbørsfelt.

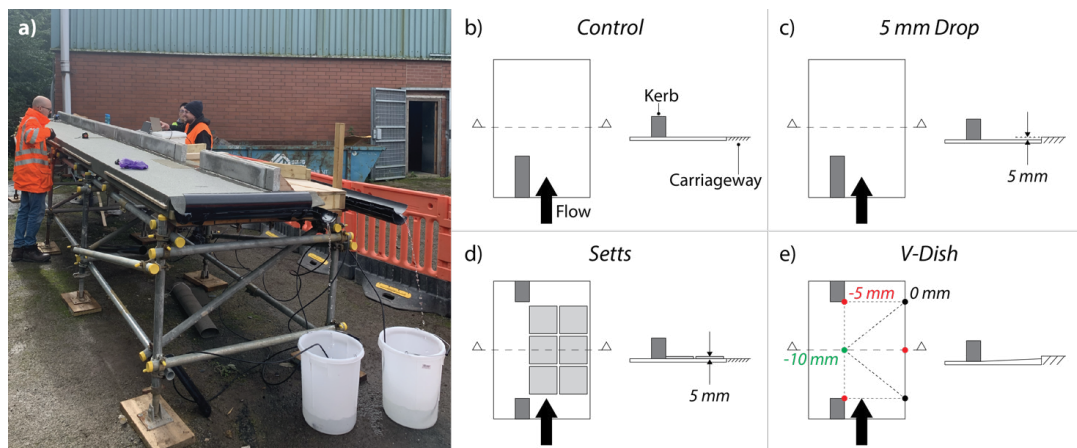
Denne forskningen viser hvor viktig det er å revurdere etablert praksis innen ingeniørfagene for å forbedre robustheten til kritisk infrastrukt-

ur i møte med uforutsigbare værmønstre og klimaendringer. Presentasjonen på konferansen utløste verdifulle diskusjoner, og understreket nødvendigheten av kontinuerlig utvikling innen design av urban infrastruktur. Denne typen diskusjoner bør også være mer fremtredende på nasjonalt nivå, siden det er på dette nivået at retningslinjene for utforming utarbeides.

Utforming av innløp er viktig for å fange mest overvann

Grønne fordrøynings- eller bioretensjonstiltak betjener vanligvis et nedbørsfelt som er større enn deres eget område. Formen på innløpspunktene for overvann til systemet påvirker mengden vann som kommer inn i dem som en brøkdel av den totale vannføringen, noe som er avgjørende for den samlede ytelsen til fordrøynings-systemet (Hosseiny et al., 2022). S. De-Ville presenterte en studie hvor man ønsket å fastslå i hvilken grad ulike variasjoner i utformingen av inntakene utenfor fotavtrykket til kantsteinen påvirker inntakseffektiviteten til fordrøynings-anlegg. Det ble bygget en testrigg hvor man kunne teste fem innløpsdesign (en kontrollbasert kantstein, et 5 mm fall foran innløpet, en teksturert kantstein i kryssfiner og en V-skål med et 10 mm fall i V-form (Figur 2) for evaluering opp mot gjeldende praksis i bransjen (kontrolldesign). Ulike nedbørsfeltgradienter (1:15, 1:40 og 1:60) og innkommende strømningshastigheter fra 0,1 l/s til 1,5 l/s ble brukt som et surrogat for nedbørintensitet og nedbørsfeltareal.

Resultatene viser at innløpseffektiviteten synker med økende strømning og brattere langsgående gradient for hver innløpsdesign. Den grunnleggende kontrollutformingen oppnådde en effektivitet på 46,7 %, mens innløpsutformingen med V-skål klarte å fange opp 96,9 % av vannstrømmen langs veikanten. Innløpsdesign der forkleet er lavere enn veibanen, var mest vellykket når det gjaldt å lede vann inn i innløpet på grunn av dannelsen av et hydraulisk hopp. Disse resultatene viser at antagelsen om 100 % innløpseffektivitet, som er vanlig i ingeniørpraksis, er ugyldig, og at beskjedne



Figur 2 a) Den fysiske modelltestrigger med kontrollinnløpet installert under en strømningstest med 30 liters oppsamlingskar på plass. Plan og oppriss av de fire innløpsdesignene: b) Kontroll c) 5 mm dråpe d) Teksturerte seter e) V-skål. (Kilde: S. De-Ville & G. Deeprose)

endringer i forkleet til et fordrøyningsinntak langs en vei kan forbedre innløpseffektiviteten betydelig.

Redusere arealbehov ved konstruksjon av gjennomstrømningsvåtmarker

Gjennomstrømningsvåtmarker (rensevåtmarker som er utformet basert på gjennomstrømningshastighet i stedet for lagringsvolum) brukes ofte i rensanlegg for å redusere næringsstoff- og bakteriebelastningen i avløpsvannet. Våtmarker for overvannrensing har derimot tradisjonelt blitt utviklet som en variant av overvannsdammer som mottar og lagrer store, episodiske tilførsler som holdes tilbake i flere dager. Den største begrensningen ved tradisjonelle overvannsvåtmarker er den volumetriske renskapasiteten. Samtidig krever de et stort overflateareal for å behandle dette volumet, og de er ofte dyre å anlegge når de må graves ut for å fange opp grunnvannsspeilet. Begge disse faktorene gjør overvannsvåtmarker mindre populære som rens metode for overvann enn de burde være, med tanke på hvor effektive de er når det gjelder å forbedre vannkvaliteten.

V. J. Taguchi og kolleger undersøkte to våtmarker med gjennomstrømming av overvann i North Carolina, USA. Den ene våtmark har et passivt innstrømningssystem (gravitasjonsmatet) og ble undersøkt i 2009 og 2010 (Hathaway et

al., 2011). Det andre våtmarksområdet er et aktivt tilsigssystem (pumpedrevet). Mer informasjon om designmetodikk for gjennomstrømningsvåtmark finnes i arbeidet til Merriman et al. (2017). De målte innløps og utløpskonsentrasjoner av totalt Kjeldahl-nitrogen (TKN), nitrat og nitritt ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$), ammoniakk ($\text{NH}_3\text{-N}$), totalfosfor (TP), ortofosfor (Ortho-P) og totalt suspendert sediment (TSS).

Resultater tyder på at det er mulig å oppnå betydelige vannkvalitetsforbedringer i løpet av relativt korte oppholdstider med lav vannføring i gjennomstrømningsvåtmarker. Tiltak blir enda mer effektiv, hvis også mindre vannmengder behandles dvs. ikke bare de store regnskyllene, noe som gjør at en stor del av de årlige overvannsmengdene kan behandles (f.eks. vil en pumpe med en kapasitet på 40 m^3 /time være tilstrekkelig til å fange opp 42 % av 25 mm nedbør). I tillegg reduserer konstruksjon av en gjennomstrømningsvåtmark arealbehovet med 75% sammenlignet med vanlige overvannsdammer og vil dermed også føre til en besparelse i byggekostnadene.

Modellering av overvannsinfrastruktur

På konferansen ble det presentert flere studier som omhandlet modellering av overvannstiltak. Modellering tillater å sammenligne effekten av

forskjellige typer overvannstiltak under forskjellige nedbørshendelser for å finne f.eks. den mest kostnadseffektive løsning. Presentasjonene viste også at simuleringsresultater er avhengig av data som brukes f.eks. oppløsning til høydemodellen, så det er viktig å treffe nøye valg om resultatene skal være mest mulig korrekte.

Modellering av ytelse av overvannssystemer med og uten LOD-tiltak

A. Roozbahani og kolleger presenterte en metode for kvantitativ ytelsesvurdering av overvannssystemer i forhold til ulike kriterier, med og uten implementering av LOD-tiltak (lokal overvannsdiskontering). Ytelseskriterier, inkludert pålitelighet, robusthet, sårbarhet og en sammensatt bærekraftsindeks (Roozbahani et al, 2020), ble beregnet for å evaluere systemet under både LOD- og ikke-LOD-scenarier. Forskerne benyttet en integrert modelleringsmetode ved hjelp av Storm Water Management Model (SWMM) og System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration (SUSTAIN). SWMM ble brukt til modellering av nedbør og avrenning, og simulerte de hydrologiske prosessene i avløpsnett under en 10-årsregnhendelse. SUSTAIN-modellen, kombinert med NSGA-II-algoritmen, ble brukt til kostnadseffektivitetsanalyse og optimalisering av LOD-tiltak.

Casestudien fokuserte på overvannssystemet i distrikt 11 i Teheran kommune i Iran. Dette området, som dekker 2,7 km² med en befolkning på 70 000, har et overvannsnettverk med 321 kanaler som strekker seg over ca. 48 km. Ulike LOD-scenarier, inkludert kombinasjoner av grønne tak, regntønner, fordryningsceller, porøse fortau og vegetasjonssumper, ble utviklet og optimalisert. Studien viste at LOD har et betydelig potensial for å forbedre overvannshåndteringen og bærekraften, og fremhever fordelene ved strategisk LOD-implementering i urbane områder (Nazari et al, 2023).

Funnene understreker potensialet som ligger i optimaliserte LOD-praksiser for å forbedre overvannshåndteringen og bærekraften i byer. Den integrerte tilnærmingen som presenteres i denne studien, har et stort potensial for å

optimalisere naturbaserte løsninger og evaluere ytelsen til overvannssystemer også i norske kommuner.

Ytelse til infiltrasjonsgrøfter under ulike nedbørskarakteristikker

Infiltrasjonsgrøfter er utformet for å håndtere mengde og kvalitet på overvannsavrenning fra nærliggende veier og tilknyttede nedbørfelt. De får stadig større oppmerksomhet på grunn av den økte avrenningen fra byer som følge av klimaendringer og rask urbanisering. For overvannshåndtering er det viktig å vurdere ytelse til infiltrasjonsgrøfter under ekstreme forhold for å kvantifisere overflateavrenning, og for å vurdere ytelsen i ”feilmodus”, det vil si utenfor den dimensjonerende kapasiteten. Hydrologiske modeller kan brukes til dette formålet

I studien presentert av C. Bosco ble det brukt en kalibrert modell utviklet i SWMM (Bosco et al. 2023) for å evaluere den hydrologiske ytelsen til infiltrasjonsgrøfter på ulike steder (Hamar, Trondheim og Bergen i Norge og Lisboa i Portugal), som er preget av ulike nedbørmønstre (dvs. ulike tilførsler) og klima. Simuleringene ble kjørt med timenedbør og temperaturer som var tilgjengelige for perioden 2010 til 2020 for Hamar, Trondheim og Bergen og 2000 til 2010 for Lisboa.

Resultatene fra langtidssimuleringene viser at det ble observert overflateavrenning i Bergen og Trondheim, mens det ikke ble registrert overflateavrenning i Hamar og Lisboa. Nedbørshendelsene i Bergen viser både større mengder og lengre varighet sammenlignet med de andre byene. Grunnvannsnivået i Lisboa var lavere enn gjennomsnittet, i likhet med Hamar, på grunn av det tørrere klimaet og fraværet av snøsmelting. Funnene fra disse langsiktige simuleringene gir verdifull veiledning for å forbedre utformingen av infiltrasjonsgrøfter, tilpasse lagringskapasiteten og nedslagsfeltet til de lokale behovene og optimalisere konstruksjonsegenskapene.

Effekten av bruk av forskjellige høydedata på flomsimulering

Studien som ble presentert av F. Fappiano sammenlignet resultater til flomsimuleringer

ved bruk av digitale høydemodeller med forskjellige oppløsninger. Metoden som er brukt, undersøker hvordan kombinasjoner av modellkompleksitet (1D-2D modeller) og dataoppløsning (2,5,10,20 30,50 m) påvirker risikovurderingen av pluviale flommer. I samsvar med funnene i tidligere studier viste de foreløpige sammenligningsresultatene at en DEM-oppløsning på 5 m eller finere er godt egnet til å forutsi den nøyaktige plasseringen av oversvømte områder. For fareklassifisering ser det ut til at en DEM-oppløsning på 2 m er nødvendig, spesielt for å forutsi fare for små flomhendelser, mens modellkompleksiteten har mindre innvirkning på simuleringresultatene. Når det gjelder skadeprediksjon, viste DEM-oppløsninger mellom 2 og 5 m lignende resultater.

Er modellene feil?

Investeringer knyttet til overvannsinfrastruktur er ofte kostbart og avhenger typisk av resultater fra modeller. Hvis modellene som benyttes til å ta beslutninger er feil, vil utformingen av systemet trolig også være det. Det er derfor svært legitimt vurdere i hvilken grad modellene viser feil resultater. Den britiske statistikeren George Box uttrykte i 1976 at «alle modeller er feil, men noen er nyttige». I kontekst av overvannsmodeller blir da det praktiske spørsmålet hvor feil de kan være for at de fremdeles er nyttige.

A. N. Pedersen fra VCS Denmark presenterte en ny metode for å øke forståelse av usikkerhet i overvannsmodeller. Pedersen benyttet resultatene fra en digital tvilling for avløpssystemet i Odense som case. Avløpssystemet i Odense består av både separat- og felles-anlegg, og er siden april 2021 utstyrt med totalt 160 nivå-sensorer. Pedersen har utviklet et python-skript som kontinuerlige evaluerer modellen (dvs. sammenlikner data fra den digitale tvillingen opp mot observasjoner) for perioden på ca. 2,5 år. Modell-evalueringen ble blant annet utført gjennom en kategorisk analyse der uønskede hendelser (f.eks. drift i et overløp) ble vurdert gjennom å beregne en såkalt kritisk suksessindeks (CSI):

$$CSI = TP / (TP + FP + FN)$$

Der TP er sann positiv (dvs. overløpsdrift foregår både i modellen og i virkeligheten), FP er falsk positiv (dvs. overløpsdrift foregår bare i modellen) og FN er falsk negativ (dvs. overløpsdrift foregår bare i virkeligheten). CSI-verdien vil variere fra 0 (svært dårlig modell) til 1 (perfekt modell).

Av de 114 overløpene i avløpssystemet viser resultatene at kun 5 % ble modellert på en tilfredsstillende måte. Videre hadde 18 % av overløpene for lite data til å kunne evalueres mens hele 77 % av overløpene ga utilfredsstillende resultater i modellen. Generelt viste modellen bedre samsvar med observasjonene for overløp i de mest urbaniserte områdene, men totalt sett må modellen sies å være relativt dårlig per dags dato. Det må nevnes at dette er foreløpige resultater, og at Pedersen har pågående arbeid med å forbedre modellen i fremtiden.

I etterkant av Pedersen sin presentasjon oppstå det en lengre diskusjon knyttet i hvilken grad overvannsmodellene våre er feil. Generelt er det lite observasjonene til kalibrering/validering og modellene benyttes ofte til å ta beslutningsvalg knyttet til ekstremisituasjoner. Slike ekstremisituasjoner inngår normalt ikke i observasjonsperioden og kan derfor sies å være langt utenfor modellens kjente gyldighetsområde. Det er også svært mange modeller å velge mellom som igjen har sine variasjoner i f.eks. hvordan overflateavrenning beregnes. For å bedre forstå hvilke modeller som egner seg til hvilket formål ble det foreslått å gjennomføre en konkurranse i fremtiden. Eksempelvis vil Pedersen kunne tilgjengeliggjøre all informasjon som er nødvendig for å bygge en modell for Odense (dvs. informasjon om avløpsanlegg, personekvivalenter, nedbørfelt, nedbør etc.), i tillegg til et selektivt utvalg av observasjonene (dvs. nivåmålinger). Modellutviklere rundt om i bransjen vil så kunne utvikle egne modeller for Odense (f.eks. SWMM, MIKE, nevralt nettverk etc.). Etter at modellene er utviklet frigis så resten av observasjonene. Disse benyttes til å validere de ulike modellene, samt avgjøre én (eller flere) vinnere. Ideen om å

gjennomføre en slik modell-konkurranse i bransjen kan ha overføringsverdi til Norge der vi i dag både opererer med flere ulike modeller for overvann, og har ulike prosedyrer knyttet til forenklinger, parameter-setting og kalibrering. Resultatet vil ikke bare gi en indikasjon på hvilken modell som egner seg til et bestemt formål, men også kunne gi oss bedre forståelse av styrker og svakheter mellom modeller.

Surrogat-modellering av overvannssystemer

Flere europeiske byer har i dag SWMM-modeller. Dette er imidlertid store og tunge modeller som er svært ressurskrevende å kjøre, og det gjøres derfor stor innsats i å utvikle enklere surrogat-modeller. Eksempelvis presenterte Markus Pichler fra Universitet i Graz en ny metode som omformerer en stor og tung SWMM-modell til en lettere SWMM-modell. Det er her verdt å nevne at Pichler tidligere står bak en svært populær versjon av SWMM som kjøres i Python (Pichler, 2022) og som er fritt tilgjengelig på GitHub. Forenklingen ble i dette tilfelle utført ved å fjerne og/eller aggregere modell-objekter i modellen. Pichler viste i denne sammenheng resultater fra Graz. Den opprinnelige modellen består av over 100 000 delfelt og over 40 000 kummer og ledninger. Pichler viste så at surrogat-modellen opprettholdt samme nøyaktighet på hydrologiske og hydrauliske resultater som den opprinnelige modellen, men stimuleringstiden ble redusert med hele 20 til 45 ganger. Et annet eksempel ble presentert av Alexander Garzón fra Universitet i Delft. For en stor og tung SWMM-modell for Utrecht ble det utviklet en nevralt nettverksmodell. Garzón viste at surrogat-modellen klarte å reprodusere resultatene fra den opprinnelige modellen med 95 % presisjon, samtidig som beregningstiden ble betydelig redusert (3 til 17 ganger). Slike surrogat-modeller vil kunne svært nyttige for blant å ta raske beslutninger og ressursoptimalisering i byplanlegging, og/eller som digitale tvillinger og sanntidsstyring.

Ytelse og forvaltning av overvanninfrastruktur

Ytelse av overvannssystemer kan endre seg over tid. Grunnen kan være aldriingsprosesser, skader eller andre feilmekanismer. Dette gjelder både den klassiske grå overvannsinfrastrukturen, men liksom grønn overvannsinfrastruktur og LOD-tiltak. For en av de første gangene ble det også arrangert et eget spor på ICUD konferansen som handlet om forvaltning av overvannsinfrastruktur. Dette er betimelig i forbindelse med publiseringen av en ny bok om forvaltning av urban avløpsinfrastruktur (Cherqui et al., 2024) og den økende oppmerksomheten rundt temaet forvaltning av grønn infrastruktur.

Tilstandspoeng for å vurdere ytelsen til grønn infrastruktur i Vancouver

Vancouver kommune lanserte i 2019 sin Rain City strategi. I forbindelse med strategien ble det også opprettet en egen gruppe i ingeniøravdelingen som er ansvarlig for grønn infrastruktur. De skal planlegge og bygge grønt infrastruktur som skal realiseres særlig i forbindelse med oppgradering av veiene. Aktuelle anlegg er fordryningsbasseng, infiltrasjonsgrøfter, overvannsgrøfter med trær og permeable fortau. Målet med Rain City-strategien er å håndtere avrenningen fra 40 % av byens tette areal, noe som vil kreve tusenvis av slike anlegg. Allerede i 2020 begynte man å etablere en grønn infrastruktur forvaltningsprogram inspirert av lignende programmer for veier og avløpssystemer. Målet var å dokumentere hvilke typer kommunalt grønn infrastruktur ble anlagt, hvor den befinner seg og i hvilken tilstand de er, dvs. om de trenger eventuelt vedlikehold. Første steg var å utarbeide en plan for forvaltning av grønn infrastruktur. Så ble det opprettet en database hvor man dokumenterte og loggførte alle eksisterende anlegg. For eldre anlegg som var bygget før Rain City strategien ble lansert, fantes det ofte lite informasjon, så man nøyed seg først med å kartlegge om anlegget var aktiv eller inaktiv, dvs. om den tok imot og håndterte overvann. Det hjalp kommunen allerede med å lage en prioriteringsliste for rehabilitering av inaktive anlegg.

I 2022 tok man saken et skritt videre ved å innføre en mer detaljert tilstandsvurdering av anlegg. Systemet er basert på at anlegg inspiseres visuelt under tørr og våt vær og at inspektøren må svare på en rekke spørsmål som er relatert til funksjon av anlegget. Svarene er standardiserte beskrivelser av funksjonen og tilsvarer en karakter på en skala fra 1 (veldig bra) til 5 (veldig dårlig/inaktiv). Gjennomsnittlig karakter fra alle spørsmålene reflekterer anleggets samlede tilstand, og avgjør om eller i hvilken grad rehabiliteringsarbeider må gjennomføres. Noen spørsmål knyttet til hovedfunksjoner av anleggene blir ansett som så viktig at de vil automatisk føre til en samlet vurdering av 5 og dermed nødvendighet til rehabilitering. Det er tilfelle ved manglende eller revet innløp eller fullstendig kortslutning ved innløp (vannet kommer ikke i anlegget), fullstendig kortslutning ved utløpet, ingen vanndybde eller stående vann etter 24 timer (ved anlegg med fordryningsfunksjon). Tilstandsvurderingssystemet tillater også at det innlemmes data fra målinger (f.eks. vannstandsmåler) eller fra observasjoner fra rutinemessig vedlikehold fra tredjeparter.

Metoden med tilstandspoeng ble testet ut i 2022 og 2023 i Vancouver og ser ut til å fungere fint. Som forventet havnet de fleste nye anlegg i tilstandsklasse 1-3 dvs. at det trengs kun rutinemessig vedlikehold. Likevel bidro systemet også til å identifisere et nytt anlegg med funksjonssvikt som pekte på feil konstruksjon, slik at entreprenøren måtte utbedre det. Over tid håper Vancouver kommune at systemet kan også gi

innsikt hvilke type anlegg er mer hardføre dvs. svikter sjeldnere og trenger mindre vedlikehold/rehabilitering enn andre.

Langtidsprestasjoner til fordryningsgrøfter

I en case-studie fra Paris regionen viste S. Sandoval og kolleger ved bruk av kontinuerlig overvåkning hvordan hydrodynamiske egenskaper til en grønn fordryningsgrøft (bioretention swale) endret seg over tid. Fordryningsgrøften som ble undersøkt er 32 meter lang og 0,7 meter bred, ble anlagt i 2016 og håndterer avrenning fra veier. Målet var å studere utvikling av de hydrologiske egenskapene av det filtrerende fast medium over tid. Denne utviklingen kan være en funksjon av flere faktorer med ulike effekter, f.eks. (i) tilstopping som følge av tilførsel av suspendert tørrstoff, (ii) jordkomprimering, (iii) vegetasjonsvekst eller (iv) mikrobiologisk aktivitet.

Det ble innstallert flere sanntids-jordsensorer til måling av volumetrisk vanninnhold og matrikspotensial i fire tverrsnitt i grøfta på 15 cm, 25 cm og 45 cm dybde (Figure 2). Funnene diskuteres ved å sammenligne de overvåkede periodene 2016-2018 og 2022-2023. I løpet av 7 år drift av fordryningsgrøften, ble det funnet en reduksjon av overhyppigheten av volumetrisk vanninnhold i substratet. Dette kan forklares med en raskere drenering i de øvre lagene (sannsynligvis på grunn av utvikling av røtter) og en økning av vannholdingskapasiteten i bunnen av substratet (på grunn av en reduksjon av porestørrelser og/eller en økning av innholdet av

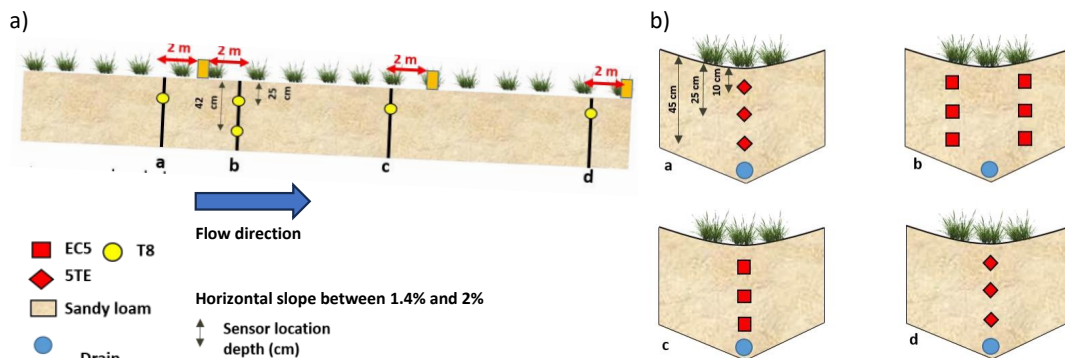


Figure 2. Fordryningsgrøfta med sensorer (kilde: S. Sandoval)

organisk materiale). Disse endringene over tid kan føre til at vanntilgangen for vegetasjonen øker, noe som igjen kan føre til økt evapotranspirasjon.

Sanntidsovervåking for å predikere biofilterets ytelse

Ytelsen til biofiltreringssystemer for overvann som f.eks. infiltrasjonsgrøfter kan påvirkes betydelig av driftsforhold som forutgående tørrværsperioder, avrenningsvolum og konsentrasjon av forurensninger i tilførsel. Likevel finnes det lite forskning hvordan disse driftsforholdene påvirker fjerning av forurensning som f.eks. metaller. Slik forskning er spesielt viktig hvis behandlet overvann skal gjenbrukes, da det gir innsikt i hvordan et godt utformet biofilter kan vedlikeholdes for å levere pålitelig vann samtidig som risikoen for tungmetaller holdes lav. I denne forbindelse er modeller som kan predikere kvalitet til biofilterrensing basert på systemdesign og sanntidsdrift, svært verdifulle.

I sin artikkel som ble presentert på ICUD 2024, foreslo Roghani og kolleger et tretrinns datadrevet rammeverk for å velge det mest hensiktsmessige filtermedia til bioretensjonssystemet og forbedre dets levetid og ytelse. Dette kan oppnås ved å utnytte sanntidsovervåkingsdata og maskinlæringsalgoritmer (ML) i forbindelse med proaktiv forvaltning av infrastruktur. Selv om noen få nyere studier har brukt ML-tilnærminger for å forutsi ytelsen til naturbaserte løsninger (f.eks. Fang et al., 2021), har de ofte hentet ut data om systemytelse gjennom litteratursøk som input til ML-modellene. Med tanke på at ML er svært avhengig av dataene som brukes til opplæring og validering, og den direkte innvirkningen miljøforholdene der bioretensjonssystemet er installert har på ytelsen, bør stedsspesifikke data samles inn gjennom overvåking og brukes til opplæring og validering av ML-algoritmer for å predikere ytelsen til bioretensjonssystemet på en nøyaktig måte.

Bruk av maskinlæring til å oppdage feil i avløpssystemet

Bruken av nye maskinlæringsteknikker (ML) i modellering av forringelse av avløpsledninger er

fortsatt begrenset, først og fremst på grunn av mangelen på sammenligninger med populære modeller for å evaluere om de gir bedre resultater, og på grunn av de omfattende datasettene som kreves for ML-trening, noe mange små og mellomstore kommuner ikke har. Studien til J. Skjelde og kolleger sammenligner en ny ML-teknikk, Random Survival Forest (RSF), med to etablerte modeller: Support Vector Machine (SVM) og GompitZ (Skjelde, 2023). I tillegg undersøkes det om RSF-modellene kan overføres til ulike kommuner. Resultatene indikerer at både RSF og GompitZ har unike styrker og svakheter, noe som tilsier at maskinlæring og statistiske modeller bør brukes komplementært. RSFs ytelse var sammenlignbar med eller bedre enn SVM. Videre presterer globalt trent RSF-modeller, som bruker aggregerte datasett fra flere kommuner, på samme måte som lokalt trent modeller, som er trent på representative kommunedata. Globalt trent modeller er imidlertid lovende for kommuner som mangler data eller ekspertise til å utvikle sine egne modeller. Det kan være en vei å gå for alle norske kommuner med lite eller ingen data.

På sin poster introduserer S. Masoumzadeh Sayyar og kolleger et rammeverk som kan brukes på prediksjon av rørlevetid ved hjelp av en hvilken som helst maskinlæringsalgoritme (Masoumzadeh Sayyar et al., 2024). Prediksjonshorisonten ble delt inn i kortere intervaller og det ble brukt invers sensureringsvektning for å forbehandle dataene ved å legge til vektorer til observasjonene for å ta hensyn til sensurering for hvert intervall. Vi viser at det er avgjørende å definere hvilken hendelse som avslutter levetiden til et rør. Dette øker ikke bare nøyaktigheten, men sikrer også at modellen predikerer det riktige fenomenet. Videre fant vi ut at det er mulig å oppnå betydelig høyere nøyaktighet i prediksjonen av rørets levetid ved å bruke det foreslåtte rammeverket. Denne metoden gir en generell tilnærming som kan fungere med begrenset datatilgjengelighet, slik at den kan brukes selv i regioner med lite data og i småskala forsyningsselskaper.

Feiltreanalyse for grønn infrastruktur

For å kunne forutse feil og forbedre ytelsen til grønn infrastruktur (GI) på lang sikt, må feildata registreres slik at forringelsesprosesser og komponenters sårbarhet kan gjenkjennes, modelleres og inkluderes i prediktive vedlikeholdsprogram. Studien til *M. Bahrami og kolleger* undersøker mulige feilmekanismer i representative GI-anlegg og gir innsikt i de viktigste hendelsene som bør prioriteres i data-innsamlingsprosessen. En metode for kvalitativ feiltreanalyse med bruk av minimale kuttsett introduseres, med sikte på å identifisere potensielle feil med et minimum antall bidragsytende årsaker. For å identifisere hendelser av interesse ble det konstruert feiltrær for fordryningsanlegg, regnbed og grønne tak, for tre grupper av feil i servicefunksjoner, nemlig kontroll av avrenningsmengde, kontroll av avrenningskvalitet og ytterligere servicefunksjoner. Analysen av det minimale kuttsettet identifiserte tilbakevendende grunnleggende hendelser som kan påvirke driften av alle de tre grønne infrastrukturforekomstene. Disse hendelsene er ”søppelansamling”, ”tilstopping på grunn av sedimentoppbygging” og ”for tett vegetasjon”. Blant alle de mulige hendelsene kan hendelser som ”planter som ikke trives”, ”invaderende planter som tar over” og ”forringelse forårsaket av ytre påvirkninger” potensielt forstyrre de fleste av tjenestefunksjonene som den grønne infrastrukturen tilbyr. Analysen av samspillet mellom komponentfeil viser dessuten at feil i vegetasjon og filterlag har størst innvirkning på andre komponenter. Dette arbeidet (Bahrami et al., 2024) kan danne grunnlag for strategier for datainnsamling på grønn infrastruktur.

Vannkvalitet og overvannshåndtering

Det var også flere sesjoner som hadde overvannkvalitet, forurensning og fjerning av forurensning som fokus. Innledningsforedrag fra Dr. Lena Mutzner hadde nye miljøgifter i avløpsvann som tema.

Hvilke forurensninger finner vi i avløpsvann fra byer?

Overvann og overløp av avløp er to viktige kilder til mikroforurensninger som truer vannressursene våre. Forurensningen kan deles inn i 5 klasser: Tungmetaller, husholdnings- og industrijemikalier (bløtgjøringsmidler, flammehemmende midler, antikorrosjonsmidler, konserveringsmidler, desinfeksjonsbiprodukter, forbruksvarer), polysykliske aromatiske hydrokarboner, pesticider (plantevernmidler, insekticider, biocider, fungicider), og legemidler samt produkter for personlig pleie (Mutzner et al., 2022). Noen av forurensningene har en større tilknyttet risiko fordi: 1. det tar lang tid til å bryte dem ned i miljøet, 2. de kan bli transportert over lengre avstand sammen med vannet, og 3. de er en høyere giftighet. Slike stoffer kalles PMT stoffer (P: persistent, M: mobile, T: toxic).

Det er fortsatt stor usikkerhet rundt omfanget av forurensningen og tilknyttet risiko. Dette har hovedsakelig to grunner, omfang og kvalitet av målingene og måten risikoen vurderes i dag. Ja, det finnes flere og flere målinger, men dessverre er de ofte basert på enkelte eller noen få stikkprøver, eller det er regnet ut gjennomsnittskonsentrasjoner (event mean concentrations) basert på kun få målinger. Slike resultater er uegnet til å bedømme både omfang og risiko til forurensningen fordi konsentrasjonene til mikroforurensningene er veldig volatile og endrer seg veldig fort. Det er derfor helt avgjørende å bruke metoder til prøvetakning som tar hensyn til dette, for eksempel ved hjelp av automatiserte prøvetakere som tar prøver ved korte mellomrom, for eksempel annenhver eller hvert tredje minutt (Furrer et al., 2023). Dessuten er det fortsatt vanskelig å få oversikt over og adgang til datasett. Det er derfor viktig å gjøre dataseriene tilgjengelig til offentligheten via egnede kodearkiver, for eksempel Zenodo.

Risiko knyttet til forurensning er i dag ofte evaluert ved å se på risiko knyttet til enkeltstoffer som har blitt analysert. Dette har bare begrenset nytteverdi fordi man kan anta at forurensningene i vannet påvirker organismer samtidig og ikke individuelt. En blanding av

forurensninger vil derfor ha en større risiko enn summen av de individuelle risikoene ville være. Dessuten kan man trygt anta at vi bare måler en liten fraksjon av forurensningene, slik at en individuell risikovurdering er umulig å gjennomføre, siden mange ukjente stoffer er samtidig til stede. I en slik situasjon kan effekt-baserte metoder være løsningen. Med slike metoder, for eksempel biologiske tester, kan man få informasjon om den samlede effekten av alle innholdsstoffene i vannet. På samme måte som med miljøkvalitetsstandarder, kan man bruke definerede terskelverdier (effect-based trigger values) som referanse. Slik kan man i hvert fall få en indikasjon på om forurensningsgraden til vannet og risiko relatert til utslipp. Vistnes et al. (2024) har brukt en slik tilnærming til å vurdere kvalitet av tunnelvaskevann før og etter rensing.

Dessuten finnes det mange titusen industri-kjemikalier som er registrert i EU sin Reach-database. Mange av dem ender opp i vannressursene våre til slutt, enten direkte som utgangsstoff eller transformasjonsprodukt. Det er derfor umulig å måle alle stoffer som finnes i vannet ved bruk av konvensjonelle analysemetoder, fordi det er alt for mange stoffer og man ikke konkret vet hva man skal lete etter. Non-target screening kan brukes i slike situasjoner, til å oppdage et bredt spekter av forbindelser med en forholdsvis enkelt analyse. En ulempe med metoden er at den produserer store mengder data som er tidskrevende å analysere. Metoden er ofte mindre følsom enn konvensjonell analyse og ofte ikke kvantitativt, men kan være et viktig verktøy for identifisering av nye miljøgifter. Furrer et al. har presentert en slik non-target-analyse av overløp fra avløpsvann, som ble utvidet med maskinlærings algoritmer. De viste endringen i konsentrasjon over tid til flere tusen ukjente stoffer som var til stede i vannet ved en overløpshendelse, i tillegg til 63 kjente stoffer, som for eksempel legemidler, pesticider eller forurensninger fra trafikkrelaterte kilder. Dette bekrefter at vi fortsatt bare har kunnskap om en veldig liten del av forurensningene som finnes i overvann og avløpsvann.

Risiko for smitte med patogener ved gjenbruk av overvann

Australia har retningslinjer for gjenbruk av overvann¹ til ulike formål. En komponent i disse retningslinjene er å gjennomføre en vurdering og beregning (QMRA) av den mikrobielle smitterisikoen ved gjenbruk. Formålet med studien til Zhu og kolleger var tredelt:

1. Gjennomføre et systematisk søk i forskningslitteraturen for å kartlegge konsentrasjonen av referansepatogener (*Campylobacter*, Adenovirus, *Cryptosporidium*) i overvann
2. Gjøre tilsvarende litteratursøk for å kartlegge renseeffekten i to overvannstiltak ("biofilters" og "wetlands") for *Campylobacter*, *E.coli* og *Cryptosporidium*
3. Gjøre en smitterisikoberegning basert på data fra 1 og 2 og sammenlikne resultatet med akseptkriterier for smitterisiko fra retningslinjene

Resultatene kan oppsummeres kort som følger:

1. Etter å ha screenet 4000 artikler, ble 40 artikler nærmere gjennomgått. Konsentrasjonene i litteraturen var til dels mye høyere enn de som anbefales benyttet i de australske retningslinjene, særlig for *Campylobacter* (rundt 200 ganger høyere).
2. Kun et fåtall studier rapporterte om renseeffekt. Biofilter viser bedre renseeffekt enn våtmarker (wetlands), og de fleste tall for log-fjerning ligger mellom 0 og 2.
3. For å kunne gjenbruke overvann med akseptabel risiko for smitte (definert som mindre enn ett smittetilfelle per 10 000 personer per år) kreves betydelig rensing av overvann, som inkluderer UV og membranfiltrering (Figure 3). Selv med omfattende rensing, er overvann ikke egnet som drikkevann.

Det er mange antakelser og usikkerheter i en slik øvelse med beregning av smitterisiko, men resultatene indikerer uansett at mikrobiell

¹ <https://www.waterquality.gov.au/guidelines/recycled-water#stormwater-harvesting-and-reuse-phase-2>

smitterisiko bør hensyntas ved gjenbruk av overvann.

Hva tar vi med oss hjem? Hva har vi lært for Norge?

Det er stort behov for mer måldata knyttet til overvannstiltak. Vi overvåker et begrenset antall anlegg, tidsseriene er ofte korte og det er for få parameter som blir målt. Formålene med lange tidsserier for flere parametere er at vi både kan få mer innsikt i hydrologisk ytelse under ekstreme hendelser, men også lære mer om hvordan funksjon og ytelse av tiltaket endrer seg over tid. F.eks. hva som skjer når plantene i overvannstiltak vokser seg større eller hvordan tilbakehold av forurensning endrer seg med tiden. Målinger med høy tidsoppløsning (dvs. minutter) vil kunne gi mulighet for å vite mer om raske dynamikker som f.eks. first-flush-effekten og erosjon. Det vil også skape et mer nøyaktig bilde om både hydrodynamiske prosesser og forurensningsdynamikk og -mengder.

Observasjonsdata trengs også for å kalibrere overvannsmoeller. Modellering er viktig for å planlegge overvannstiltak og lage planer for en helhetlig overvannshåndtering. Slike planer kan bli krav om det innføres et overvannsgebyr i Norge. Modeller som ikke er kalibrert kan komme til feil resultat, som fører til under- eller overdimensjonering av tiltak. Det er viktig at man har de nødvendige sensorer på plass og gjerne deler dataene åpent i forskningsverden, da blir kunnskapsgevinsten størst. Observasjonsdata av forskjellige episoder med nedbørshendelser i forskjellige deler av landet er også viktig for dimensjonering av overvannstiltak. Å bare basere utforming av overvannstiltak på modellering av en dimensjonerende storm gir stor usikkerhet om et tiltaks ytelse i realiteten, dvs. under ekstreme forhold eller ved skiftende værmønstre.

Forvaltning av grønn overvannsinfrastruktur må skje på lik linje som annen infrastruktur. Grønn infrastruktur trenger vedlikehold og skjøtsel og det er viktig å ha de tekniske systemene på plass som dokumenterer det. Vi må også lære hvordan svikt eller feil i grønne

infrastruktursystemer oppstår, slik at de kan korrigeres eller oppdages før systemet svikter. Feilanalyser eller feiltreanalyser kan være nyttig i denne sammenheng. Det er særlig viktig når den grønne infrastrukturen blir eldre.

Norske forskningsmiljøer og praktikere burde i enda større grad gå sammen for å teste ut nye overvannsløsninger eller modifisere eksisterende, slik at vi finner de løsninger som virker best. Det kan være små detaljer som utforming av innløp som endrer ytelsen. Og vi må involvere flere sektorer for å få til gode flerfunksjonelle grønne overvannsløsninger som har flere fordeler enn bare å håndtere overvann. Det er særlig viktig i byer og tettsteder hvor man har begrenset areal tilgjengelig. Samtidig må det bli flere studier som dokumenterer og måler alle funksjonene og fordeler, fordi her ligger ikke bare nøkkelen for å forstå hvordan overvannstiltak virker, men også for å lage troverdige kost-nytte analyser som kan overbevise politikerne å avsette mer penger til grønne overvannsløsninger.

Referanser

- Bahrani, M., Roghani, B., Tscheikner-Gratl, F., Rokstad, M.M., 2024. A deep dive into green infrastructure failures using fault tree analysis. *Water Research* 257, 121676. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121676>
- Bosco, C., Abdalla, E. M. H., Muthanna, T. M., Alfredsen, K., Rasten, B., Kjennbakken, H., & Sivertsen, E. (2023). Evaluating the stormwater management model for hydrological simulation of infiltration swales in cold climates.
- Cherqui, F., Clemens-Meyer, F., Tscheikner-Gratl, F., van Duin, B. (Eds.), 2024. *Asset Management of Urban Drainage Systems: If anything exciting happens, we've done it wrong!* IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789063059>
- Cook, L. M., Good, K. D., Moretti, M., Kremer, P., Wadzuk, B., Traver, R., & Smith, V. (2024). Towards the intentional multifunctionality of urban green infrastructure: a paradox of choice? *npj Urban Sustainability*, 4(1), 12.
- Fang, H., Jamali, B., Deletic, A., & Zhang, K. (2021). Machine learning approaches for predicting the performance of stormwater biofilters in heavy metal removal and risk mitigation. *Water Research*, 200, 117273.

- Furrer, V., Mutzner, L., Ort, C., & Singer, H. (2023). Micropollutant concentration fluctuations in combined sewer overflows require short sampling intervals. *WATER RESEARCH X*, 21, 100202. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100202>
- Hathaway J. M., Hunt W. F., Graves A. K., Bass K. L. and Caldwell A. (2011). Exploring fecal indicator bacteria in a constructed stormwater wetland. *Water Science and Technology*, 63(11),2707-2712. DOI: 10.2166/wst.2011.539.
- Hosseiny, H., Ampomah, R., Fares, M., Cotugno, A., Wadzuk, B., & Smith, V. (2022). An Ensemble of Methods for Determining the Efficiency of Curb Inlets for Green Stormwater Infrastructure. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*.
- Masoumzadeh Sayyar, Sina and Kumm, Matti and Mellin, Ilkka and Tscheikner-Gratl, Franz and Laakso, Tuija, Wastewater network assets' lifespan prediction: can we modify the machine learning algorithms to fit the purpose? (Pre-print, June 25, 2024). Available at SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4878532
- Merriman L. S., Hathaway J. M., Burchell M. R. and Hunt W. F. (2017). Adapting the Relaxed Tanks-in-Series Model for Stormwater Wetland Water Quality Performance. *Water*, 9(9),691. DOI: 10.3390/w9090691.
- Mutzner, L., Furrer, V., Castebrunet, H., Dittmer, U., Fuchs, S., Gernjak, W., Gromaire, M.-C., Matzinger, A., Mikkelsen, P. S., Selbig, W. R., & Vezzaro, L. (2022). A decade of monitoring micropollutants in urban wet-weather flows: What did we learn? *WATER RESEARCH*, 223, 118968. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118968>
- Nazari A., Roozbahani A. and Hashemy Shahdany S.M. (2023). Integrated SUSTAIN-SWMM-MCDM Approach for Optimal Selection of LID Practices in Urban Stormwater Systems”, *Water Resources Management*, 37(9), 3769–3793. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03526-9>
- Pichler, M. (2022) *Swmm_API: API for Reading, Manipulating and Running SWMM-Projects with Python* (0.2.0.16), Zenodo, Geneva, Switzerland.
- Pritsis, S., Pons, V., Rokstad, M.M., Clemens-Meyer, F.H.L.R., Kleidorfer, M., Tscheikner-Gratl, F., 2024. The role of hyetograph shape and designer subjectivity in the design of an urban drainage system. *Water Science and Technology* 90, 920–934. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.261>
- Roozbahani A., Behzadi P. and Massah Bavani A. (2020). Analysis of performance criteria and sustainability index in urban stormwater systems under the impacts of climate change. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122727>
- Skjelde, J. (2023) *On the Transferability and Comparability of Sewer Deterioration Models - A Case Study on Norwegian Sewer Data*, Master thesis, NTNU. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3094239>
- Vistnes, H., Sossalla, N. A., Uhl, W., Sundsøy, A. W., Asimakopoulos, A. G., Spahr, S., Escher, B. I., & Meyn, T. (2024). Effect of Tunnel Wash Water Treatment Processes on Trace Elements, Organic Micropollutants, and Biological Effects. *Submitted to Journal of Hazardous Materials, Under review. Pre-print:* <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4889935>