

Vatten

#1
2024
Årgång 80

Tidskrift för vattenvård

På besök i
vattenbristens
Kalifornien

Std 222

FÖRENINGEN
Vatten

Ledaren

Det är inte utan ett visst vemod som jag härmed meddelar att detta nummer kommer vara det sista numret av tidskriften Vatten som jag är redaktör för.

Jag har varit redaktör sedan 2011 så det har varit en lång resa som nu ska ta slut. Den nya redaktören kommer presentera sig i nästa nummer. Under dessa 13 år har vattenfrågor tagit en allt större plats i samhällsdebatten. Det finns många utmaningar framöver som vi vattenkunniga måste ta tag i och lösa. Glöm inte att skriva ihop artiklar av era erfarenheter, glöm inte heller att ta tid att läsa artiklar i tidskriften. Jag är övertygad om att tidskriften kommer att fortsätta vara en viktig kommunikationskanal för vattenkännedom även i framtiden.



Trevlig läsning!
Magnus Persson,
redaktör

Innehåll

I blickpunkten	1
Föreningsmeddelanden	2
Pressreleaser	4
Litteratur	10
På besök i vattenbristens Los Angeles	12
Optimerad design av biofilter och svackdiken/diken för flödesutjämning och rening	18
Regnvattenskörd från tak i urbana områden: kvantitet, kvalitet och miljöfördelar	32
RadClim BSR – En högupplöst nederbörds klimatologi baserad på Radarmätningar för Östersjöregionen	46

FÖRENINGEN
Vatten

www.foreningenvatten.se
www.tidskriftenvatten.se

Föreningen Vatten ska verka för vård av och rätt hushållning med vattentillgångarna och en god vattenmiljö. Föreningens medlemmar är personliga eller stödjande.

Årsavgift 2023 för personlig medlem är 200:- (pensionärer och studerande 100:-) och för stödjande från 8 900:-. Medlemmarna får tidskriften VATTEN utan kostnad, stödjande får tre exemplar av tidskriften. Alla frågor rörande medlemskap i Föreningen Vatten handhas av kansliet.

Föreningen Vatten är ansluten till Water Environment Federation (WEF) i USA.

STYRELSE

Magnus Berglund, ordförande
Olof Nilsson, vice ordförande
Marinette Hagman, sekreterare
Thor Wahlberg, skattmästare
Magnus Persson, redaktör
Jesper Olsson, ledamot
Irina Persson, ledamot
Malin Denninger, ledamot
Johanna Weglin Nilsson, ledamot
Rebecka Engström Gustafsson, webb-
redaktör

WEF/House of Delegates, Magnus Arnell

Kontaktuppgifter till styrelsen finns på vår hemsida.

KANSLI

Föreningen Vatten, c/o Föreningshuset Sedab
Lumaparksvägen 7, 120 31 Stockholm
Telefon 08-121 513 28
Telefontid måndag-fredag 08.00-12.00
E-post kansliet@foreningenvatten.se

TIDSKRIFTEN VATTEN

Utges av Föreningen Vatten.
*Journal of Water Management and Research
published by the Swedish Association for
Water.*

REDAKTION

Rolf Larsson, ansv. utg. 046-222 73 98
Magnus Persson, redaktör 046-222 89 90
Adress: Teknisk Vattenresurslära, Lunds
Universitet, Box 118, S-221 00 Lund
E-post johanna.sorensen@tvrl.lth.se
Annonser: Kontakta redaktionen

ISSN 0042-2886

Upplaga: 800 ex.
Produktion: McDowell Advertising
Omslagsbild: Golden gate bridge,
San Francisco, Pixabay.
Tryck: Åbergs, Tomelilla, mars 2024.

Föreningen Vattens plusgiro: 280378-1
och bankgiro: 569-4328

Hejdå 2023 – välkommen 2024!

Året som gått har varit ett oerhört aktivt och händelserikt år för vår gemenskap. Nu ser vi fram emot ännu ett framgångsrikt och givande år!

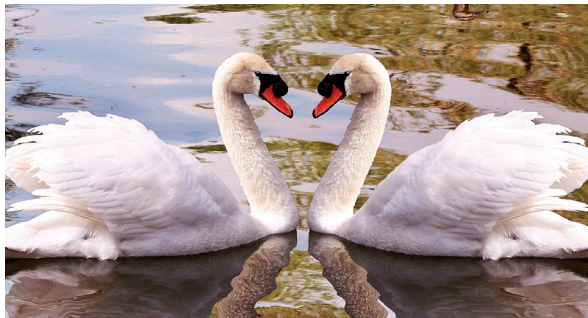
Vi har bevittnat en betydande mängd evenemang, diskussioner och seminarier som alla syftar till att framhäva och ta itu med de många utmaningar och möjligheter som vattenbranschen står inför.

Det är med stor tillfredsställelse vi reflekterar över de tjugo evenemangen som har anordnats under året, vilka täckt ett brett spektrum av ämnen av stor relevans för vårt arbete och våra studier.

Bland de framträdande teman som har dominerat årets agenda finner vi nya regelverk, en fördjupning i problematiken kring PFAS, tekniskt vatten, slam samt klimatanpassningar. Dessa teman speglar de komplexa och alltmer pressande frågor som vår sektor står inför, i takt med att miljömedvetenheten ökar och behovet av hållbara lösningar blir alltmer akut.

Vidare har vi haft förmånen att återigen genomföra de årligen återkommande evenemangen som har en särskild plats i våra hjärtan

och kalendrar: Skånelandsmötet, Vattendagen och Hydrologimötet. Dessa sammankomster erbjuder inte bara värdefulla tillfällen för kunskapsutbyte och nätverkande, utan även chansen att reflektera



över vårt arbete och dess betydelse för samhället.

Ett särskilt omnämnande förtjänar Vatten 2023, som hölls i Göteborg, där fyra seminarier erbjöd djupgående diskussioner och presentationer om aktuella ämnen inom vattenbranschen.

Vill även passa även på att tipsa om att anmäla dig till Vattendagen med pristagarseminarier onsdag den 20 mars 2024. Pristagarna som håller seminarier är:

VATTENPRISET, Ann Mattsson
"Hur kan vi skydda våra vatten och

sänka resursbehovet för avloppsvattenhantering?"

NEW GENERATION-PRISET, Anna Ohlin Saletti, *"Tillskottsvatten och de kostnader det genererar".*

KEMIRA-PRISET, Ola Svahn,

"Kemisk spåranalys gör det osynliga synligt i våra vatten".

XYLEM-PRISET, Ulrika Bruylandt och Per Jonsson, *"Förbättring av kväverening i en befintlig driftorganisation".*

NORCONSULT-

PRISET, Anna Söderman, *"Spännande resultat gällande spridning av PFAS i grundvatten".*

Avslutningsvis stort tack för ert engagemang, ert deltagande och ert stöd under det gångna året. Låt oss tillsammans sträva efter ett ännu mer framgångsrikt och givande år framöver.

Magnus Berglund

Ordförande Föreningen Vatten

Här är 2024-års vinnare av våra vattenpriser!



VATTEN-priset
Ann Mattsson,
Envidan

Motivering: Ann har med stort engagemang, entusiasm och ihärdighet bidragit till Vattensverige under många år. Hennes nyfikenhet har lett till mycket ny kunskap och många vattensamarbeten på både nationell, regional och lokal nivå. Som utvecklingschef på Gryaab och adjungerad professor på Chalmers har Ann bidragit till många studenters examens- och doktorandarbeten. Hennes vilja att förbättra och förändra har lett till otaliga utvecklingsprojekt och nya tekniska lösningar i full skala på Ryaverket i Göteborg. Med sikte på att förbättra avloppsvattenreningen i Göteborg och Sverige i stort har hon arbetat för att minska resursbehovet och påverkan på miljön. Ann har varit en stark drivkraft inom såväl Svenskt Vattens kommittéer, VA teknik södra och inte minst inom Föreningen Vatten där hon arrangerat möten och aktiviteter under mer än 20 år.



NEW GENERATION-priset
Anna Ohlin Saletti
Industridoktorand, Chalmers

Motivering: Med nyfikenhet, engagemang och kunskande har Anna Ohlin Saletti tagit sig an uppgiften att värdera tillskottsvattnets betydelse ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Genom att vara sammanhållande för nätverket "tillskottsvatten och bräddning" har hon på kort tid lyckats lyfta det till en nationell angelägenhet. Hon har en förmåga att hantera praktiska frågor samtidigt som hon kan sätta dem i ett vetenskapligt sammanhang. Vi är övertygade om att det vidare arbetet kommer att leda till bättre hushållning av samhällets resurser i form av kemikalier och energi.



XYLEM-priset
Ulrika Bruylandt & Per Jonsson
Eskilstuna Strängnäs Energi och Miljö

Motivering: Ulrika Bruylandt och Per Jonsson har på ett föredömligt sätt drivit fram en förändring av driftsättet på Ekeby avloppsreningsverk i Eskilstuna. Syfte har varit att förbättra kvävereningen inom ramen för befintlig struktur. Tillsammans med sina kollegor har de på ett kreativt sätt nyttjat befintlig kompetens och tillgängliga resurser för att omsätta nya idéer i praktiska lösningar. Deras mod och målmedvetenhet har resulterat i att de kunnat optimera kväveprocesserna så att de tuffa utsläppskraven kunde hållas utan större kostnadsökningar.



KEMIRA-priset
Ola Svahn
Forskare vid Högskolan Kristianstad

Motivering: Ola har under snart 10 år gjort ett enormt arbete för att höja medvetenheten och kunskaperna om analys av organiska mikroföroreningar. Han har arbetat tillsammans med universitet, myndigheter, konsulter och Naturvårdsverk, hela tiden med en förbättrad vattenmiljö för ögonen. Han har ansvarat för nationella kalibreringsstudier och bidragit till ett stort antal förstudier och vetenskapliga arbeten. Hans tålmod och fantastiska pedagogiska egenskaper har fått VA-branschen att uppmärksamma betydelsen för kemisk analys, vilket starkt bidragit till att svensk VA står väl rustad inför ett nytt avloppsdirektiv.



NORCONSULT-priset
Anna Söderman
Industridoktorand, Lunds universitet

Motivering: Anna har med stort engagemang och ett ihärdigt arbete utfört sitt examensarbete inom vattenmiljö. Artikeln om spridningen av PFAS i grundvatten i Kallinge berör ett högaktuellt ämne. I artikeln presenterar Anna spännande resultat från modellering av nedbrytning och transport av tre PFAS i grundvattnet från källan vid brandövningsplatsen till dricksvattenbrunnarna. Artikeln är välskriven och resultaten ger en ärlig bild av situationen.



Hedersutnämning inför 80-årsjubileum
Susanne Kihl med hunden Bruno

Motivering: Susanne Kihl tilldelas Föreningen Vattens 80-års hedersutnämning för sin nytänkande läcksökningsmetod. Med hjälp av hundar specialiserade på att detektera läckande dricksvattenledningar har hon med helt unik metod bidragit till ett förnyat arbetssätt inom drift och underhåll. Metoden är både innovativ och träffsäker. Härmed vill vi från Föreningen Vatten uppmärksamma denna kreativitet.

Stort varmt grattis till alla pristagare önskar
Föreningen Vattens
priskommitté &
styrelsen



**Prisutdelning kommer ske under
Vattendagen 20 mars 2024 i Stockholm.**

*En ytterst festlig dag då vi dessutom firar
Föreningen Vattens 80-årsdag.*

Nyheter från våra sektioner

Seminarium planeras av Hydrologisektionen i november, Kustsektionen söker ny ordförande och medlemsträff hölls hos Östra kommittén.

HYDROLOGISEKTIONEN

Hydrologisektionen planerar att ha ett seminarium i november i vanlig ordning, preliminärt onsdag vecka 45. Diskussioner kring årets ämne pågår för fullt och förslag på intressanta ämnen att belysa välkomnas givetvis. Vår ambition är att ha ett färdigt program framåt sommaren.

Victor Pelin

KUSTSEKTIONEN

Kustsektionen söker en ny ordförande. Om du är intresserad av att engagera dig hör av dig till: Caroline Hallin
caroline.hallin@tvrl.lth.se

Caroline Hallin

ÖSTRA KOMMITTÉN

Östra kommittén anordnade en medlemsträff med intressanta föredrag och vattenpub i Uppsala den 11 december. Syftet med medlemsträffen var att träffa kolleger i branschen. Vi passade även på att lyssna på två spännande föredrag.

Först ut var Hans Holmström som gav en tillbakablick på Uppsalas avloppshistoria. Föredraget började på 1920-talet då det endast fanns fem vattentoaletter i Uppsala och fortsatte sedan fram till hur avloppsreningsverket ser ut idag. Han hänvisade bland annat till en artikel i tidskriften Vatten från 1950-talet.

Efter det pratade Magnus Jewert om en ny projektmodell



Norconsult tagit fram som används i Kungsbacka där man ska skydda staden från översvämningar både från havet och vid skyfall.

Det var 20 besökare på träffen. Efter föredrag avslutade vi med gemensam middag på Stationen. Stort tack till Norconsult som var värd för träffen.

Irina Persson



RISE STORSATSNING OM 31 MILJONER TILL BANBRYTANDE VATTENPROJEKT

Unity4Water är ett nyskapande initiativ från Mälardalens universitet (MDU) och RISE som kombinerar den senaste tekniken med samhällsvetenskapliga perspektiv. Projektets mål är att revolutionera återanvändning av avloppsvatten och processvatten för att använda det som en resurs för bland annat matproduktion. Det treåriga projektet har beviljats finansiering på sammanlagt 31 miljoner kronor där hälften kommer från partnerna och hälften från Vinnova, Formas & Energimyndigheten genom det strategiska innovationsprogrammet PiiA, processindustriell IT och Automation.

Genom att integrera avancerade system, automatisering och sensorer tar Unity4Water sikte på att optimera återanvändningen av avloppsvatten och processvatten. Syftet är att presentera framgångsrika, hållbara metoder för omvandling av avloppsvatten och processvatten till resurser för bevattnings av grödor.

- Vatten och tillgången på vatten är en allt viktigare fråga för processindustrin som konsumerar stora mängder vatten, både i Sverige och utomlands. Unity4Water är ett strategiskt projekt för oss, vilket betyder att det har stöd från programmets styrelse och kommer att genomföras i tätt samarbete med programmets ledning, säger Malin Rosqvist, projektledare på RISE och programchef för PiiA - Processindustriell IT & Automation.

Genom att sätta en ny standard för återvinning och värdeskapande av vatten inom matproduktion förväntas Unity4Water leda till en grön omställning och paradigmskifte i synen på vatten och andra resurser. Projektet kommer att fungera som en forskningsenhet och show-case för att visualisera och engagera intressenter. Målet är att optimera systemet för framtida kommersialisering och expandera den innovativa tekniken internationellt.

Projektet koordineras av Mälardalens universitet (MDU) och drivs i samarbete med RISE, samt involverar nära samarbete med alla projektpartners. En forsknings- och demonstrationsenhet kommer att etableras vid MDU, där behandlat vatten från olika samhällskällor används för bevattnings av bladgrönsaker. Genom ett antal arbetspaket kommer projektgruppen accelerera resultaten till tester nära industrin.

- I vår snabba och föränderliga värld, där klimatförändringar och en växande befolkning utgör allvarliga utmaningar, är det avgörande att vi omvärderar vårt sätt att använda vatten, energi och producera mat. Vatten ska aldrig ses som ett avfall. I stället behöver vi se på allt vatten; dricksvatten, avloppsvatten och processvatten, som en enda resurs och där denna resurs alltid värderas högt. Vi har inte längre råd att slösa på vårt vatten, säger Monica Odlare, professor i miljöteknik och koordinatör för Unity4Water.

Om Unity4Water

Unity4Water är ett samarbete

mellan ett trettiotal aktörer med finansiering från det strategiska innovationsprogrammet PiiA, Processindustriell IT och Automation, en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten. Målet är att optimera återanvändningen av avloppsvatten och processvatten för bland annat matproduktion. Genom att förena teknik och samhällsvetenskap strävar Unity4Water efter att förändra synen på vattenåtervinning och visa på hållbara metoder för att omvandla avloppsvatten och processvatten till livsmedel. Programmet PiiA finansierar och driver digitalisering av svensk processindustri där vatten är ett viktigt område.

RISE
2023-12-18

Örebro Universitet PFAS KAN ÖKA RISKEN FÖR SJUKDOMAR HOS OFÖDDA BARN

PFAS är kemikalier som kan orsaka cancer, diabetes och andra sjukdomar. Nu visar forskning vid Örebro universitet att kemikalierna sannolikt påverkar människor redan vid fosterstadiet.

- Vi ser att PFAS troligen har en väldigt stor metabol påverkan vilket pekar på en förhöjd risk för vissa sjukdomar senare i livet, säger medicinprofessor Matej Orešič.

PFAS (per- och polyfluorerade alkylsubstanser) är ett samlingsnamn på tusentals syntetiskt framställda kemikalier som används i ett stort antal vardagsprodukter världen över. På engelska

kallas de ofta "forever chemicals" eftersom det tar väldigt lång tid för naturen att bryta ner dessa ämnen som kan stanna många år i kroppen på människor och djur.

Det finns starka bevis för att PFAS kan påverka både immunsystemet och ämnesomsättningen. Exponering för vissa nivåer av PFAS kan orsaka cancer, diabetes och många andra sjukdomar. Kemikalierna har använts sedan 1950-talet i vitt skilda produkter som stekpannor, skidvällor, vattenavvisande kläder och livsmedelsförpackningar. De är också vanligt förekommande i smink och hudkrämer.

Forskare vid Örebro universitet publicerar nu, tillsammans med professor Paul A. Fowler vid University of Aberdeen och andra forskare, en unik studie på 78 foster i den ansedda tidskriften *The Lancet Planetary Health*. Det är den första studien i sitt slag där forskare har utfört omfattande metabola profileringar och mätt PFAS i mänskliga foster.

– Vi fann PFAS i fostrens lever och resultaten gör det tyvärr mycket tydligt att exponering av dessa evighetskemikalier i livmodern påverkar det ofödda barnet. De som utsätts för högre nivåer av PFAS får ändrad ämnesomsättning och leverfunktion långt innan de föds, säger professor Paul Fowler.

Forskarna anser det troligt att i alla fall vissa av dessa effekter blir bestående, och att de sannolikt kommer att öka risken för metabola sjukdomar i vuxenlivet.

– Vi blev förvånade över den starka påverkan de här kemika-

lierna verkar ha på fostrens ämnesomsättning. Det liknar vissa metabola förändringar som uppstår hos vuxna människor. Specifikt fann vi att PFAS-exponering kan kopplas till modifierad gallsyra och lipidmetabolism i fostren, säger Tuulia Hyötyläinen, professor i kemi vid Örebro Universitet.

Just levern spelar en stor roll för människans välbefinnande.

– Förändringar i dess centrala metabolism kan ha djupgående effekter på hela kroppen. Speciellt kan förändringar under fostrets utveckling ha långvariga konsekvenser för framtida hälsa, säger Matej Orešič.

Den troliga påverkan från PFAS liknar de förändringar som uppstår vid metabola sjukdomar som diabetes och fettlever. De 78 foster som forskarna har analyserat är frivilligt aborterade mellan vecka 12 och 19, och anses ha varit i huvudsak friska.

Flera sorters PFAS är förbjudna inom EU där regleringen är hårdare än i till exempel Kina. Sjukdomar som barnfetma och diabetes har ökat lavinartat i Kina de senaste åren och forskarna anser att PFAS och andra miljökemikalier kan vara en av orsakerna till ökningen.

– Det har med stor sannolikhet en koppling och det kan visa sig att exponering för skadliga kemikalier har en jämförbar eller till och med större påverkan än livsstil när det gäller vissa sjukdomar, säger Matej Orešič.

Han och kollegerna vid Örebro universitet hoppas att deras forskning kommer att bidra till en större medvetenhet och hårdare

reglering gällande PFAS.

Artikeln *In utero exposures to perfluoroalkyl substances and the human fetal liver metabolome in Scotland: a cross-sectional study* publicerades i *The Lancet Planetary Health* den 8 januari 2024. Studien leddes av kemiprofessor Tuuila Hyötyläinen och medicinprofessor Matej Orešič vid Örebro universitet samt professor Paul A. Fowler vid University of Aberdeen.

Örebro universitet
2024-01-09

Örebro Universitet FISKARS BETEENDE BÄTTRE MÅTT ÄN DÖDLIGHET FÖR ATT MÄTA KEMIKALIER I MILJÖN

Tester av fiskarnas beteende borde användas i riskbedömning av nya kemikalier och kemikalieblandningar. Beteendetester är mer känsliga än dagens metod att mäta dödlighet hos fiskar.

Den slutsatsen drar Greta Nilén i sin doktorsavhandling i biologi vid Örebro universitet.

Greta Niléns avhandlingsarbete handlar om kombinationseffekter av miljögifter, främst på vattenlevande djur.

– Dagens metoder för riskbedömning bedömer varje enskilt ämne för sig medan gifterna i naturen finns i olika blandningar. Jag har därför studerat riskerna med dessa kombinationer av giftiga ämnen, säger hon.

Greta Niléns studier visar att effekterna av dessa giftiga cocktails beror på vilka föroreningarna som ingår.

– Det visade sig att alla blandningar av föroreningar påverkade beteendet hos fiskar och ändrade till exempel den gen som styr upptag av ljus i ögonen.

Fiskarna, i detta fall zebrafiskar, visade sig vara väldigt känsliga för miljögifter och Greta Nilén drar slutsatsen att beteendetester och undersökning av förändringar i fiskarnas gener borde användas för att riskbedöma kemikalier i miljön.

– På så sätt skulle vi kunna upptäcka fler skadliga effekter av föroreningar och även identifiera effekterna av en lägre mängd gift, säger hon.

Som en del av sin doktorsavhandling har Greta Nilén också utvecklat en metod för att riskbedöma förorenade områden på ett sätt som inkluderar gifter som finns i komplexa blandningar i marken.

Örebro universitet
2024-01-11

University of Oulu SOLVING THE MYSTERIES OF THE WATER CYCLE WITH CUTTING-EDGE TECHNOLOGY AT OULANKA AND PALLAS IN NORTHERN FINLAND

In the remote research area in Oulanka, Finland, tubes and sensors crisscross out of a telephone booth-like measuring room. Every minute, they collect samples and measurement data from inside the snow cover, which are immediately analysed using state-of-the-art technology in the booth. The measurements

aim to provide information on snow depth, temperature, density and evaporation using new technology.

The University of Oulu launched a new research group, "Snow Hydrology and Modeling," at the beginning of the year. The group aims to investigate how snow cover and water resources are changing in increasingly variable conditions due to climate change. The amount of snow, rapid melting periods, and changes in frost conditions all have an impact on water resources and circulation. Understanding these changes is crucial, as water circulates in nature and the built environment.

Led by Associate Professor Pertti Ala-aho, the Snow Hydrology and Modeling research group will measure snow cover, snow conditions, and melting changes in various locations, including Oulanka and Pallas. "The goal of snow research is to help adapt to a world where there is either too much or too little snow. With climate change and warming, warmer air masses can hold and transport more water. This will likely result in shorter snow cover periods, but possibly also exceptionally snowy winters and severe snowstorms," says Ala-aho.

Surprising knowledge gaps

There are surprising knowledge gaps regarding water circulation in northern regions. Fundamental questions include where melted snow goes and how it affects the formation of floods. Astonishingly, about half of the spring meltwater is not from the previous winter's snow, but rather older water.

"So, where does a stream or river get its water - is it primarily fed by meltwater and rainfall, or is its source in the soil and groundwater? What role does changing snow cover play in filling water reservoirs? It is certain that with climate change, water circulation phenomena are undergoing rapid changes. To understand these changes and prepare for them, we need to rapidly advance intelligent measurement and modelling techniques," ponders Ala-aho.

By combining new measurement technology with Finland's existing snow measurement network, valuable insights into the significance of snow for northern water resources can be obtained. "The development of environmental measurement technology has been very fast, but progress has not been fully utilized in snow research. The aim is less snow shovelling and more high-quality automatic measurements," envisions Ala-aho.

The Snow Hydrology and Modeling research group's work in combining water engineering research and digitalization development is supported by the Finnish Water and Environmental Engineering Support Foundation (Maa- ja vesitekniikan tuki ry). The group's work is linked to Oulun University's new flagship research program, "Digital Waters," which enables the digital modelling of entire water systems, known as digital twins. Digital twins of water resources can be used to model and manage water usage. The digitalization of water resources improves water management and

safety, particularly during flood events. Digital water management also helps balance the goals of industry, energy, agriculture, forestry, and construction sustainably.

Snow volume and melting are measured inside the snowpack and evaporation on top of the snowpack

At the University of Oulu Oulanka Research Station, located at Kuusamo, Finland, fiber optic cables are tested to measure temperature with high precision. The cables, approximately 100 meters long and as thin as a clothesline, are being tested in the vicinity of the measurement booth. This winter serves as a trial period for the equipment, as preparations are made for the installation of cables measuring 1-2 kilometers in the field next winter. The goal is to measure temperature beneath snowpacks and in different layers across a wide area, potentially even an entire catchment area. Temperature data provides valuable information about snow accumulation throughout the winter and helps understand the speed of melting phases.

"We aim to identify areas where temperatures behave similarly, enabling us to enhance monitoring and predictability in the future," explains Maiju Ylönen, a doctoral researcher. The research is also being conducted in Pallastunturi and Sodankylä, where drones are utilised to map snow cover characteristics in addition to temperature cables.

The evaporation of snow during winter and spring is one of the

least understood phenomena in snow hydrology. "Determining whether snow evaporates or melts is a challenging task. Especially in spring, both processes occur simultaneously, but current measurements only show the combined effect: a decrease in snow cover. Understanding whether the moisture in the snow rises into the atmosphere or melts into rivers and groundwater is crucial for flood prediction and assessing groundwater formation," adds Ala-aho.

The warm measurement booth in Oulanka's peatland conceals state-of-the-art equipment used to analyze water vapor both within and above the snowpack. The focus of the measurements is the isotopic composition of the snowpack and the water evaporating from it. Isotopes act as fingerprints of water. Combined with other meteorological measurements in Oulanka, the isotopes provide new ways to estimate the amount of snow evaporation and the underlying processes.

"The snow cover in northern regions affects global temperature and regulates climate. The loss of snow through melting or evaporation plays a crucial role in various atmospheric and ecosystem processes. However, the factors that control evaporation fluxes and their magnitude are not well understood. Further research is needed to better predict snow evaporation into the atmosphere and the reduction of snow cover," describes Shaakir Dar, a Postdoctoral Researcher.

University of Oulu
2024-01-23

Alfa Laval NY PUMPHANDBOK FRÅN ALFA LAVAL

Alfa Laval har nyligen gett ut en helt ny utgåva av företagets välkända pumphandbok. Den 375-sidiga handboken är gratis och innehåller vetenskaplig information om grundläggande pumpfunktioner och detaljerade riktlinjer kring dimensionering och val av rätt pumptyp för optimal effektivitet. Handboken är full av exempel från verkliga livet för att göra den mer användarvänlig.

Den första utgåvan av Alfa Lavals pumphandbok publicerades för 25 år sedan och blev snabbt en del av kursplanen på ingenjörsutbildningar världen över. Boken letade sig också till olika tillverkningsanläggningar, där den fungerat som ett referensverk för tekniker i den dagliga användningen av processer för vätskehantering.

Den senaste pumptekniken

Under årens lopp har handboken genomgått mindre revideringar. 2023 gjordes en större omarbeting för att uppdatera handboken med den senaste tekniken.

– Vi har arbetat hårt för att förse den globala pumpgemenskapen med den senaste kunskapen om pumparnas funktioner och toppmodern teknik som förbättrar pumpeffektiviteten, i syfte att uppfylla hållbarhetsagendan för samhällen och branscher. Pumpar är bland de mest energiförbrukande enheterna i processerna för vätskehantering, och potentialen för energibesparingar är stor om du väljer rätt pump från början och

sköter underhållet löpande, säger Lars Sørensen, chef, Product Management hos Alfa Laval.

Bokens författare är alla erfarna pumpingenjörer med omfattande teoretiska kunskaper och praktisk erfarenhet från pumpinstallationer och utbildning av teknisk personal inom vätskehanteringsbranschen.

Tillgänglig online

Handboken är kostnadsfri och finns att laddas ned från: www.alfalaval.com/PumpHandbook och innehåller en serie videor om t.ex. pumpfunktioner, felsökning och riktlinjer för underhåll.

Huvudkapiteln i handboken är.

- Grundläggande teori om pump-tillämpningar
- Pumptyper för olika tillämpningar
- Pumpstorlek för maximal effektivitet
- Pumpspecifikationer
- Pumpmotorer
- Felsökning
- Tekniska data och formler

Läs mer här:

www.alfalaval.com/PumpHandbook

Alfa Laval
2024-02-15



Litteratur

RAPPORTER

SNV

Naturvårdsverket har publicerat:

OBS – samtliga rapporter finns även som PDF på www.naturvardsverket.se

Unsbo, H., E. Strömberg, K. Geidenmark Olofsson, S. Anderson, T. Gustafsson, D.J. Bolinius. Scenarier för minskad förbränning av fossil plast i el- och fjärrvärmesektorn
Olika åtgärders potentialer att bidra till att nå Sveriges klimatmål 2045.
9789162071288

Hahn, N., K. Wester. Satellitbaserad kartering av vegetationstyper inom öppen våtmark. Resultat och exempel från den första nationella karteringen.
9789162071271

Naturvårdsverket. Microplastics Research Agenda. Need for knowledge and improvement for the development of instruments and measures.
9789162071240

HAV

Havs och Vattenmyndigheten har publicerat:
OBS – samtliga rapporter finns även som PDF på www.havochvatten.se

Värdet av svenskt fritidsfiske i Sverige. Den här rapporten är ett underlag till förvaltning och ger allmänheten kunskap om fritidsfiskets värde i Sveriges inland, kust och hav.
2024:1

Vägledning för bedömning av kulturmiljö vid kraftigt modifierat vatten (KMV). Denna vägledning innehåller kriterier för bedömning av hur kulturmiljöer ska bedömas vid förklarande av kraftigt modifierade vatten.
2024:3

Vägledning om kraftigt modifierat vatten (KMV) och ekologisk potential. Denna vägledning vägleder om att förklara en ytvattenförekomst som ett kraftigt modifierat vatten och hur dess ekologiska potential ska definieras.
2023:12

SVU

Svenskt Vatten Utveckling har publicerat
OBS – rapporterna finns normalt som PDF på www.svenskvatten.se

Björklund, F., L. Giese, U. Tellhed. Pedagogisk verksamhet – ett verktyg för framtida kompetensförsörjning?
2023-09

Elfström Broo, A., J. Moberg, J. Ribbeck, K. Öhrman, M. Linderå Nordström, M. Vesterlund, S. Cook. Digital Manual – digitalisering av driftinstruktioner för VA
2023-10

Pallon, L. Styrenutsläpp i avloppsvatten vid installation av flexibla foder.
2023-11

Johansen, A., A. Nordin, E. Kusoffsky, E. Persson, S. Johannesdottir. Slamhygienisering – kartläggning och utvärdering av tekniker.
2023-12

BÖCKER

Jaafar, J., A.A. Zaidi, M.N. Naseer. Membrane Technologies for Heavy Metal Removal from Water. CRC Press.
9781032353050, Feb. 2024, £36.74

Pandey, J.K., S.M. Tauseef, S. Manna, R.K. Patel, V.K. Singh, A. Dasgotra. Application of Nanotechnology for Resource Recovery from Wastewater. CRC Press.
9781032009131, Feb. 2024, £36.74

Anastasi, C. Desalination and Water Security. Routledge.
9781032368672, Jan. 2024, £31.99

Sehring, J., R. ter Horst, M. Zwartveen (Editors). Gender Dynamics in Transboundary Water Governance. Feminist Perspectives on Water Conflict and Cooperation. Routledge
9781032057323, Jan. 2024, £38.99

Weinberg, J., F. Qinhua, S. Zandaryaa, G. Leslie, J.E. Nickum (Editors). Source-to-Sea Management. Routledge.
9781032148533, Jan. 2024, £38.99

Lal, R. (Editor). Soil and Drought. Basic Processes. CRC Press.
9781032286747, Dec. 2023, £36.74

Papas, M. Capacity-Building and the Water-Energy-Food Nexus. Rethinking Integration in the Asia-Pacific. Routledge.
9780367356293, Dec. 2023, £29.24

Shefer, T., V. Bozalek, N. Romano. Hydrofeminist Thinking With Oceans. Political and Scholarly Possibilities. Routledge.
9781032408996, Dec. 2023, £35.99

Viadero, Jr., C. Aquatic Environmental Systems – an Interdisciplinary Approach for Scientists and Engineers. CRC Press
9781032267180, Dec. 2023, £56.24

Rather, M.A., F.R. Sofi, A. Amin, K. Saba. Coldwater Fisheries and Aquaculture Management. Technology for Sustainable Food Production. Apple Academic Press.
9781774913420, Dec. 2023, £154.00

Kumar, M., R. Kumar, V.P. Singh. Advances in Water Management Under Climate Change. CRC Press.
9781032398518, Nov. 2023, £67.49

Salinas-Rodríguez, S.G., L.O. Villacorte. Experimental Methods for Membrane Applications in Desalination and Water Treatment. IWA Publishing.
9781789062977, Jan. 2024, \$210.00

Verma, P., M.P. Shah (Editors). Clean Technologies Toward the Development of a Sustainable Environment and Future: Physicochemical, Biochemical, and Biotechnological approaches. IWA Publishing.
9781789063783, Dec. 2023, \$195.00

Lens, P.N.L., Uddandarao, P. Nanobiohybrids for Advanced Wastewater Treatment and Energy Recovery. IWA Publishing.
9781789063592, Dec. 2023, \$173.00

Lens, P.N.L., A. Khandelwal (Editors). Algal Systems for Resource Recovery from Waste and Wastewater. IWA Publishing.
9781789063547, Dec. 2023, \$188.00

Perez, A.C., D.P. Solomatine (Editors). Advanced Hydroinformatics: Machine Learning and Optimization for Water Resources. John Wiley & Sons, Inc.
9781119639312, Dec. 2023, Free Access

Wu, W. Sediment Transport Dynamics. CRC Press.
9781032380285, Nov. 2023, £142.50

Roy, S., T.A. Tran, Z.Z. Chowdhury, Prathibha B.S. (Editors). Wastewater Treatment Using Green Synthesis. CRC Press.
9781032379661, Nov. 2023, £86.25

Garg, V.K., A. Pandey, N. Kataria, C. Faggio (Editors). Pharmaceuticals in Aquatic Environments. Remediation Technologies and Future Challenges. CRC Press.
9781032557632, Nov. 2023, £120.00

Holyoke, T.T. Water Politics. The Fragmentation of Western Water Policy. Routledge.
9781032377292, Nov. 2023, £97.50

På besök i vattenbristens Los Angeles

My trip to Los Angeles, a region facing water scarcity



Peter Asteberg
Norconsult Sverige AB, Skeppsbron 9, 392 31 Kalmar, peter.asteberg@norconsult.com

Sammanfattning

I november 2023 fick jag tack vare Xylem-priset chansen att besöka två mycket intressanta vattenanläggningar i Los Angeles-området i Kalifornien i USA: en anläggning i Pico Rivera för återvinning av avloppsvatten, och en anläggning i Torrance för avsaltning av bräckt vatten. Båda dessa anläggningar drivs av the Water Replenishment District of Southern California, som är den största organisationen för vattenförvaltning i Los Angeles-området. Anläggningarna har kommit till för att motverka den svåra vattenbristen i södra Kalifornien, och ingår i arbetet med att minska beroendet av fjärrtransporterat vatten. Kalifornien är en av de platser i världen som har kommit längst när det gäller återvinning av avloppsvatten för dricksvattenändamål.

Abstract

In November 2023 I had the opportunity to visit two very interesting water facilities in the Los Angeles metropolitan area in California, United States. I visited a wastewater recycling facility in Pico Rivera, and a brackish water desalination plant in Torrance. Both facilities are operated by the Water Replenishment District of Southern California, which is the largest water management organization in Greater Los Angeles. The facilities have been constructed to address the severe water shortages in Southern California. They are part of the effort to reduce the dependence on imported water in the area. California is one of the places in the world that has come the farthest in recycling wastewater for drinking water purposes.

Keywords: Los Angeles, water scarcity, desalination, potable reuse, brackish water

Inledning

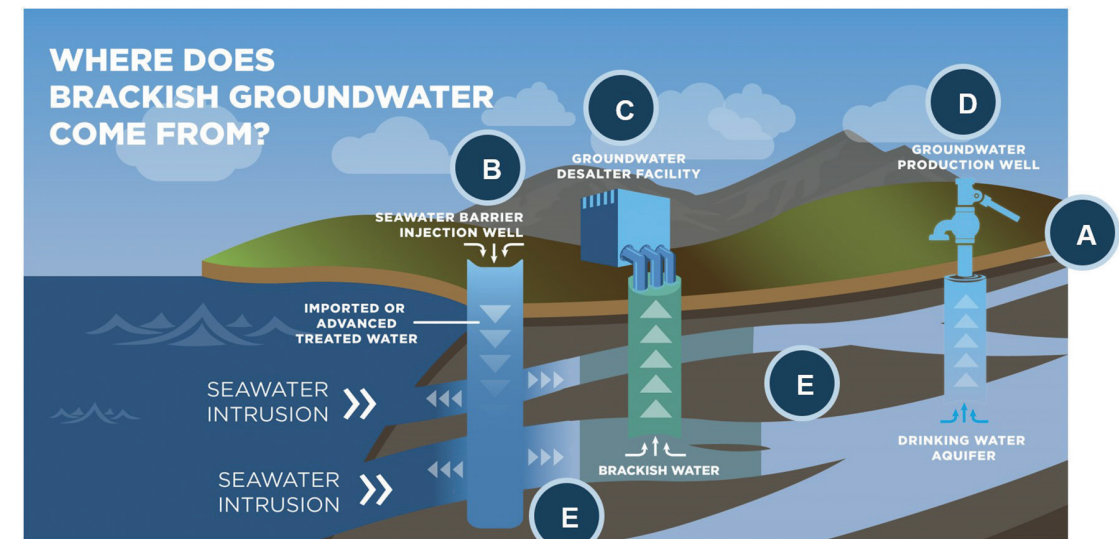
I mars 2020 fick jag äran att ta emot Föreningen Vattens Xylem-pris, som utgjordes av ett diplom och ett resestipendium. Samma månad klassades den nya sjukdomen Covid-19 som en pandemi, vilket begränsade resandet under en lång tid framåt. Därför kommer en reseskildring först nu.

Priset fick jag för arbetet som projektledare för Mörbylånga vattenverk på vattenbristens Öland. Verket framställer dricksvatten genom avsaltning av bräckt Östersjövatten och rening av återvunnet vatten från en livsmedelsindustri. Eftersom jag fortfarande har ett stort intresse av både avsaltning och vattenåtervinning för dricksvattenproduktion, ville jag använda resestipendiet för att resa till en plats som tillämpar båda dessa tekniker. Vid en sökning upptäckte jag att så är fallet i Los Angeles i Kalifornien i USA, som under många år har bekämpat vattenbrist med flera olika metoder. Vi har ju blivit vana vid att höra om torka, vattenbrist och skogsbränder i Kalifornien, så vad gör man där för att motverka situationen? I november 2023 fick jag chansen att ta reda på mer om detta.

Vattensituationen i Los Angeles-området

I Los Angeles-området ("Greater Los Angeles") bor i dag i storleksordningen 18,5 miljoner människor.

Under början av 1900-talet baserades vattenförsörjningen till stor del på uttag av grundvatten från ett antal olika grundvattenmagasin (så kallade "basins") under städerna. Allt eftersom befolkningen växte ökade också vattenförbrukningen från magasinerna. Det oreglerade uttaget medförde till slut att flera av brunnarna torkade ut, och närmast kusten fick man inträngning av saltvatten i grundvattnet. Påverkan av salt från denna inträngning består än idag. Under mitten av 1900-talet började man reglera uttagen, och magasinerna skyddades genom att flera organisationer för vattenförvaltning bildades. Den största av dessa organisationer sett till antalet anslutna personer är The Water Replenishment District of Southern California (WRD), som idag betjänar omkring 4 miljoner människor i 43 städer (inklusive delar av Los Angeles stad) i centrala och södra Los Angeles-området. WRD förvaltar två av de stora grundvattenmagasinen i området: Central Groundwater Basin och West Coast Groundwater Basin. Dessa båda magasin utgörs av ett antal mäktiga sand- och grusavlagringar som åtskiljs i djupled av tätare material som lera och silt. På så sätt skapas olika magasin med djupet, vilket syns i Figur 1. Förbrukningen av grundvatten inom WRD:s ansvarsområde är hisnande 273 miljoner kubikmeter per år, vilket svarar för knappt hälften av dricksvattenförsörjningen. Den övriga delen utgörs



Figur 1. Principiell utformning av det system som återskapar grundvatten i södra Los Angeles-området. Beteckningen A avser de spridningsdammar där återvunnet vatten tillförs grundvattenakviferen. Dammarna finns längre uppströms i systemet och syns inte i bilden. E markerar tätare lager som skiljer grundvattenmagasinen åt. Källa: Water Replenishment District of Southern California.

främst av vatten som leds via kanaler från norra Kalifornien och från bergskedjan Sierra Nevada nordöst om Los Angeles. De senaste två decennierna har Kalifornien drabbats av återkommande torka, och i Los Angeles arbetar man aktivt för att minska beroendet av fjärrtransporterat vatten.

För att möjliggöra det stora grundvattenuttaget tillämpar WRD en mycket speciell strategi, vilken illustreras i Figur 1:

1. Vatten från avloppsreningsverk återvinns genom avancerad rening och tillförs grundvattenakviferen. Detta sker främst i stora spridningsdammar som ligger i Montebello-området nära San Gabriel River (A i Figur 1, ligger "utanför" bild). Dessa dammar står i kontakt med flera av de grundvattenmagasin som finns på olika djup både i Central Basin och West Coast Basin, och lämpar sig därför mycket väl för påfyllning av grundvattnet.

2. För att skydda akvifererna mot ytterligare saltvatteninträngning har man anlagt tre olika grundvattenbarriärer ut mot havet. I dessa infiltreras sötvatten i ett stort antal brunnar, för att bilda ett slags "gardin" av sötvatten mellan magasinerna och havet (se B i Figur 1). De tre barriärerna är West Coast Basin Barrier Project (WCBBP), Alamitos Barrier Project (ABP) och Dominguez Gap Barrier Project (DGBP). Som exempel består WCBBP av mer än 150 injektionsbrunnar och nästan 300 observationsbrunnar. Även det vatten som infiltreras utgörs till största delen av återvunnet avloppsvatten.

3. Bräckt vatten pumpas upp ur den del av West Coast Basin som har blivit "förstörd" av saltvatteninträngning (C i Figur 1). Det bräckta vattnet används för produktion av dricksvatten genom avsaltning.

4. Andra vattenproducenter i området använder grundvatten för sin dricksvattenproduktion (D i figuren).

5. Regnvatten samlas upp och används för att förstärka grundvattenbildningen.

WRD är inte en dricksvattenproducent, utan organisationens uppgift är att återskapa grundvatten på uppdrag av de 43 städerna inom området. Dessa städer och andra intressenter pumpar sedan upp grundvattnet för produktion av dricksvatten eller industriellt vatten, och säljer det vidare till konsumenterna.

WRD förvaltar för närvarande tre vattenreningsanläggningar:

- Albert Robles Center for Water Recycling and Environmental Learning (ARC) i staden Pico Rivera i östra Los Angeles-området. Här utförs avancerad rening av behandlat avloppsvatten från reningsverket San Jose Creek Water Reclamation Plant. Det renade vattnet från ARC infiltreras i spridningsdamarna Montebello Forebay Spreading Grounds några kilometer söder om ARC. Produktionskapaciteten av renat vatten är i storleksordningen 12 miljoner kubikmeter per år. Före infiltration i dammarna blandas detta vatten med annat återvunnet vatten, bland annat uppsamlat regnvatten.

- Robert W. Goldsworthy Desalter (RWGD), ett bräckvattenverk för produktion av dricksvatten från instängt bräckt grundvatten som pumpas upp ur West Coast Basin. Anläggningen producerar idag nästan 7 miljoner kubikmeter dricksvatten per år, och planer finns för att fördubbla kapaciteten. Anläggningen ligger i staden Torrance i södra Los Angeles-området, och ägs av WRD men drivs av staden Torrance. Det producerade dricksvattnet säljs till konsumenter i Torrance. WRD är som sagt inte en dricksvattenproducent, men i det här fallet är man involverade i vattenverket för att försöka minska plyn av saltvatten i grundvattenmagasinet.

- Leo J. Vander Lans (LVL), en anläggning för avancerad rening av avloppsvatten. Anläggningen ligger i staden Long Beach i södra Los Angeles-området och kan producera nästan 11 miljoner kubikmeter behandlat vatten per år. Vattnet injiceras i sötvattenbarriären Alamitos Seawater Barrier i Long Beach.

Vid min resa till Los Angeles fick jag möjlighet att besöka två av dessa anläggningar: Albert Robles Center och Robert W. Goldsworthy Desalter.

Albert Robles Center (ARC)

Efter en pulshöjande bilkörning längs en av Los Angeles 7-fliga (i varje riktning) motorvägar välkomnades jag till ARC av Jenn Swart, informationsansvarig på The Water Replenishment District, och Mario Bautista, som är ansvarig driftingenjör på avsaltningsverket RWGD (Figur 2).

ARC är inte bara en teknisk anläggning för vattenrening – den innehåller också ett demonstrations- och informationscenter avsett att visa för allmänheten och andra intressenter vad man kan göra med



Figur 2: Jenn Swart, Peter Asteberg och Mario Bautista framför Albert Robles Center.

återvunnet vatten (Figur 3). Centret består av flera interaktiva stationer med kartor och illustrationer, där man kan uppleva allt från hur grundvattenmagasinen ser ut under Los Angeles, till att få provsmaka det utgående vattnet från anläggningen. Jenn berättade att centret tar emot tre skolklasser på studiebesök varje vecka, för att öka barn och ungas kunskap om vattensituationen i området och om vattenanvändning och återvinning av vatten. Intresserade har också möjlighet att göra ett virtuellt studiebesök på verket via internet.

Lite grovt kan man säga att 70 % av Kaliforniens befolkning bor i den södra delen av delstaten, men denna del får bara 30 % av regnet. Det har gjort regionen beroende av vattentransport från andra delar av

området under många årtionden. ARC är en av de åtgärder som The Water Replenishment District har genomfört för att minska beroendet av fjärrtransport av vatten. Reningsanläggningen stod färdig 2019, och innebär att WRD numera klarar sig helt utan fjärrtransporterat vatten för att fylla på de grundvattenmagasin man ansvarar för. Det sker helt och hållet med återvunnet vatten och uppsamlat regnvatten.

Jag frågade Jenn hur de arbetade med information till allmänheten i samband med projektet, eftersom återvinning av vatten för dricksvattenändamål kan upplevas olustigt för en del personer. Jenn visade ett stort antal broschyrer, och visade bilder från åtskilliga möten och event i området inför att ARC skulle byggas. Genom information och öppenhet har man lyckats vinna allmänhetens förtroende.

Anläggningen tar emot avloppsvatten som har renats med mekanisk, kemisk och biologisk rening i San Jose Creeks reningsverk. I ARC består reningen av följande steg:

1. Det första steget är ett filtersteg med ultrafilter (UF) som har en nominell porstorlek på 20 nanometer (20 miljondels millimeter). Här avlägsnas framför allt partikulärt material men även bakterier och virus ur det inkommande vattnet.

2. Nästa steg utgörs av omvänd osmos (reverse



Figur 3: Jenn Swart visar informationscentret i Albert Robles Center.

osmosis, RO) i tre steg. RO består av extremt fina membran som lindas på ett speciellt sätt i långa så kallade trycktuber. Genom att lägga på ett högt tryck på det inkommande bräckta vattnet får man det att passera genom membranerna. I detta steg avskiljs i princip allt utom vattenmolekyler (det finns dock ett antal mycket små oladdade molekyler som kan ta sig igenom RO). Även salterna i vattnet avskiljs. Det renade vattnet kallas för "permeat", och det vatten som inte gått igenom membranet blir ett "koncentrat". I en omvänd osmos-process kan man normalt utvinna 35-60 % sötvatten av det inkommande vattnet i varje steg, beroende på salthalten och vilka andra föroreningar som finns i råvattnet. Procenthalten av det sötvatten som kan utvinnas betecknas "recovery". I ARC ligger återvinningsgraden över 50 % eftersom salthalten är låg. Efter det första RO-stegets koncentratet till ytterligare ett RO-steg för utvinning av permeat även från det vattnet. Koncentratet från steg 2 leds till slut till ett tredje RO-steg, vilket gör att ARC har en återvinningsgrad (recovery) på i storleksordningen 92 %. Det är en imponerande hög utvinning, och den är möjlig tack vare att man har en mycket låg salthalt i det inkommande vattnet. Priset man får betala är att membranerna i RO-steg 3 måste tvättas och bytas betydligt oftare än i övriga steg.

3. Det tredje och sista steget i ARC utgörs av en så kallad "avancerad oxidationsprocess" (AOP), där klor kombineras med kraftigt ultraviolett ljus. Här sönder-

delas eventuella återstående kemikalier som har lyckats passera RO.

Det märktes i hela anläggningen att den är genomtänkt och planerad för information och kommunikation till allmänheten. Från informationsdelen har man enkel tillgång till tre olika utsiktsbalkonger inne i produktionshallen – en balkong framför varje huvudreningssteg (Figur 4). Det gör att Jenn och de övriga kommunikatörerna inte behöver boka tider med driftpersonalen för varje studiebesök. Besökarna kan lätt få en överblick av driftprocessen uppifrån balkongerna, utan att riskera att komma i kontakt med själva processutrustningen. Smart!

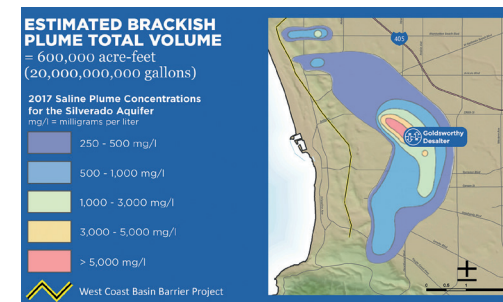
Det sista som hände innan jag lämnade ARC var att jag fick provsmaka det utgående vattnet från verket. Det var lika friskt och gott som vilket dricksvatten som helst, vilket visar att tekniken finns för att skapa ett fullgott dricksvatten från återvunnet vatten.

Robert W. Goldsworthy Desalter (RWGD)

Efter ytterligare 45 minuters bilkörning längs några av Los Angeles enorma motorvägar var jag så framme vid bräckvattenverket Robert W. Goldsworthy Desalter, där Mario mötte upp och visade mig anläggningen. Mario bad nästan om ursäkt eftersom det är en betydligt mindre anläggning än ARC och mindre påkostad. Men den har ett mycket viktigt syfte: att pumpa upp bräckt grundvatten från den "plym" av havsvatten som har blivit instängd bakom sötvatten-



Figur 4: En av de tre utsiktsbalkongerna i Albert Robles Center. I bakgrunden syns ultrafilter (stående tuber) och omvänd osmosfilter.



Figur 5. Saltvattenplymens utbredning under Torrance i sydvästra Los Angeles. I bilden syns också läget för Robert W. Goldsworthy Desalter och sträckningen för West Coast Basin Barrier Project. Källa: Water Replenishment District of Southern California.

barriärerna man har skapat längs kusten. Plymen omfattar mer än 3 600 hektar i yta, se Figur 5. Volymmässigt motsvarar det minst 75 miljoner kubikmeter bräckt vatten, så där finns mycket att ta av. Vatten hämtas upp ur två brunnar som är borrhade ner på olika djup i det område som har högst saltkoncentration. Hjärtat i processen utgörs av avsaltning genom omvänd osmos i två steg (Figur 6).



Figur 6: Omvänd osmosfilter i Robert W. Goldsworthy Desalter.

Framtida vattenåtervinning i Kalifornien

Den återvinningsteknik som används vid ARC kallas för "indirekt dricksvattenåtervinning" (Indirect Potable Reuse, IPR, på engelska), eftersom vattnet återförs till en grundvattenakvifer innan det används som dricksvatten. Om man i stället använder det producerade vattnet direkt för dricksvattenändamål kallas det för "direkt dricksvattenåtervinning" (Direct Potable Reuse, DPR). I december 2023 blev Kalifornien den andra delstaten i USA som beslutade om riktlinjer för DPR. Jag frågade Jenn och Mario om de tror att The Water Replenishment District kommer att använda

sig av DPR i framtiden. De tror inte det, eftersom WRD inte har som huvuduppgift att leverera dricksvatten direkt ut mot kund. Men det kommer säkert bli aktuellt på andra platser runt om i Kalifornien.

Vad jag tar med mig hem

I samband med att jag arbetade med Mörbylånga vattenverk under åren 2016-2020, insåg jag hur långt tekniken har kommit idag när det gäller vattenrening. Vi människor kan numera plocka bort i princip alla oönskade substanser ur nästan vilket vatten som helst. Det är dock ofta förknippat med en ansevärd kemikalie- och energiförbrukning, vilket förstås kan bli mycket kostsamt. I Los Angeles har man (liksom vi hade på Öland) inget val. Man får helt enkelt ta det vatten som finns och göra det bästa av det. I Kalifornien har man kommit mycket långt med att skapa acceptans för återvunnet vatten, genom informationskampanjer och öppenhet om bristsituationen och om själva reningstekniken.

Är då avsaltning och vattenåtervinning något för oss i Sverige? Vi har ju varit bortskämda med stora tillgångar av både ytvatten och grundvatten. Men jag märker ett klart ökat intresse av att vara mycket mer sparsamma med de begränsade sötvattentillgångarna vi har. Flera kommuner i Sverige tittar idag både på avsaltning och på olika former av återvinning av vatten. Kommunala avsaltningsverk finns redan på Öland (två verk, varav ett även återvinner vatten) och Gotland (två verk). Jag är säker på att det inom 10 år kommer finnas fler avsaltnings- och återvinningsverk i Sverige.

Avslutningsvis vill jag rikta ett varmt tack till Föreningen Vatten och Xylem-priset som gjorde det möjligt för mig att genomföra den här resan. Den kommer att vara ett minne för livet! Jag står också i tacksamhetsskuld till Jenn Swart och Mario Bautista på The Water Replenishment District som tog emot mig och visade mig ett par av sina anläggningar, och som dessutom tålmodigt försökte förklara för mig vad en acre-foot är (ledtråd: det är en amerikansk volymenhet som bland annat används i grundvattenmagasin).

Optimerad design av biofilter och svackdiken/diken för flödesutjämning och rening

Optimized design of biofilters and swales/ditches for flow detention and treatment



Thomas Larm¹, Anna Wahlsten¹, Maria Nordgren¹, Johan Kjellin²

¹ StormTac, Närkesgatan 8, 116 40 Stockholm, thomas.larm@stormtac.com

² Tyréns, Sturegatan 4, 784 31 Borlänge

Sammanfattning

Studier av biofilter fokuserar ofta på rening av föroreningar, men deras förmåga att fördröja kraftiga flöden studeras sällan. I den här studien presenteras en optimerad design av biofilter och svackdiken som beräknas ge både bra rening och flödesutjämning även vid kraftiga flöden. I en fallstudie beräknades erforderlig fördröjningsvolym i dessa och jämfördes med densamma för torra och våta dammar. Höjden på inloppsbrunnen anpassas till erforderlig fördröjningsvolym och reningseffekt. Brunnen ansluter både till dräneringsledningen och det strypta utloppet. Porvolymen under jord utnyttjas för biofilter. Simuleringar utfördes med modellen StormTac Web. Den nya biofilterkonstruktionen visade sig ha liknande eller större fördröjningskapacitet (beroende på släntlutning och anläggningsdjup) än svackdiken, torra och våta dammar för samma anläggningsyta. Simuleringarna visade att följande av 10 anläggnings-specifika parametrar gav störst påverkan och variation på erforderlig fördröjningsvolym (i fallande ordning) för biofilter: 1) h_8 . Höjd på brunn över växtbädd; 2) k_G . Hydraulisk konduktivitet för undergrund; 3) h_1 . Tjocklek reglervolym; 4) f_{Qred} . Flödesreduktionsfaktor för utlopp; 5) h_4 . Tjocklek makadamlager; 6) h_2 . Tjocklek växtbädd; 7) p_2 . Porositet växtbädd och 8) z . Släntlutning. Motsvarande resultat för 5 studerade parametrar för svackdiken gav samma storleksordning för samma parametrar (de fyra först nämnda för biofilter följt av släntlutning med minst påverkan), men högre värden på fördröjningsvolym än för biofilter. För svackdiken påverkas även fördröjningskapaciteten av längslutning och placering av eventuella dämmen.

Abstract

Studies of biofilters often focus on the treatment of pollutants, but their flow detention ability is rarely studied. This study presents an optimized design of biofilters and swales, which is calculated to provide both good treatment and flow detention even with heavy flows. In a case study, required flow detention volume was calculated in these and compared with dry and wet ponds. The height of the drain inlet is adapted to required flow deten-

tion and/or treatment, and the drain inlet connects both to the drain sewer and the outlet. The pore volume underground is utilized. Preliminary simulations were performed with the model StormTac Web. The new biofilter design had a higher capacity for flow detention compared to ditches, swales, and dry and wet ponds for the same stormwater facility area. The simulations showed that the following of the 10 facility-specific parameters had the greatest impact and variation on the required detention volume, (in descending order) for biofilters: 1) h_1 . Height of the well above the plant bed; 2) k_G . Subsoil hydraulic conductivity; 3) h_1 . Height of the flow detention volume; 4) f_{Qred} . Flow reduction factor for the outlet; 5) h_4 . Thickness macadam layer; 6) h_2 . Thickness plant bed; 7) p_2 . Porosity plant bed and 8) z . Side slope. The corresponding results for 5 parameters for the swale gave the same order of influence for the same parameters (the 4 first mentioned for biofilters followed by side slope with the least impact), but higher values of detention volume than for biofilters. For swales, the flow detention capacity is also impacted by longitudinal slope and the use of check dams.

Keywords: optimized design biofilter swale ditch flow detention treatment

Introduktion

Det är vanligt att biofilteranläggningar (nedsänkta växtbäddar) endast utformas och dimensioneras för rening av dagvatten. De kraftigaste flödena från de mest intensiva regnen bräddas då förbi, antingen före eller i anläggningen via en bräddbrunn. Det är även vanligt att svackdiken och övriga diken i första hand utformas och dimensioneras för transport av dagvattenflöden och har därmed en längslutning, minst 0,5 % (Mustaffa et al., 2016). De medför även viss rening av föroreningar, särskilt svackdiken för vilka den flacka släntlutningen medför lägre vattenhastigheter och därmed bättre förutsättningar för rening. Figur 1 visar traditionella principskisser på ett biofilter där de kraftigaste flödena bräddas utan fördröjning upp till kapaciteten på utloppsledningen och på ett svackdike dimensionerat för transport av dagvattenflöde och för viss rening.

Nya dagvattenlösningar eller optimerad design avseende befintliga åtgärdstyper behövs för att både bra rening och flödesutjämning ska kunna uppnås. Det finns ett växande behov av anläggningar där dessa effekter kombineras. Rådande klimatförändringar, urbanisering och förtätningar av redan urbana områden medför ökad risk för översvämningar och ökad föroreningstransport till recipienterna. Att förändra utformningen av befintliga biofilter, växtbäddar/regnbäddar, svackdiken och diken är en kostnadseffektiv åtgärd som skulle kunna utnyttjas. Detta innefattar att se över möjligheten att strypa utlopp och åstadkomma fördröjning i redan befintliga anlägg-

ingsvolym. Att använda en förbättrad design omfattar även nya anläggningar där det planeras utföras olika typer av biofilter, svackdiken och diken i områden som förtätas eller exploateras. Dimensioneringen av anläggningarna behöver då inte endast anpassas för nya dimensionerande regn och kommande klimatförändringar (Larm et al., 2023) utan även efter anläggnings-specifika förutsättningar/parametrar.

Det är vedertaget att reningseffekten ökar i biofilter, svackdiken/diken och torra dammar om man anlägger upphöjda brunnar så att en större andel av inkommande dagvatten kan infiltrera och renas genom växtbädden innan dagvattnet leds vidare till utloppet (Larm och Blecken, 2019). Det är också vedertaget att fördröjning av toppflöden kan åstadkommas genom att utnyttja fördröjningsvolymen över växtbädden i dessa typer av dagvattenanläggningar. Biofilter kan fungera som fördröjningsmagasin för fördröjning av toppflöden från urbana områden om tillräcklig magasinvolym tillhandahålls genom nedsänkning av växtbädden och eventuell ytterligare fördröjningsvolym i ett underliggande makadammagasin (Penn och Bowen, 2018; Fridell och Jergmo, 2015; Fridell et al., 2023). Även befintliga diken och svackdiken kan nyttjas för fördröjning genom att använda strypta utlopp. Utloppen behöver då dimensioneras med hänsyn till uppdämningsnivåer i anläggningarna vid dimensionerande återkomsttid, regnvaraktighet och klimatteffekter (Larm et al., 2023).

Genom att kombinera dessa renings- och fördröjningsfunktioner kan anläggningarnas utformning

optimeras för både fördröjning och rening. Det gäller att anpassa och utnyttja anläggningarnas volymer för både flödesutjämning och rening, vilket inte minst är viktigt i urbana områden där det kan vara svårt att hitta tillräckliga ytor och volymer för att minska översvämningsriskerna och föroreningsbelastningen till recipienterna.

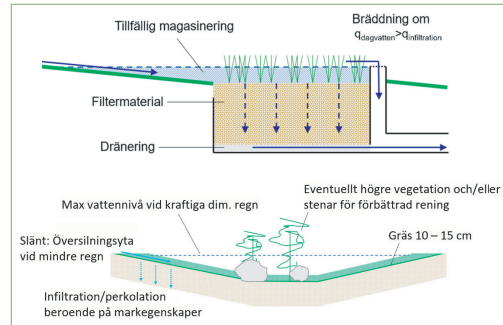
Förslag på optimerad design har tagits fram så att anläggningarna får större kapacitet att fördröja kraftiga flöden och därmed minska översvämningsrisker, samtidigt som de även fortsättningsvis ska kunna användas för rening av dagvatten.

Syftet med artikeln är att presentera en optimerad design av biofilter och svackdiken/diken för förbättrad kombinerad rening och flödesutjämning av dagvatten, samt att visa att man faktiskt kan uppnå bra flödesutjämning av kraftiga flöden i biofilter, från 10- till 30-årsregn (Fridell et al., 2023) – t.o.m. bättre än i våta och torra dammar för vissa anläggningsdjup och släntlutningar. Syftet är också att testa hur ändrad utformning genom justering av anläggningsspecifika parametrar kan användas för att få tillräcklig flödesutjämning samt att visa vilka parametrar som påverkar mest.

Arbetet har finansierats av VINNOVA-projektet SECURE (dnr. 2021-02458).

METOD

Förslag på optimerad design har tagits fram för ett biofilter och ett svackdike. Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web (StormTac, 2023) har använts för att simulera fördröjningsvolymen för olika utformningar av biofilter och svackdiken.

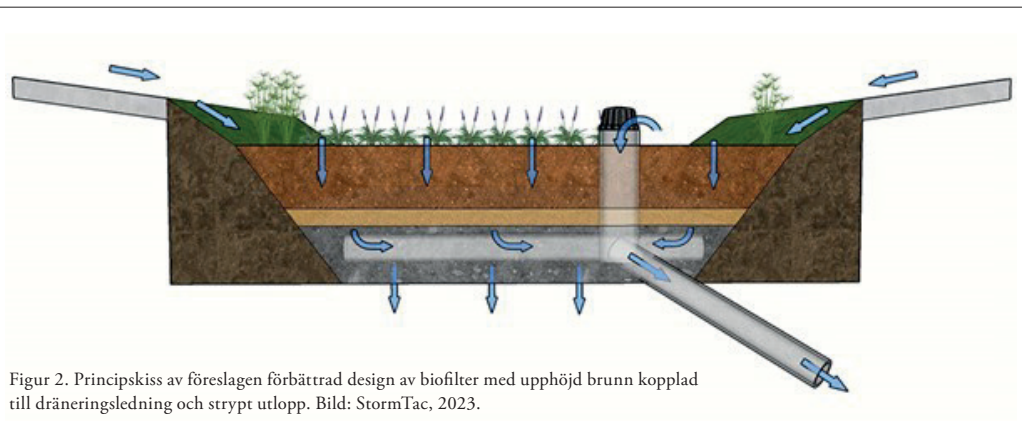


Figur 1. Principskisser av traditionella biofilter (överst) och svackdike/dike (underst) (Larm och Blecken, 2019)

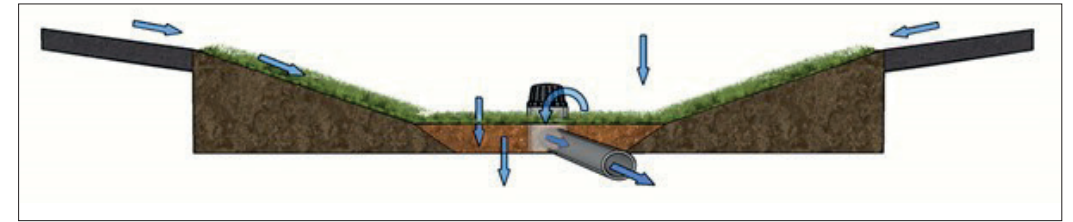
Optimerad design – biofilter

Traditionell design av ett biofilter är att anlägga en bräddbrunn som bräddar förbi toppflödena enligt figur 1. Figur 2 visar framtagen optimerad design (StormTac, 2023) av biofilter med upphöjd brunn för ökad rening. Ett strypt utlopp är direkt kopplat till brunnen och dräneringsledningen. Om man utformar anläggningen enligt principen redovisad i figur 2 kan både effektiv rening via upphöjd brunn och fördröjning åstadkommas, där mindre rening och mer fördröjning erhålls om man sänker nivån på brunnen över växtbädden. Brunnen kan även ligga i nivå med växtbädden men det ger mindre infiltration och sämre rening.

Det strypta utloppet i figur 2 utgörs av en utgående dagvattenledning med mindre dimension där man kan anpassa dimensionen och lutningen för önskad flödeskapacitet och erforderlig strypning (maximalt utflöde). Alternativt kan man anlägga en flödesregu-



Figur 2. Principskiss av föreslagen förbättrad design av biofilter med upphöjd brunn kopplad till dräneringsledning och strypt utlopp. Bild: StormTac, 2023.



Figur 3. Principskiss av föreslagen förbättrad design av svackdiken med upphöjd brunn och strypt utlopp. Bild: StormTac, 2023.

lator vid utloppet till utgående dagvattenledning från biofiltret.

Släntlutningen påverkar yteffektiviteten med större erforderlig yta vid flackare släntlutning. Släntlutningen i figur 2 är relativt brant, ca 1:1,5 men den kan även utföras helt lodrät (ingen släntlutning) av betong eller flackare.

Optimerad design – svackdiken

Figur 3 visar framtagen optimerad design (StormTac, 2023) av svackdiken med upphöjd brunn för ökad rening och ett strypt utlopp som är direkt kopplat till brunnen. Om man utformar svackdiket (eller ett vanligt vägdike) enligt bilden kan man åstadkomma både mer effektiv rening via upphöjd brunn och fördröjning via strypt utlopp, där mindre rening och mer fördröjning erhålls om man sänker nivån på brunnen över växtbädden.

Det strypta utloppet i figur 3 utgörs av en utgående dagvattenledning med mindre dimension där man kan anpassa dimensionen och lutningen för önskad flödeskapacitet och erforderlig strypning (maximalt utflöde). Alternativt kan man anlägga en flödes-

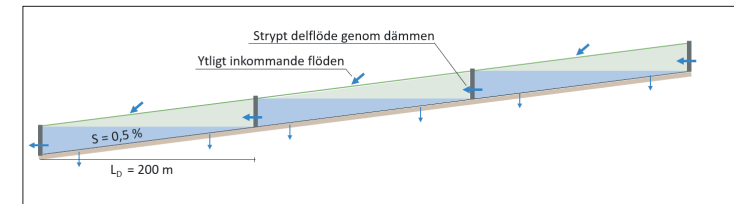
regulator vid utloppet till utgående dagvattenledning från svackdiket.

Släntlutningen påverkar yteffektiviteten med större erforderlig yta vid flackare släntlutning. Släntlutningen i figur 2 är ca 1:3, men den kan även utföras flackare. Flackare släntlutning och lägre längslutning ger lägre vattenhastigheter och högre rening. Flackare lutning än 1:2 är här antagen som definition för svackdike, medan släntlutning på 1:2 eller brantare definierar ett gräsdike med generellt lägre reningseffekt (StormTac, 2023).

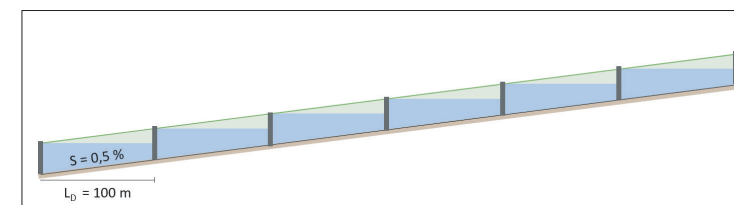
För svackdiken och diken påverkas också fördröjningskapaciteten och yteffektiviteten av längslutningen, samt hur längdsektionen utnyttjas med placering av dämmen, se figur 4–5. Detta beskrivs och diskuteras närmare i avsnittet Resultat och diskussion.

Beräkning av erforderlig fördröjningsvolym (V_d)

För att åstadkomma erforderlig funktion för både flödesutjämning och rening av dagvatten behöver man utreda och anpassa olika anläggningsspecifika parametrar efter förekommande krav på både flödes-



Figur 4. Principprofil över svackdike med längslutning och dämmen samt strypning genom dämmen. Svackdiket i fallstudien delades upp i fem delsträckor enligt principen i figuren. Figuren illustrerar längst rekommenderade avstånd mellan dämmen.



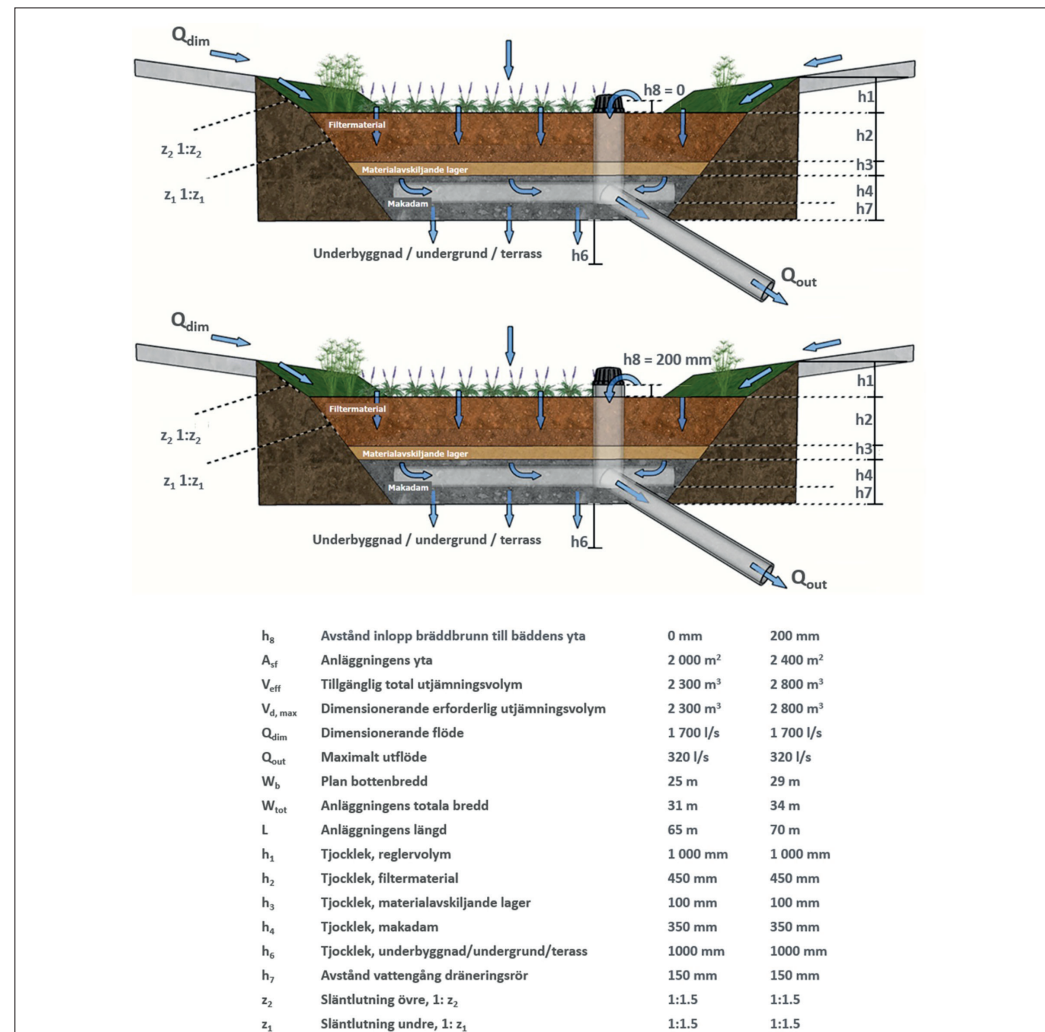
Figur 5. Tätare placering av dämmen ökar fördröjningskapaciteten i svackdikets längdsektion och därmed anläggningens yteffektivitet.

utjämning och rening. Funktionerna och processerna som beaktas redovisas nedan.

StormTac Web tar hänsyn till olika infiltrationshastigheter och porvolym i olika material, bräddhöjd, strypning och exfiltrationshastigheten i undergrunden ner till grundvattnet. Modellen beräknar volymer för varje regnvaraktighet såsom flödesutjämning beräknas enligt P110 (Svenskt Vatten, 2010), men skillnaden här är att vid viss strypning och vissa varaktigheter så dämmer vatten upp genom porerna i olika material i biofiltret tills dessa fylls. Porerna fylls i detta fall underifrån genom att vattnet stiger upp

i konstruktionen p.g.a. strypning och uppdamning av vatten. Porerna kan samtidigt som detta sker även fyllas uppifrån via infiltration genom växtbädden med olika infiltrationshastigheter genom materialen. Dessutom kommer vid viss beräknad tidpunkt en bräddning ske samtidigt som det fortsätter infiltrera, men när den bräddningen sker över bräddbrunnen så kommer flöden som överstiger utloppsledningens kapacitet att dämma upp i konstruktionen.

Modellen hittar med hänsyn till ovan nämnda faktorer den maximala fördröjningsvolymen som erfordras, vid dimensionerande regnvaraktighet och valt



Figur 6. Beräknat biofilter (växtbädd) för hela Fagersjöområdet med och utan upphöjd brunn, 200 mm. Återkomsttid: 10 år, klimatfaktor 1,25. Notationer enligt StormTac Web (StormTac, 2023).

utflöde. Beräkningen inkluderar direkt nederbörd på biofilterytan. I beräkningen av fördröjningsvolym tas även hänsyn till rinnetidens fördröjande effekt enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016). Om man anger att det inte finns någon upphöjd kupolbrunn ($h_8=0$, se figur 6) innebär det att modellen räknar med att det finns ett rör i marknivå som leder ner vattnet med en kapacitet som motsvarar angivet maxutflöde från biofiltret. Tiden under vilken biofiltrets porer fylls upp och då vattnet rinner ut till utloppet beaktas. Modellen tar hänsyn till alla regnvaraktigheter utan begränsning i använda funktioner. Som standard används data över regnintensiteter från Dahlström (2010) upp till 24 timmar och från 24 timmar till max 96 timmar används data från Dahlström (1979). Utifrån dessa data beräknas max erforderlig volym för dimensionerande varaktighet. Hydraulisk konduktivitet beaktas i beräkningarna. Om man inte anger en tät mark ner till grundvattnet sker även ett utflöde utöver angivet maxutflöde vilket minskar erforderlig utjämningsvolym. Beräkningen för erforderligt flödesutjämningsbehov i anläggningarna tar alltså hänsyn till komplexa processer och effekten av olika flöden vid olika varaktigheter genom anläggningssytan respektive genom bräddningen och ut via ledning samt eventuellt även ner via perkolation genom botten på anläggningen.

I de fall man anger att ingen upphöjd bräddbrunn finns ($h_8=0$, se figur 6), att ingen direkt nederbörd på anläggningssytan medräknas och att inget utflöde via perkolation sker p.g.a. tät botten ($k_c=0$), så kommer resulterande utjämningsbehov bli samma som för beräkningarna enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016). För detta fall fungerar anläggningen ungefär som en torr damm med bottenutlopp. Detta medför att hela volymen över bottenutloppet blir tillgängligt för fördröjning och att avtappningen via utloppet från fördröjningsvolymen påbörjas direkt vid regnets början, vilket skapar en mindre erforderlig fördröjningsvolym jämfört med att höja bräddbrunnen och därmed fördröja avtappningen via denna. Höjer man bräddbrunnen (sätter t.ex. $h_8=200$ mm) innebär det att när det börjar regna, beroende på infiltrationsskapaciteten genom marken och viss mätnadsgrad i växtbädden, börjar vattnet stiga upp mot bräddbrunnen innan avtappningen från denna påbörjas. När

avtappningen påbörjas är redan en del av anläggningens fördröjningsvolym vattenfylld och en större volym kommer att erfordras för att fördröja flödet till maximalt tillåtet utloppsflöde jämfört med vid en sänkt bräddnivå. Att höja bräddbrunnen skapar därmed en större erforderlig fördröjningsvolym. En större area behövs då och en större area skapar även större yta för tillkommande direkt nedfall på ytan.

I fall med upphöjd bräddbrunn ($h_8>0$) tar modellen hänsyn till att flödet genom växtbädden kommer att rinna ner och nå utflödet vid en viss beräknad regnvaraktighet som beror på materialdjupen och deras respektive hydrauliska konduktivitet. Vid hög hydraulisk konduktivitet kan då dagvattnet rinna ner genom översta materialskiktet med hög hastighet och högt flöde som räknas som ett utflöde och skapar ett visst utjämningsbehov, men när detta flöde når utloppet från anläggningen så begränsas det av utlopps/strypningens kapacitet som kan vara mindre än flödet genom materialen. Modellen beaktar tiderna och flödena när vattnet bräddar in i bräddbrunnen. Hur dessa olika flöden samverkar genom växtbädden, genom bräddbrunnen och ut från anläggningen via ledning, och eventuellt även ut genom botten av anläggningen, är komplext. Olika stora flöden uppkommer vid olika regnvaraktigheter.

Beräknad erforderlig fördröjningsvolym (V_d) beror på, utöver maxutflödet och avrinningsytan, externa respektive anläggningsspecifika parametrar. I en tidigare studie (Larm et al., 2023) utreddes de externa parametrarnas påverkan, t.ex. regnets återkomsttid/regnintensitet, klimatfaktorn och avrinningskoefficienten. I denna artikel utreds istället de anläggningsspecifika parametrarnas påverkan på V_d . Dessa utgörs av hydraulisk konduktivitet (k) genom anläggningens material och genom anläggningens botten, porvolym för och tjockleken av de olika materialen, höjden på bräddningen (h_8), tjockleken (reglerhöjden) av fördröjningsvolymen över anläggningen (h_1) och flödesreduktionsfaktorn (Svenskt Vatten, 2016; StormTac, 2023). Ytterligare parametrar som studeras är släntlutningen och för svackdiken/diken även längslutningen. Erforderlig fördröjningsvolym (m³) beräknas i StormTac Web i grunden utifrån samma ekvation som anges enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016) och som tar hänsyn till områdets rinnetid. Hänsyn i

StormTac Web tas dock även till olika delflöden genom växtbädden, ut genom ”bräddbrunnen”, ut via ledning, dämning upp genom materialen i deras porvolym och eventuellt ut genom anläggningens botten.

Det bör observeras att med ”bräddbrunn” avses i detta fall en förhöjd intern brunn inom anläggningen till vilken större flöden bräddas in i, tillika de flöden som inte infiltrerar genom växtbädden. Bräddfunktionen innebär i detta fall att alla flöden som går genom denna brunn och via växtbädden antas ledas ut genom samma ledning i enlighet med princip som visas i bilderna i figur 2–3. Så det är inte samma typ av bräddning (bypass, förbiledning) som avses i bilden i figur 1 och som istället avser en bräddning där större flöden bräddas förbi anläggningen utan rening. Denna andra typ av förbiledning kan man också använda sig av, men då uppnås ingen flödesutjämning vid intensiva regn. För att uppnå flödesutjämning krävs utjämning av toppflöden inom anläggningen vilket kan åstadkommas genom strypt utlopp från dimensionerad anläggning. Ju högre man anlägger bräddbrunnen inom reningsanläggningen desto mindre flödesutjämnande volym över bräddbrunnen åstadkoms, så vill man ha en större flödesutjämnande effekt minskar man höjden på brunnen och stryper samtidigt utloppet till vad som maximalt kan tillåtas. Strypningen sitter alltså på utloppsledningen eller att ledningen kan minskas i dimension tack vare skapad fördröjning. Även bräddat vatten stiger upp i bädden. I de fall man ansluter till en ledning med större kapacitet, men ändå behöver en fördröjning, så kan man anlägga ytterligare en bräddbrunn i högre nivå (vid dimensionerande reglerhöjd h_1 i figur 6) som bypassar strypningen när biofiltrets kapacitet är fylld, för att minska översvämningen vid kraftigare regn än vad man dimensionerat anläggningen för.

Beräknad erforderlig fördröjningsvolym i StormTac Web kan bli större än beräknad volym i enlighet med beräkningsmetodik i P110 om diket eller biofiltret dimensionerats med upphöjd bräddbrunn, vilken medför större erforderlig flödesutjämningsvolym men bättre rening i och med ökad infiltration tills flödet bräddas genom bräddbrunnen, och i och med den volym som finns mellan växtbäddens yta och brunnen överkant.

Dimensionerande erforderlig fördröjningsvolym

beror utöver utloppsfödet på de anläggningsspecifika parametrarna bräddbrunnens höjd över växtbädden (h_8) och anläggningens storlek, eftersom modellen räknar med flödet som kommer av direkt nederbörd på anläggningsytan. Det senare medför även att sidoytor och bottenytan ger en perkolation vidare ner mot grundvattnet, beroende på angiven hydraulisk konduktivitet genom undergrunden.

Fallstudie

För ett delavrinningsområde i Fagersjö till sjön Magelungen i Stockholms stad beräknades erforderlig fördröjningsvolym för dagvattnet från området. Beräkningarna utfördes med StormTac Web, v23.3.1. Avrinningsområdet utgörs av ett blandat bostadsområde med centrum, en genomfartsväg (Magelungsvägen) och en banvall, samt grönytor i form av skogsmark, parkmark och blandat grönområde. Området är 36 ha stort med en dimensionerande avrinningskoefficient enligt Rationella metoden på 0,28, viktad från avrinningskoefficienter per markanvändning från P110 (Svenskt Vatten, 2016). Det dimensionerande inflödet Q_{dim} till studerad anläggning är beräknat till ca 1 700 l/s och maxutflödet Q_{out} från anläggningen är antaget till 320 l/s, vilket beräknats vara ungefär samma som 10-årsflödet före exploatering (med endast naturmark). Antagen klimatfaktor är 1,25. Dimensionerande rinnsträcka är 1 070 m och rinntid 25 min.

Området redovisas i mer detalj i Larm et al. (2023) där bl.a. den yttre påverkan av klimatförändring (”klimatfaktorer”), dimensionerande regn, avrinningskoefficienter vs regnintensiteter och gröna ytors effekt på dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym studerades. I denna studie beräknas istället fördröjningseffekten för olika utformning av biofilter och svackdiken för samma fallstudie, d.v.s. för olika anläggningsspecifika parametrar.

RESULTAT OCH DISKUSSION

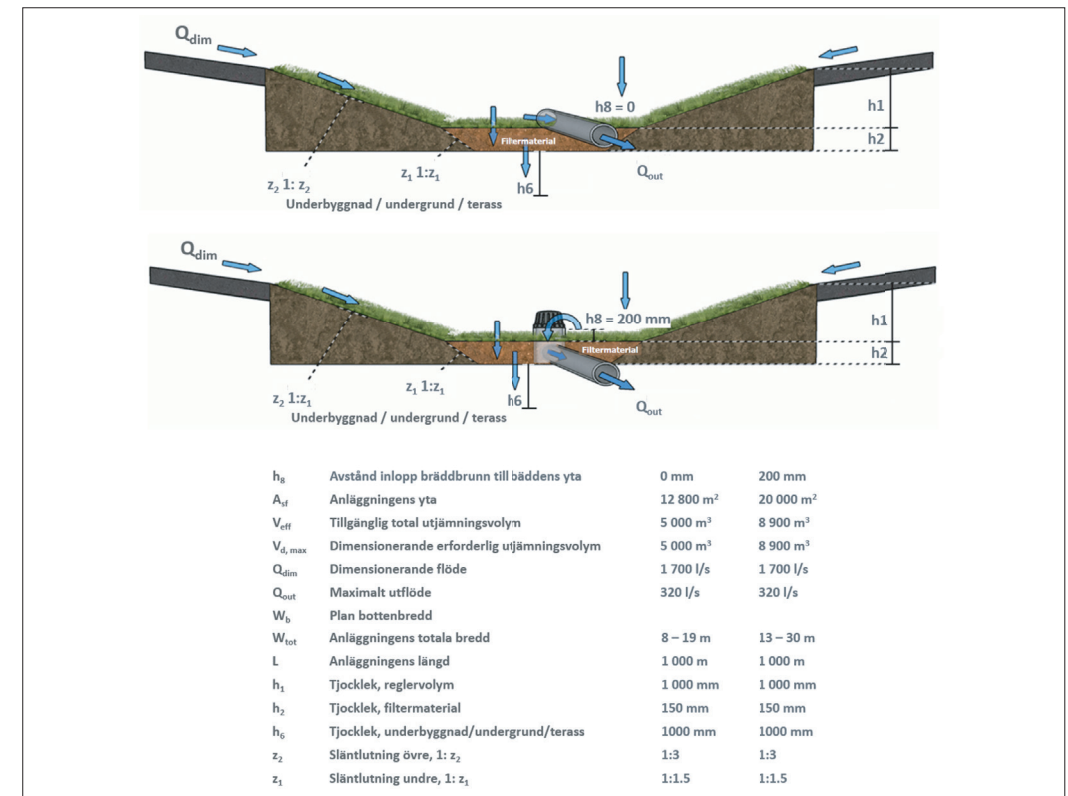
Dimensionerade anläggningar med optimerad design i jämförelse mot andra anläggningstyper

Tabell 1 visar resultat från fallstudien för 10-årsregnet med klimatfaktor 1,25, ett dimensionerande flöde från området Q_{dim} på ca 1 700 l/s och antaget maxutflöde på

Tabell 1. Ytbehov (A_{tot}) och fördröjningsbehov (V_d) från fallstudien i Fagersjö för anläggningstyper med olika släntlutningar (z). Anläggningsdjup 1,0 m, upphöjd brunn $h_8=0$ och 200 mm eller reglerhöjd $h_{r1}=0$ och 200 mm, återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25 och max utflöde 320 l/s.

Anläggning	$h_8=h_{r1}=0$ mm			$h_8=h_{r1}=200$ mm		
	A_{tot} (m ²)	V_d (m ³)	A_{tot}/V_d (m-1)	A_{tot} (m ²)	V_d (m ³)	A_{tot}/V_d (m-1)
Biofilter, $z=1:1,5$	2 000	2 300	0,9	2 400	2 800	0,9
Svackdike, $z=1:3$	12 800	5 000	2,6	20 000	8 900	2,2
Torr damm, $z=1:3$	2 400	2 400	1,0	2 900	2 900	1,0
Våt damm, $z=1:3$	2 700	2 400	1,1	2 800	2 600	1,1

320 l/s. Ett fall för biofilter, svackdike och torr damm beräknas utan upphöjd bräddbrunn ($h_8=0$) respektive med upphöjd brunn ($h_8=200$ mm). En reglerhöjd på 1,0 m antogs (upp till samma nivå som omgivande mark i detta fall, se figur 6) för att ge jämförande resultat som för torra och våta dammar. Anläggningsdjupet för våt damm (1,0 m) avser endast reglerhöjden över permanent vattenyta i detta fall. Ett biofilter med grundare utformning utreds i nästa avsnitt (tabell 2). Den djupa utformningen kan användas för biofilter som tar hand om dagvatten från större områden och benämns då här för regnbädd (eng. ”Rain garden”), men har samma funktion som mindre biofilter för mindre områden. För våta dammar avser fallen; 1) dammar med en reglervolym med reglerhöjd $h_r = 1 000$ mm och ett strypt utlopp; 2) motsvarande reglerhöjd (200 mm) för en första reglervolym för extra rening under avrinning med tömningstiden 13 h för ett utflöde på 10 l/s genom ett utloppshål vid



Figur 7. Beräknat svackdike för hela Fagersjöområdet med och utan upphöjd brunn, 200 mm. Återkomsttid: 10 år, klimatfaktor 1,25. Notationer enligt StormTac Web (StormTac, 2023).

permanent vattenyta, och en övre reglerhöjd $h_{r,2}=800$ mm med utflöde 310 l/s över ett skibord 200 mm över permanent vattenyta, vilket ger total reglerhöjd $h_r=1\ 000$ mm även här.

Resultaten av de olika beräkningsfallen redovisas i tabell 1. Anläggningarnas geometrier kan dock påverka resultaten i tabellen. De utgår i tabellresultaten från att biofilter har en ganska kraftig släntlutning på 1:1,5 (figur 6) och att både svackdiken (figur 7), torra och våta dammar har släntlutningen 1:3. Påverkan av andra släntlutningar testas dock som anläggningsspecifik parameter för jämförelse med påverkan av andra parametrar (tabell 2). Vi introducerar som underlag i Tabell 1 en beräkning av ytteffektivitet som kvoten mellan anläggningsyta (A_{tot}) och fördröjningsvolym (V_d). Mest ytteffektiv anläggning är den med lägst kvot, d.v.s. biofiltret. Biofilter kan byggas med brantare slänter eftersom man har mothåll av biofiltrets bädd (figur 2). De kan även byggas med lodräta slänter om de utförs i betong, vilket även gäller damm även om jordslänter är vanligast för dessa. Ytteffektiviteten ändrades inte mellan fallen med nedsänkt respektive upphöjd brunn för biofilter, torr damm och våt damm. Att den torra dammen blir något ytteffektivare än den våta dammen, trots samma geometrier, förklaras av att vi för den torra dammen, liksom för biofilter och svackdiken, räknat med ett extra utflöde genom undergrunden, motsvarande 8 mm/h (tabell 2 och figur 6–7). Som ett standardfall har vi alltså räknat med att den våta dammen skall ha en tät botten för att hålla den permanenta vattennivån, medan vi medräknat viss exfiltration för övriga anläggningar. Effekten av olika medräknad exfiltration på erforderlig fördröjningsvolym visas för biofilter i tabell 2.

Ett biofilter utan upphöjd brunn ($h_g=0$) klarar att på mindre yta, och därmed även mindre erforderlig fördröjningsvolym, fördröja dagvattnet ner till maxutflödet i jämförelse med övriga anläggningstyper, se tabell 1. En förklaring till att de senare får större erforderlig fördröjningsvolym är direkt nederbörd som ökar det totala flödet till anläggningen ju större ytan är. Tillgänglig volym under marken kan även utnyttjas i den förbättrade designen med strypt utlopp och minskar ytbehovet i biofiltret. Mindre släntlutning är en annan förklaring.

Reiningseffekten blir lägre i fallet utan upphöjd

brunn eller utan en reglervolym för rening och strypt flöde med tillräcklig tömningstid. Ett fall har därför studerats där anläggningarna även behöver ha bättre rening vilket kan erhållas med upphöjda brunnar eller i fallet med våt damm en tillkommande första reglervolym med litet utflöde och tillräckligt lång tömningstid (minst ca 12–24 h under medelstora avrinningstillfällen) (Larm och Blecken, 2019), se de tre sista kolumnerna i tabell 1. Erforderlig fördröjningsvolym blev mindre i biofilter än i svackdike och torr damm, men något högre än i en våt damm. Ytbe

Tabell 2. Erforderliga fördröjningsvolym (m³) för hela området Fagersjö och för biofilter med olika normala variationer på anläggningsspecifika data per parameter. Notationerna hänvisar till de som anges i StormTac Web.

DIMENSIONERANDE PARAMETER	V_d (m ³)
h_g. Höjd på brunn över växtbädd	
Avstånd inlopp bräddbrunn till den övre bäddens yta.	
0 mm	2 400
100 mm	2 800
200 mm (standard)	3 500
k₆. Hydraulisk konduktivitet för undergrund	
0 mm/h (tät botten)	3 700
8,0 mm/h (mark) (standard)	3 500
200 mm/h (sand)	2 600
h₁. Tjocklek reglervolym. Reglerhöjd över växtbädd	
400 mm (standard)	3 500
1000 mm	2 800
f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp	
Medel utflöde – max utflöde (Svenskt Vatten, 2016 och StormTac, 2023)	
2/3 (standard för strypt utlopp)	3 500
0,95 (flödesregulator vid utloppet)	2 900
1,0 (pumpat utflöde)	2 800
h₄. Tjocklek makadamlager	
200 mm	3 700
350 mm (standard)	3 500
600 mm	3 300
h₂. Tjocklek växtbädd (filtermaterial)	
150 mm	3 700
450 mm (standard)	3 500
600 mm	3 400
p₂. Porositet för växtbädd. Porositet filtermaterial	
0,15	3 600
0,25 (standard)	3 500
0,40	3 300
z. Släntlutning	
1:0	3 400
1:1,5 (standard)	3 500
1:3	3 600
1:5	3 600
p₄. Porositet för makadamlager	
0,30	3 500
0,40 (standard)	3 500
0,45	3 400
k₂. Hydraulisk konduktivitet för växtbädd (filtermaterial)	
50 mm/h	3 500
200 mm/h (standard)	3 500
500 mm/h (grov sand)	3 400

hovet blev dock lägst för biofiltret även för detta fall.

En slutsats från beräkningarna är att ett biofilter utformat för fördröjning i första hand, på mindre yta än en våt damm, kan ge större fördröjning vid kraftiga flöden såsom vid ett 10-årsregn. Beräkningarna visar även på en hög fördröjningseffekt i biofilter i jämförelse med torra dammar med bottenutlopp. Exemplet visar att biofilter med förbättrad design t.o.m. kan ge större fördröjningseffekt än en torr damm med samma yta, vilket beror på ett optimerat utnyttjande av tillgänglig porvolym i underliggande material i kombination med en strypning av utflödet såsom för torra dammen.

Svackdiken är minst ytteffektiva och mycket stora ytor skulle behövas för att åstadkomma tillräcklig fördröjningsvolym i detta fall med ett relativt stort avrinningsområde. Längslutningen på minst 0,5 % gör att dämmen med strypningar skulle erfordras minst var 200:e meter (vilket räknades med i tabell 1) på en sträcka om ca 1 000 m för att hela längsektionen ska kunna nyttjas till fördröjning. Dämmen ökar tillgänglig fördröjningsvolym i svackdiken. Dikesbredden behövde vara ca 8 m första delsträckan för att ökas mot ca 20 m sista sträckan innan utloppet, förutsatt att bräddbrunnen inte är upphöjd ($h_g = 0$ mm). I det fall bräddbrunnen är upphöjd ($h_g = 200$ mm) blev dikesbredden på första sträckan ca 13 m och på sista sträckan ca 30 m. Det blir komplicerade seriekopplade beräkningar med strypningar och delområden som tillkommer efter varje dämme, med olika strypta utflöden längs sträckningen. Här utfördes en överslagsberäkning där det maximalt tillåtna utflödet på 320 l/s delades upp i 5 lika stora delområden, med 1/5 av maximalt tillåtet utflöde från första delsträckan, 2/5 från andra delsträckan o.s.v.

Det krävdes för denna fallstudie med sitt ganska stora avrinningsområde orimligt stora anläggningssytor och volymer för att klara utflödet 320 l/s. En överslagsberäkning av tillgänglig volym i dikessektionen gav att cirka hälften av volymen som skapas under dikeskant blir tillgänglig för fördröjning.

Överslagsberäkningen bygger dels på antagandet att dämmen placeras med längsta rekommenderade avstånd som beskrivs i figur 4. En större del av längdsektionen kan nyttjas om dämmena placeras med kortare avstånd, vilket visas i figur 5. Överslagsberäkning

gen bygger också på en förenkling av tvärsnittet, som specifikt för denna volymberäkning approximerades till motsvarande kanal (släntlutning 0), alltså ett tvärsnitt som inte varierar i bredd med vattenytan i dikets längdriktning. För ett dike med liten bottenbredd och flacka slänter minskar volymen ytterligare uppströms i respektive delsträcka.

Svackdikets ytteffektivitet kan ökas genom att minska avståndet mellan dämmena. På så sätt kan en större del av längdsektionen utnyttjas för fördröjning. Figur 5 visar motsvarande fall med tätare placering av dämmen.

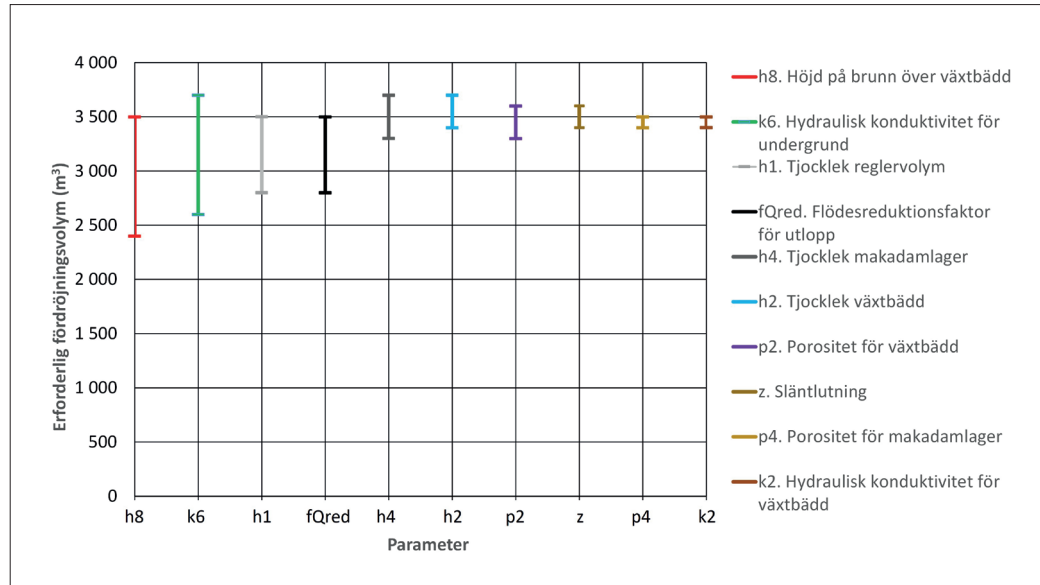
Om inga dämmen med strypningar skulle anläggas erhålls en tillgänglig fördröjningsvolym endast långsamt med en mindre sträcka längst nedströms i anläggningen. Denna sträcka skulle vid 0,5 % längslutning uppgå till 200 m och skapa en fördröjningsvolym om endast cirka 500 m³ vid en bredd på 8 m, vilket inte alls skulle vara tillräckligt för antaget strypt utflöde och som skulle resultera i stora bräddvolym.

Dimensionerade anläggningar för fallstudierna

Figur 6 visar designen av en biofilteranläggning för fallstudien, i form av en regnbädd med ganska djup reglerhöjd på 1 m för att vara jämförbar med torra och våta dammar, utan respektive med upphöjd brunn, enligt tabell 1. Figur 7 visar designen av svackdiken för fallstudien, med reglerhöjd på 1 m för att vara jämförbar med torra och våta dammar, utan respektive med upphöjd brunn, enligt tabell 1.

Påverkan av anläggningsspecifika parametrar på beräknad erforderlig fördröjningsvolym

10 parametrar och deras påverkan på beräknad erforderlig fördröjningsvolym för fallstudien har utretts för biofilter, vilka anges med rekommenderade min-, standard- och maxvärden samt med korta förklaringar i tabell 2. Dessa värden utgår från tidigare utförda litteraturstudier (t.ex. Larm och Blecken, 2019) och anges i StormTac Web. För svackdiken undersöktes påverkan för de 5 parametrar som påverkar svackdiken. Dessa parametrar har justerats för att studera deras specifika påverkan och utgår alla från ett standardfall enligt tabellen, men där en i taget av dessa värden i standardfallet alltså justerats enligt tabellen.



Figur 8. Påverkan av 10 olika dimensionerande parametrar på erforderlig fördröjningsvolym i biofilter i Fagersjö. Erforderliga fördröjningsvolym (m³) i biofilter för fallstudien med olika normala variationer på anläggningsspecifika parametrar (tabell 2) och i ordning efter hur stor variation på resultatet som respektive parameter ger.

Tabellen sammanställer respektive parameters påverkan på erforderlig fördröjningsvolym för ett större biofilter (regnbädd) för hela området, vilket i praktiken alternativt kan delas upp i mindre anläggningar. Simuleringarna har skett med StormTac Web. För biofilter har de utgått från att längden ungefär är dubbla bredden på anläggningen. I övrigt har beräkningarna anpassats för angivet maxutflöde 320 l/s, återkomsttid 10 år och klimatafaktor 1,25. Standard tjocklek för anläggningarnas reglerhöjder är satt till 400 mm, d.v.s. en grundare utformning än vad avsåg den jämförande studien med andra anläggningstyper i tabell 1. Som standardfall angavs även en upphöjd brunn 200 mm över växtbädden för att spegla en mer optimerad design med förbättrad reningseffekt, men som även ger fördröjande funktion.

Resultaten från tabell 2 med variationer för varje parameter visualiseras i figur 8 för biofilter.

De anläggningsspecifika parametrarna ger resulterande erforderliga fördröjningsvolym för biofilter inom ett spann på ca 2 400–3 700 m³. Av de anläggningsspecifika parametrarna för biofilter gav följande parametrar i storleksordning störst påverkan på erforderlig fördröjningsvolym; 1) h₈. Höjd på brunn

över växtbädd; 2) k₆. Hydraulisk konduktivitet för undergrund (som ger ett extra utflöde); 3) h₁. Tjocklek på reglervolym; 4) f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp och 5) h₄. Tjocklek makadamlager. Övriga parametrar gav mindre variation i resultatet.

Av de anläggningsspecifika parametrarna för svackdiken så är det färre parametrar som påverkar resulterande V_d. Följande parametrar påverkar resultaten och anges i storleksordning avseende störst påverkan på erforderlig fördröjningsvolym; 1) h₈. Höjd på brunn över växtbädd; 2) k₆. Hydraulisk konduktivitet för undergrund (som ger ett extra utflöde); 3) h₁. Tjocklek på reglervolym; 4) f_{Qred}. Flödesreduktionsfaktor för utlopp och 5) z. Släntlutning. Detta är samma ordningsföljd som för biofilter, men genomgående högre V_d för svackdiken, vilket beror på större yta med större inloppsflöde i och med direkt nederbörd på dikesytan. För svackdiken påverkas fördröjningskapaciteten även mycket av parametern Längslutning, inkl. placering av eventuella dämmen, se beskrivning nedan i avsnittet Längslutning.

En vidare analys gjordes genom att ändra antaganden för olika indata. Reglerhöjdens inverkan på erforderlig V_d blir större med än utan upphöjd brunn,

vilket också är tydligt när man ser på den specifika inverkan av brunnens höjd h₈ för svackdiken. I tabell 1 ser man att svackdiken behöver vara mycket större både till yta och volym om en upphöjd brunn anläggs. Om h₈=0 istället för använda h₈=200 mm anges för svackdiken så minskar påverkan betydligt på V_d av ändring i värden på h₁. Tjocklek reglervolym. Vilken minsta tjocklek som väljs för reglervolymen påverkar också parametrarnas variation och därmed angiven ordningsföljd på påverkan. Detta medför att det är svårt att jämföra storleksordningen för påverkan av parametrarna då tjockleken av reglervolymen och brunnshöjden påverkar varandra. Resultaten visar utöver förhållandet mellan dessa två parametrar dock ändå vilka av de 10 parametrarna som ger störst påverkan, och speciellt stämmer inbördes påverkan för föreslagen förbättrad design med upphöjda brunnar.

Avseende parameter z. Släntlutning så påverkar den beräknad yteffektivitet (A_{tot}/V_d). I tabell 2 har även en lägre reglerhöjd (h₁=400 mm) använts som standard än enligt tabell 1 (h₁=1000 mm). Den lägre reglerhöjden ger betydligt större anläggningsytor som ökar vid allt flackare släntlutningar. För standardfallet ökade yteffektiviteten för biofilter från 0,9 till 1,5 för den grundare utformningen, se tabell 3. Med flackare släntlutning ökar kvoten för yteffektivitet, d.v.s. anläggningen upptar större yta för viss erforderlig fördröjningsvolym. Liksom jämförelsen mellan anläggningstyper i tabell 2 för djupare anläggningar så visade sig biofilter vara yteffektivare än dammar även för grundare anläggningar, men då har vi jämfört med våta dammar som har en första reglervolym med samma djup som den upphöjda brunnen i biofilter för att få jämförbara värden som ger ökad rening.

Svackdiken och diken har inte redovisats i tabellen eftersom längslutningen (se nästa avsnitt) har betydligt större påverkan än släntlutningen och med ett så litet anläggningsdjup skulle många dämmen med strypningar och mycket breda utformningar på dikena erfordras. Det bedöms inte vara en rimlig anläggningstyp för denna fallstudie för att få ner utflödet tillräckligt på den sträcka som finns att tillgå (ca 1 000 m). Svackdikena skulle bli extremt breda och uppta alldeles för stora ytor.

I tabell 3 redovisas även inom parenteser möts-

varande värden för djupare anläggningar (1,0 m), från tabell 1. Om vi skulle jämföra en damm (z=1:3; h₁=200 mm) med djupare reglerhöjd med ett grundare biofilter så blir dammen yteffektivare med kvoten A_{tot}/V_d=1,1 jämfört med kvoten 1,5 för biofilter (z=1:1,5; h₈=200 mm). Den senare jämförelsen blir dock inte helt korrekt då porvolymen är medräknad för biofiltret men inte för dammen som även har en stor permanent vattenvolym under dess reglervolym. Om den senare skulle medräknas skulle kvoten för den djupare dammen minska till 0,63 (2 800/4 400). För det grundare biofiltret skulle kvoten minska till 0,78 (5 400/6 900) om man tar med den totala volymen som anläggningen upptar, inte bara den effektiva porvolymen. Även här skulle dammen bli lite mer yteffektiv än biofiltret, men då jämför man anläggningar med olika djup, dock med normala djup för respektive anläggningstyp.

Längslutning

För svackdiken och diken, som utformas med längslutning för transport, har längslutningen och placering av dämmen längsmed längsektionen en mycket stor inverkan på tillgänglig fördröjningsvolym (Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 2006). Placering av dämmen och strypa utlopp har stor påverkan på utnyttjandet av tillgänglig volym. Längslutningen bör vara mellan ca 0,5 – 2 % (Minnesota stormwater manual, 2023), även om uppgifter upp till 5–6 % förekommer (Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 2006; Mustafa et al., 2016). Utöver längslutningen och avståndet mellan dämmen påverkar även tvärsektionens geometri tillgänglig fördröjningsvolym i svackdiken. En tvärsnitt med bred bottenbredd och skarp släntlutning förlorar mindre volym uppströms medan en tvärsnitt med smal bottenbredd och flacka slänter förlorar mer volym uppströms.

För anläggningar med djup på 1,0 m så skulle det räcka med 4 dämmen (största rekommenderat avstånd mellan dämmen enligt figur 4) och att dela upp diket i 5 delar om vardera 200 m för fallstudien, antaget den lägsta längslutningen 0,5 % (1,0 m/200 m) annars i 20 delsträckor om 50 m vid 2 % längslutning (1,0 m/50 m). För grundare anläggningar med djup 0,4 m skulle diket behöva delas upp i 13 delar

Tabell 3. Ytbehov (A_{tot}) och fördröjningsbehov (V_d) från fallstudien i Fagersjö för olika släntlutningar (z). Anläggningsdjup 0,4 m (1,0 m från tabell 1 inom parenteser), upphöjd brunn $h_g=200$ mm eller reglerhöjd $h_{r1}=200$ mm, återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25 och max utflöde 320 l/s.

Anläggning	Parameter	Enhet	z=1:0	z=1:1,5	z=1:3	z=1:5
Biofilter	V_d	m^3	3 400	3 500 (2 800)	3 600	3 600
	A_{tot}	m^2	5 100	5 400 (2 400)	5 700	6 100
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	1,5	1,5 (0,9)	1,6	1,7
Torr damm	V_d	m^3	4 200	4 200	4 200 (2 900)	4 200
	A_{tot}	m^2	9 600	9 700	9 900 (2 900)	10 000
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	2,3	2,3	2,4 (1,0)	2,4
Våt damm	V_d	m^3	3 100	3 100	3 100 (2 600)	3 100
	A_{tot}	m^2	7 700	7 700	7 800 (2 800)	8 100
	A_{tot}/V_d	m^{-1}	2,5	2,5	2,5 (1,1)	2,6

om vardera 80 m för största rekommenderat avstånd mellan dämmena vid 0,5 % längslutning, eller 50 delar om vardera 20 m för största rekommenderade avstånd mellan dämmena vid 2 % längslutning.

För varje strypning fordras en större fördröjningsvolym i kommande delsträcka. Då det rör sig om långa anläggningar som behöver delas upp i många delsträckor är svackdiken därför mindre yteffektiva och inte att rekommendera för större avrinningsområden. De kan vara mer yteffektiva i mindre avrinningsområden, men bör inte anläggas för att ta hand om dagvatten för större områden än ca 2 ha enligt Minnesota stormwater manual (2023) och enligt LID SWM Planning and Design Guide contributors (2023) eller 4 ha enligt Mustafa et al. (2016). Svackdiken bedöms vara ett bra alternativ för mindre områden än ca 2–4 ha där man behöver en kombination av transport, rening och fördröjning. Ett exempel på att de inte blir yteffektiva och orimligt stora för större områden är denna fallstudie med arean 36 ha.

SLUTSATSER

Biofilter med optimerad design är yteffektivare än torra dammar och svackdiken vad gäller fördröjningsvolym vid schakt i naturmaterial. Den förbättrade designen utnyttjar tillgänglig porvolym i underliggande material i kombination med en strypning av utflödet.

Även svackdiken/diken kan utformas och dimensioneras för att fördröja kraftiga flöden via strypta utlopp. Släntlutningen och anläggningsdjupet är

nyckeln här; biofilter med motfyllnad av växtbädden tål brantare släntlutning än öppna dammar och diken vid schakt i naturmaterial och blir därför yteffektivare. Om istället betongkonstruktion eller andra konstgjorda material nyttjas och med djupare konstruktion än biofilter så kan diken, svackdiken, torra och våta dammar bli yteffektivare gällande fördröjningsvolym i och med att de inte har en fyllnad/bädd som tar upp utrymme även om våta dammars permanenta volym också tar upp utrymme. I området för fallstudien var svackdiken dock inte yteffektiva. På grund av avrinningsområdets storlek krävdes att svackdiket delades in i fem seriekopplade delsträckor, separerade av dämmen med längsta rekommenderade avstånd för utnyttjande av längdsektionen med hänsyn till längslutningen. Svackdiket behövde även utföras ca 1 m djupt för att inte med en grundare utformning kräva betydligt fler dämmen. Flera seriekopplingar resulterar i en ökande erfordrad fördröjningsvolym för respektive delsträcka. Svackdiken är därför inte att rekommendera i större avrinningsområden, men kan lämpa sig bättre i små avrinningsområden upp till ca 2–4 ha.

Metoden enligt P110 kan användas för beräkning av erforderlig flödesutjämning för en torr damm eller ett dike med bottenutlopp. När ett biofilter eller ett svackdike även skall dimensioneras för rening krävs att beräknad flödesutjämningsvolym tar hänsyn till effekten av upphöjd brunn och för biofilter även till underliggande lager.

Den tidigare studien (Larm et al., 2023) visar att externa faktorer såsom i synnerhet valet av regnets återkomsttid och avrinningskoefficienter

samt grönytors bidrag (Larm et al., 2023) påverkar resulterande erforderliga fördröjningsvolymerna mycket. Denna studie visar att även anläggnings-specifika parametrar har stor påverkan på fördröjningsvolymen, särskilt höjd på brunnen över växtbädden, tjockleken på reglervolymen, hydraulisk konduktivitet för undergrund och tjocklek på makadamlaget i biofilter. Dessa faktorer och parametrar behöver utredas och optimeras innan anläggningarna projekteras för att maximera renings- och fördröjningseffekt utifrån de lokala förutsättningarna. De anläggnings-specifika parametrarna ger erforderliga fördröjningsvolymerna för biofilter och svackdiken inom ett snävare spann än för de externa parametrarna som redovisades i Larm et al. (2023) och som för samma fallstudie gav större skillnader för olika använda beräkningsfall, t.ex. avseende återkomsttid och påverkan av hur grönytor och avrinningskoefficienter simuleras.

Studien och beräkningarna visar avslutningsvis att biofilter kan utformas och dimensioneras för att ge effektiv fördröjning av kraftiga flöden. Möjligheten att bygga nya, och komplettera befintliga, dagvatnenlösningar med denna typ av yteffektiv optimerad design innebär att en stor idag oanvänd fördröjningspotential kan nyttjas i våra städer och därmed öka förmågan att motstå framtida klimatförändringar och översvämningsrisker utan att i onödan ta viktiga exploateringsytor i anspråk.

Referenser

Dahlström, B. (1979). Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. Building Research Council in Sweden, Report R 18: 1979. 84 p-ISBN 91-540-2986-4.

Dahlström, B. (2010). Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten utveckling 2010-05.

Fridell, K. och Jergmo, F. (2015). Regnbäddar – biofilter för behandling av dagvatten. Movium Fakta #2, 2015.

Fridell, K., Border, M. och Brattström, M. (2023). Levande stadsrum – en handbok i blågröngrå system. Edge, version 4.0, rev. 2023-11-30.

Larm, T., Wahlsten, A., Kjellin, J., Ekeröth, S., Olsson, J. och Broekhuizen, I. (2023). Grönområdets och designens påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvattenanläggningar. VATTEN–Journal of Water Management and Research.

Larm, T. och Blecken, G. (2019). Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Svenskt Vatten utveckling 2019-20.

Minnesota stormwater manual (2023). https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Main_Page

LID SWM Planning and Design Guide contributors. (2023). Sustainable Technologies Evaluation Program. <https://wiki.sustainabletechnologies.ca/index.php?title=Swales&oldid=15823>

Mustafa N., Ahmad N.A. och Razi M.A.M. (2016). Hydraulic performance of grassed swale as stormwater quantity control. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 8, April 2016.

StormTac (2023). Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web. <https://www.stormtac.com/>

Penn, C.J. och Bowen, J.M. (2018). Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality. Springer, USA.

Svenskt Vatten (2016). Publikation P110. Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avlopps-system. Januari 2016.

Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual (2006). December 30, 2006. <https://www.dovertownship.org/wp-content/uploads/2015/02/Document-68851.pdf>

Regnvattenskörd från tak i urbana områden: kvantitet, kvalitet och miljöfördelar

Rainwater harvesting from roof tops in urban areas: Quantity, Quality and environmental benefits



Sonny Colin, Michael Erneland, Mälardalens universitet, Universitetsplan 1, 722 20 Västerås, scn21004@student.mdu.se, med20002@student.mdu.se

Abstract

The hydrological cycle is impacted by ongoing climate changes, which in turn affect the local water supply infrastructure due to increasing demands. With the consequences of globalization, it's crucial to ensure access to water of sufficient quality. Utilizing rainwater can ease the pressure on local water supply infrastructure, contributing to adaptation to these changes. Flooding due to extensive downpour can be mitigated by collecting parts of the rainwater. Moreover, when water access is limited to a few locations, it becomes vulnerable to problems such as leaks, contamination, and disasters that can disrupt the supply. This study, based in Malmö, Sweden, investigates the possibilities of rainwater harvesting. The research utilized data gathered by low-cost sensors in the Malmö region, alongside sampling and measurements of rainwater collected from a rooftop. Water samples were subsequently sent to a laboratory for a comparison with the low-cost sensor data. The primary data considerations for this paper included the quantity, quality, environmental benefits, and the economic perspective of rainwater harvesting. The Monte Carlo method was employed to analyse the sensor data. The study revealed that using rainwater in place of serviceable water offers significant environmental advantages, particularly when the demand for high-quality potable water isn't important. Even with low-cost sensors, this research has demonstrated the ability to gather essential data for further evaluation of rainwater usability. There's a need for the continued development of monitoring techniques and methods to qualify water for varied uses. This study has highlighted key components of that process. Additionally, the research resulted in the creation of a water quality index, instrumental in determining the quality of water.

Keywords: 3D-printing; Low-cost sensors; Water shortage; Water quality Index; Water quantity

Sammanfattning

Den hydrologiska cykeln påverkas av pågående klimatförändringar, vilket i sin tur påverkar den lokala infrastrukturen för vattenförsörjning på grund av ökad efterfrågan. På grund av den pågående globaliseringen och urbanisering är det avgörande att säkerställa tillgång till vatten av tillräckligt hög kvalitet. Genom att använda regnvatten kan trycket minska på den lokala vattenförsörjningsinfrastrukturen och bidra till en bättre anpassning till pågående och kommande klimatförändringar. Översvämningar på grund av omfattande skyfall kan mildras genom att en viss mängd av regnvatten samlas in. Dessutom blir tillgången till vatten sårbar för problem som läckor, föroreningar och katastrofer när den är begränsad till några få platser, vilket kan störa försörjningen.

Denna studie, som är baserad i Malmö, undersöker möjligheterna att samla upp regnvatten. Studien utnyttjade data som samlats in av lågkostnadssensorer i Malmöregionen, tillsammans med provtagningar och mätningar av regnvatten som samlats in från ett hustak. Vattenprover skickades sedan till ett laboratorium för en jämförelse med dessa sensorers mätdata. Viktiga data för denna studie inkluderade kvantitet, kvalitet, miljöfördelar och det ekonomiska perspektivet för uppsamling av regnvatten. Monte Carlo-metoden användes för att analysera sensordata. Studien visade att användning av regnvatten i stället för kommunalt vatten ger betydande miljöfördelar, särskilt när efterfrågan på vatten av hög kvalitet inte är lika viktig. Även med billiga sensorer har denna studie visat att möjligheten att samla in viktiga data för ytterligare utvärdering av regnvattens användbarhet är genomförbart. Det finns behov för fortsatt utveckling av denna metod för att kvalificera vatten för olika användningsområden. Studien har belyst viktiga komponenter för att konkludera vattnets kvalitet. Dessutom resulterade forskningen i skapandet av ett vattenkvalitetsindex, som är användbart för att bestämma

Introduction

The rapid globalization together with the climate changes, both historical and current, are becoming a serious threat to the hydrological cycle. In 1950, about 30% of the earth's inhabitants lived in cities or adjacent to these, which can be compared to 55% in 2018 (UN, 2019). This figure is expected to increase to 68% by 2050 (UN, 2019). According to Akter (2022), there are three major challenges related to water, e.g., floods, over-abstraction of groundwater and a deficit of clean fresh water.

Today, a third of the global population faces water shortage. This is due to enlargement of the urban environment; optimization of the agriculture increases in the industry but also a refined lifestyle. Based on these findings, changes in the hydrological cycle's water flow have emerged as a primary factor contributing to both current and expected water scarcity challenges (Xu & Li, 2020).

In cities, the water stress is increasing today which makes water management problematic (Kuzma, Sacoccia & Chertock, 2023; Lai, 2022). There are several socio-environmental trials underway, including impacts of climate changes on the urban water system,

ranging from water supply to wastewater and stormwater management (Brown & Farrelly, 2009; Kourtis & Tsihrintzis, 2021). These challenges include managing the precipitation in a sustainable way as well as adapting the cities to climate change ahead and taking advantage of this water (Suleiman et al., 2020).

The hydrological cycle contains approximately 1.36 billion km³ of water on Earth (Water Encyclopaedia, 2023) and of that volume, only 0.76% is available as fresh water (USGS, 2019). Precipitation falling on the land surface, is estimated to be 111 thousand km³ annually and the water cycle flow rate via the groundwater reservoirs is approximate 12 thousand km³ per year of non-saline fresh water (Slutsky & Yen, 1997). The globally terrestrial evapotranspiration is approximately 65.5 thousand km³ (Oki & Kanae, 2006). Over the past three decades, the average annual precipitation rate has been 604 mm (Zeng et al., 2012). Over the last thirty years, Zeng et al. (2012) noted that the average annual precipitation rate has been 604 millimetres. The volume of fresh water is approximately 10.5 million km³, with a turnover time ranging from 1 to 10,000 years, leading to an average turnover time of 5,000 years, as per

Sparrenbom & Jeppsson (2022). The consumption of freshwater for various uses was recorded at 3.99 km³ in 2014 by Our World in Data (OWID, 2018), and increased to 4.6 km³ in 2019, as reported by Boretti & Rosa. Furthermore, the withdrawals in 2017 from the groundwater reservoirs were 959 km³ and these groundwater abstractions accounted for about 25% of the total groundwater outtake (UNESCO, 2022). The changes in the hydrological processes are accelerated by climate change and this can be observed on a global level (Caretta et al., 2022). As a result of this, extreme weather and its consequences will become more frequent and intense in the future (Shadmehri Toosi et al., 2020).

In 2017, approximately one-third of the global population was affected by lack of potable water and about half of the global population was without safe sanitation (McCarton et al., 2021). The different sustainable development goals show how water security, economic growth, climate action, and urban planning are deeply interconnected.

Agriculture's strong reliance on water is indicated by the symbiotic relationship between economic progression and water security. Climate-induced disruptions, such as floods and droughts, can negatively impact agricultural yield. Notably, urban flooding due to climate anomalies costs about US\$120 billion globally (McCarton et al., 2021). As the hydrological cycle undergoes changes with rising temperatures and shifting land use, the consequences are seen in water quality, ecosystem health, and overall human well-being.

In this, urban areas face their own challenges. It is estimated that 50% of the world's inhabitants live in cities, many with under-dimensioned water infrastructure, resulting in significant waste of water. One-third of these inhabitants live in unplanned regions, without proper sanitation and clean water facilities (McCarton et al., 2021). The situation emphasises the potential of rainwater harvesting (RWH) to mitigate water stress, offer cleaner water alternatives, and support sanitation.

Financing the transition towards sustainable water management practices and improved infrastructure presents another challenge. According to the World Bank's data from 2016, achieving Sustainable Development Goal 6 (SDG6) by 2030, which in-

cludes targets for clean water access, sanitation, and sustainable water use, would require an investment of US\$1.7 trillion, amounting to three times the current investment rates.

To meet these challenges, RWH could turn into an important source of fresh water. The rainwater harvesting potential (RWHP) is the rainwater that is maximally available for the human society. RWHP has received great interest from both researchers and politicians lately (Yao et al., 2023).

Firstly, the purpose of this study is to investigate RWH as a complement to existing water supply by investigating the Malmö region where groundwater shortage is a problem. According to the Geological Survey of Sweden (2023), it has been observed that the groundwater levels have been below normal between 2014 and 2023. Secondly, to gain more knowledge about how water from rainwater harvesting can reduce the pressure on freshwater supply and provide rainwater for irrigation of cultivated areas, RWH is of interest. Thirdly, the study investigates if low-cost sensors can contribute to lower cost of water quality measurements and what quantities of conventional water supplies can be replaced by rainwater harvesting. Finally, the study also includes a development of a comprehensive water quality index (WQI). Our article is based on a Master of Science degree report from Mälardalen University, for more details see Colin and Erneland (2023).

METHODS

Water sampling and analysis

The sampling of rainwater was conducted at the property designation Säger 3 in Malmö, Sweden (Figure 1 1a & 1b). Three water samples intended for chemical analysis were sampled from the drainpipe (Figure 1c) in a 250 ml plastic container (Figure 1d). The samples were collected on February 24, March 13, and April 24, 2023. On February 24, a water sample was also sampled for a biological analysis of the rainwater using a plastic container of 500 ml. Water samples were sent to the laboratory Debe AB in Hägersten for analysis of physical-, chemical and microbiological parameters (Table 1). The laboratory methods that were used for comparing the same parameters as the sensors that was used in the study are seen in Table 2.



Figure 1. Figure 1a shows the property designation, Säger 3 in Malmö, Sweden. Figure 1b shows the building at Säger 3. Figure 1c shows a detailed photo of the gutter where sampling took place. Figure 1d displays the sampling container and, consignment box. Photo by Sonny Colin.

The setup for the sensor measurements included two sensor clusters, e.g., the inlet for rainwater, and the filter setup consisting of a bottom layer of sand (200 mm) and a layer of Leca (50 mm) on top. Sensor data were measured by a ESP32 Dev Module from Expressif Systems (2016) and then transferred via Wi-Fi to an Influx database.

Low-Cost Sensors

In this study, a variety of sensors were integrated with the ESP32 device, a microcontroller developed by Expressif Systems. This device has wireless capabilities and analogue input/outputs, with a built-in ADC that handles up to 3.3 V.

All sensors are produced by DF Robot. The pH

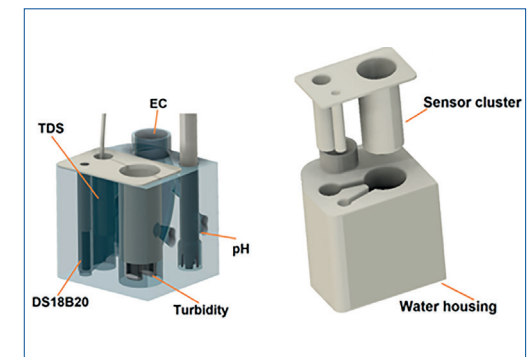


Figure 2. To the left, complete assembly of sensor body and sensor cluster. To the right, sensor cluster and water housing separated (sensor cluster and holder, own illustration, but with DS18B20 sensor by Medina, 2019; TDS sensor by Suresh, 2021; turbidity sensor by Arrieta, 2019 and pH sensor by Happysoft, 2018).

Parameters	Feb	Mar	Apr	Unit
°dH	0.15	0.15	0.45	---
Ca	0.61	0.79	2.6	mg/l
Mg	0.26	0.18	0.40	mg/l
HCO ³	3.17	3.55	6.1	mg/l
Temp	4	4	4	°C
pH	6.6	6.6	6.7	---
Turbidity	0.52	0.63	2.6	FNU
Conductivity	2	2.5	5.3	mS/m
Colour number	8.2	21	47	mg Pt/l
Fe	0.018	0.028	0.045	mg/l
Mn	0.0017	0.002	0.0086	mg/l
COD _{Mn}	0.8	1.9	16	mg O ₂ /l
Faecal Coliforms	2420	---	---	MPN/100 ml

Table 1. Temp is an approximation for the time of sampling for Malmö. The other parameters are analysed in a laboratory.

Parameters	Method	Uncertainty %	95 _{tiles}	WQI
°dH	Ca + Mg	N/A	3.07	1
Ca	SS-EN ISO 17294-2: 2016	20	22.30	1
Mg	SS-EN ISO 17294-2: 2016	20	13.49	1
Turb	SS-EN ISO 7027-1: 2016	40	105.52	3
pH	SS-EN ISO 10523: 2012	0.2	7.84	1
EC	SS-EN ISO 27888: 1994	10	79.71	1

Table 2. The methods used by the laboratory for the parameters, compared with the Malmö data.

sensor has a measurement accuracy of ±0.1 at 25°C while the EC sensor has a corresponding measurement accuracy of ±5% (full scale).

The TDS sensor measures the quantity of soluble solids present in water, indicating the purity of the water. It utilizes a 3.3 V or 5.0 V reference input voltage. The output voltage is converted to a digital reading via the ESP32 Dev Module's 12-bit ADC. The measurement accuracy for the sensor is ±10% of full scale at 25°C.

The turbidity sensor is specialized in measuring turbidity in NTU. The sensor can gauge turbidity levels between 0-3000 NTU. Due to its 5 V input demand, the Arduino MEGA2560 microcontroller was added to the setup.

To measure the temperature, a DS18B20 digital temperature sensor was used. It was connected to the

ESP32 Dev Module, recognized for its precision and ease of use. This waterproof sensor has a measurement accuracy of ±0.5°C. All sensors are compatible with either 3.3 V or 5 V. The sensor cluster housing was 3D-modelled and 3D-printed.

Calculation of rainwater properties

To determine the sustainable (RWHP) without negatively impacting the hydrological cycle, the water balance equation was employed.

Precipitation values are taken from Table 3. Evapotranspiration (ET) is estimated from potential evapotranspiration (PE) using Thornthwaite's method, which Sparrenbom & Jeppsson (2022) describe. This method calculates PE based on average temperature and daylight hours, per month and per year, focusing on the energy available for evaporation and transpiration. However, it simplifies by not accounting for water availability or plant characteristics. Actual ET may be lower than PE due to water constraints, and adjustments for these, is not considered by Thornthwaite's direct methodology. Another method, the Penman method, requires more meteorological input than Thornthwaite's method as it also considers parameters such as wind speed, albedo, humidity, and solar radiation (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). In this study it was only Thornthwaite's method that was used.

Groundwater recharge in the calculations, only considers surface water (R), while groundwater runoff is excluded (Colin & Erneland, 2023). The runoff for Malmö was estimated from two areas e.g., areas 90 and 99 according to SMHI (2022). The land area for Malmö is 156.95 km² (SCB, 2022). According to Statistics of Sweden (2021), 45.4% of this area (A) is either built up or is landscaped.

From the TDS sensor the hardness of ppm is obtained and can be equal to mg/L which is then recalculated to mmol/L to be converted to German degrees of hardness °dH, this is accomplished through the application of equations (1) and (2) as detailed by Mah (2023), along with equation (3) outlined by Bydén et al. (2003).

$$\frac{\text{mol of } X}{L} = \frac{\left(\text{ppm or } \left(\frac{\text{mg}}{l} \right) \text{ of } X \right)}{1000} \quad (1)$$

$$\frac{\text{mmol}}{L} = \text{mol of } X/L \times 1000 \quad (2)$$

1°dH ≈ 7.1 mg/L Ca and 1°dH ≈ 4.3 mg/L Mg (Svenskt Vatten, 2017), 1 °dH = 0.179 mmol/L (Bydén et al., 2003). To obtain the German degrees of hardness, equation (3) was used.

$$^{\circ}dH = \frac{\text{mmol/L}}{0.179} \quad (3)$$

To calculate the water saving (WS) of RWH, equation (4) uses the volume of RWH expressed as m³ (VHR) x% which is then multiplied by the water price (WP) in US\$/m³.

$$WS = (VHR \times X\%) \times WP \quad (4)$$

To calculate the environmental benefit (EB), equation (5) VHR x% multiplied by the environmental value of the water supply (VEB) in US\$/m³ is approximately 2.72 US\$/m³ with the 1994 monetary value (Costanza et al., 1998) and with the 2019 water supply.

$$EB = (VHR \times X\%) \times VEB \quad (5)$$

To obtain the Environment Benefit Cost-saving Potential (EBCP) for water in US\$ with the value of today 2023, equation (6) is used and det total economic value (TEV), Table (4).

$$EBCP = \frac{(WS + EB)}{TEV} \times 2.02 \quad (6)$$

TEV for water supply in US\$ 2019 the number was 1.70 US\$/m³ and fresh water 2.17 US\$/m³ (Cooley et al., 2019) while RWH was US\$1 as calculated by Lancaster (2005).

A logarithmic mean and logarithmic standard deviation must be calculated, to perform a Monte-Carlo analysis (Colin & Erneland, 2023).

Statistics

To be able to describe the data obtained from the analysis of the rainwater samples and the sensor measurements, Excel was used. A more detailed description of the methods is found in Colin & Erneland (2023).

In the case of a diffusion of uncertainties for scant knowledge, Monte Carlo analysis was used. This method simulates the uncertainty numerically based on the n data entered in the simulation itself, which is then used randomly in the calculation.

Water Quality Index

By collecting limit values and guide values from several different references (Table 5) regarding the quality of drinking water, a Water Quality Index (WQI) was created, based on the parameters measured with the sensors. The scale on which WQI is based is described by three categories, e.g., whether the water is Serviceable (1), Serviceable with remarks (2) or Unserviceable (3).

Month	Temp (C°)	Precipitation (mm)	Sunshine hours (h)	i	PE	(P - PE)	R	ΔS / m ²	ΔS*A (m ³)
Jan	1.2	55.6	7.6	0.12	3.54	52.06	35.3	17	1195046
Feb	1.2	42.4	9.5	0.12	4.42	37.98	35.3	3	190800
Mar	3.3	40.9	11.75	0.54	15.84	25.06	15.7	9	667381
Apr	7.7	33.6	14.1	1.91	46.30	-12.70	15.7	-28	-2024900
May	12.3	41.1	16.2	3.86	87.02	-45.92	15.7	-62	-4393367
Jun	15.7	64	17.4	5.56	120.79	-56.79	18.7	-75	-5382140
Jul	18.2	62	16.85	6.94	136.61	-74.61	18.7	-93	-6653268
Aug	17.9	72.8	15	6.77	119.51	-46.71	18.7	-65	-4663671
Sep	14.2	55.9	12.75	4.79	79.64	-23.74	21.5	-45	-3225896
Oct	9.5	64.5	10.4	2.62	42.58	21.92	21.5	0	29605
Nov	5.5	59.5	8.25	1.15	19.02	40.48	21.5	19	1353085
Dec	2.6	65.8	7	0.37	7.35	58.45	35.3	23	1650922

Table 3. Data for Malmö, as well as calculations per month of the theoretical difference that occurs in the water reservoirs. P, PE, R, and ΔS are all in millimetres (mm). The grey column shows the total amount of storage by which the water reservoir, ΔS, has been multiplied by area A. The result is given in m³.

RESULTS

Below are the calculations made regarding quantity, quality, Environmental Benefit Cost-saving Potential, Statistical calculation, and simulation of the data with Monte Carlo analysis. Under the sub-heading Sensors, the calculated data is compared to the measured data from the sensors and the results obtained by these. The annual average global rainfall is 604 mm, and this value is the mean over three decades (Zeng et al., 2012). This means that the results in Malmö are above average precipitation globally (SMHI, 2023; OWID, 2023). By utilizing RHW, about 30-50% of the precipitation that falls can be taken out (Lancaster, 2005).

Sensors

The sensor value of measurement that was processed in the Monte Carlo analysis shows the RMV as within the 95th %ile. The result was compared with the WQI. All sensor values were within the WQI except for turbidity.

$$WS = (VHR \times X\%) \times WP$$

$$4\ 425\ 550.8 = (5\ 086\ 840 \times 30\%) \times 2.90$$

$$EB = (VHR \times X\%) \times VEB$$

$$4\ 150\ 861.44 = (5\ 086\ 840 \times 30\%) \times 2.72$$

$$EBCP = ((WS + EB)) / TEV \times 2.02$$

$$324\ 353 = (8\ 576\ 412.2 / 1) \times 2.02$$

Table 4. The results in US\$ from 2023, Malmö.

Very soft			Serviceable with remark		Unserviceable		
0 - 2	°dH	2	0 - 2 mS/m	Conductivity	2	0 - <4.5	pH
Soft			Serviceable		Serviceable with remark		
2 - 5	°dH	1	2 - 40 mS/m	Conductivity	1	4.5 - <6.5	pH
Medium hard			Serviceable with remark		Serviceable		
5 - 10	°dH	1	>40 - 250 mS/m	Conductivity	2	6.5 - 8.5	pH
Hard			Unserviceable		Serviceable with remark		
10 - 20	°dH	2	>250 mS/m	Conductivity	3	>8.5 - 10.5	pH
Very hard			WQI				
>20	°dH	3				>10.5 - 14	pH
Serviceable			Serviceable		Serviceable		
0 - <30 mg/l	Mg	1	20 - 60 mg/l	Ca	1	0 - 1.5 FNU	Turbidity
Serviceable with remark			Serviceable with remark		Serviceable with remark		
≥30 - 500 mg/l	Mg	2	≥60 - 150 mg/l	Ca	2	>1.5 - 3 FNU	Turbidity
Unserviceable			Unserviceable		Unserviceable		
>500 mg/l	Mg	3	>150 mg/l	Ca	3	>3 FNU	Turbidity

Table 5. Water Quality Index (WQI) for six different parameters that are used to determine water quality (LIVSFS 2022:12; Bydén et al., 2003; Svenskt Vatten 2010ab & 2013; WHO, 2017).

For the Monte Carlo analysis, only five of the six sensors were usable. The sixth sensor is the turbidity sensor, where WQI stands out (Table 2).

Table 6 is a combination of mean values derived from sample series of the low-cost sensors, and mean values from three laboratory measurements of rainwater in Malmö region. It is evident that the low-cost sensors display an overall higher value than found in the laboratory environment except for the pH values, which can be considered as equal.

Volume of rainwater

The quantity of rainwater in Malmö was calculated using Excel, based on data from Table 3. The research assumes that all runoff (R) reaches the reservoir. The result for the theoretical rainwater quantity can be calculated by multiplying water balance equation with the build-up and/or landscaped area for each region, as highlighted in grey in Table 3, equating to an approximate figure of 7.13×10^7 m³ (Colin & Erneland, 2023). Table 3 also describes the parameters based on an average spanning more than three decades for each month in the Malmö region.

Quality of rainwater

Water samples taken in Malmö have been analysed by an authorized laboratory (Debe AB in Hägersten). The parameters in Table 1, are used to monitor the

raw water and gives an indication of the water purity, the same parameters are used for raw water monitoring at waterworks.

Environmental Benefit Cost-saving Potential

The result in Table 4 from the evaluation of Environmental Benefit Cost-saving Potential (EBCP) has been performed by calculating RWH in Malmö and this has been calculated with in Excel. The water saving (WS), and the Environmental Benefit (EB) have been calculated see Table 4. The input for the equations regarding Malmö has been taken from Table 3 for the volume of RWH in m³ volume of rainwater harvesting (VHR). For total economic value (TEV), the value of RWH (1 US\$), the %age is set to 30 % and Environmental value of the water supply (VEB) is set to 2.72. The average price of water in Sweden, denoted as WP, is US\$ 2.90 per cubic meter (m³). WS is calculated by taking the volume of RWH (m³) from Malmö included as VHR in this calculation, multiplied by 30% which refer to lower outtake limit (Lancaster, 2005), which is then multiplied by WP per m³ for Sweden in US\$. EB is obtained by VHR multiplied by 30% and then multiplied by VEB. To get the result for EBCP, WS and EB are added and then divided by TEV. The sum is then multiplied by 2.02 to get the current value in US\$. All results are presented in US\$.

Monte Carlo analysis

The measurement series from the TDS sensor was calculated and presented according to the method Monte Carlo analysis. The dashed line shows RMV 35.75 ppm, where the value is found with a 95% probability. The Mean 14.88 ppm is found within the dashed box with a probability of 63.2% (Figure 3).

The measurement series from the TDS sensor was calculated with Excel, then the measurement series was converted to logarithmic values. Using these calculated values, a Monte Carlo analysis could be performed, and the values simulated 10,000 times. Then did the hardness °dH after that a Monte Carlo analysis has been run shows RMV (3.07), there is a 95% probability that the value will exist. The probable mean (1.28) with only a probability of 62.6%. The value of °dH was multiplied with 7.1 to get the value of Ca. A Monte Carlo analysis was performed,

and the values were simulated 10,000 times. There is a 95% probability that the RMV is found 22.30 mg/l and Mean 9.12 mg/l and there is a 63.5% probability of finding the Mean. The value of °dH was multiplied with 4.3 to get the value of Mg. A Monte Carlo analysis was performed. RMV resulted in 13.49 mg/l, with a 95% probability. For the Mean, the value is 5.54 mg/l, with a 63.1% probability.

The measurement series from the Turbidity sensor was converted to logarithmic values. Using these calculated values, a Monte Carlo analysis was conducted. The dashed line shows RMV (.52), within that box there is a 95% probability that the value will exist. The probable mean (49.41) is found within the dashed box (Figure 4) with a probability of 61.2%.

The measurement series from the pH sensor was

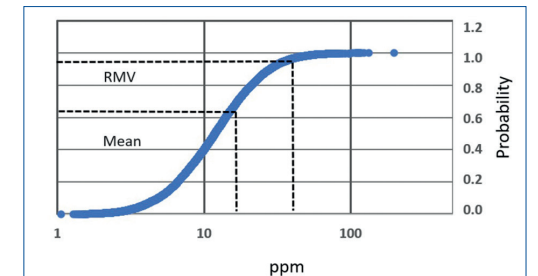


Figure 3. Shows the values for TDS in unit ppm that has been run by a Monte Carlo analysis (10,000).

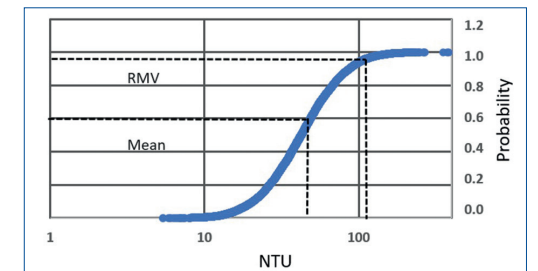


Figure 4. Turbidity run by a Monte Carlo analysis (10,000 simulations) and shown in the unit NTU.

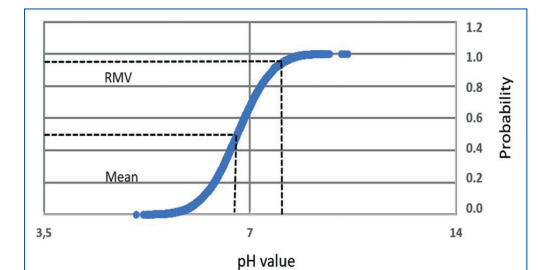


Figure 5. pH after a simulation of Monte Carlo analysis (10,000 simulations).

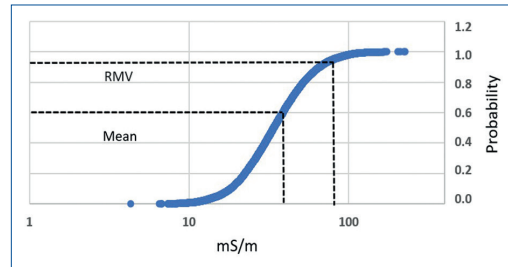


Figure 6. EC is shown in the unit mS/m after a simulation of a Monte Carlo analysis (10,000 simulations).

calculated by using Monte Carlo analysis. There is a 95% probability of finding RMV (7.84) within that box. The Mean (6.74) is found with 52.0% probability, within the box in Figure 5. The measurement series from the EC sensor was calculated and presented with the use of a Monte Carlo analysis method. The dashed line shows RMV 79.71 mS/m, which is located here, with a 95% probability. The Mean 38.86 mS/m is located within the dashed box, with a probability of 60.4% (Figure 6).

DISCUSSION

Water is becoming as valuable as oil and is unevenly distributed across the globe, leading to regional disparities in availability and quality. Climate change exacerbates these extremes, causing floods and droughts (IPCC, 2022). There are many reasons and advantages of RWH when compared with other alternatives such as desalination and wastewater purification. For example, it uses less energy and has less environmental impact when purifying drinking water. Moreover, it reduces flooding unlike the mentioned alternative. RWH has a clear head start as a complement (Yannopoulos et al., 2019).

Previous literature

The first peer-reviewed article on rainwater harvesting appeared in 1962, with a few contributions until 1999. However, since 2000, there’s been an exponential increase in publications, with 2022 seeing a significant surge. The comprehensive review of existing literature on Rainwater Harvesting (RWH) indicates a significant evolution in the field since the turn of the millennium. Over the past two decades, there

has been a notable shift in emphasis from quantifying rainwater to enhancing its quality. This transition points at the increasing reliance on advanced technologies, particularly in sensor technology. Modern sensors, with their increased precision, play a pivotal role in assessing water quality more effectively.

Moreover, the increase in global demand for water, driven by population growth, indicates the urgency of efficient water management practices. Amplifying this challenge is the impact of climate change on the hydrological cycle (Allan et al., 2020; Ahmadi et al., 2020; Straatsma, et al., 2020). Recent observations suggest a trend towards more pronounced climatic extremes. For instance, longer droughts, wildfires (Bergkvist, 2023), followed by intense rainfall, can overwhelm the soil’s absorption capacity (Dahl, 2023). Such events exacerbate the adverse effects on urban infrastructure and ecosystems.

The Geographical area and the hydrological cycle

Geographically, Malmö experiences seasonal fluctuations in precipitation. In recent years, Sweden have had several flooding events, and Malmö is no exception, having flooded cellars to combat as well as land flooding and large amounts of supplemental water in the wastewater systems (Hernebring et al., 2015). During the summers of 2010 and 2011, the Copenhagen area, which is a neighbouring area to Malmö, was hit by three torrential downpours. During these downpours, the damage was so great that climate adaptation for downpour prevention measures was started immediately (Carlander, 2016).

The research looked at rainwater harvesting in Malmö, Sweden, finding that Malmö has considerable amounts of water to harvest (SMHI, 2023). The impact of climate change necessitates global data gathering to monitor changes and effects, such as floods and droughts (IPCC, 2022). In this study, laboratory measurements were conducted, and then compared with using low-cost sensors. This proved to be challenging, as one of the low-cost sensors did show some accuracy problems. The problematic sensor was the turbidity sensor, where the measurements displayed some outliers which were traced to calibration issues. The turbidity sensor calibration

challenges are well documented by Trevathan & Schmidtke (2020). To overcome these problems, AI, machine learning and sensor fusion are seen as potential tools for enhancing sensor performance (Djenouri et al., 2022). Malmö’s rainwater harvesting (RWH) was $1.526 \cdot 10^6$ m³/year, calculated at 30% outtake, with potential savings of 17 million US\$, though some measurement uncertainties were noted, particularly with the turbidity sensor. The quality parameters were found within the limit of serviceable water.

There are many examples of where potable water is used in applications that could utilize water of poorer quality, and that is not in alignment with sustainability principles. Moreover, the study looks at low-cost sensors, not from the perspective to enable complete understanding of the water quality, but to lower the cost of expensive water analysis in laboratory environments (Khamis et al., 2023; Silva et al., 2022).

Low-cost sensors and data analysis

The total cost for the sensors used in Malmö’s local measurements was US\$ 128 per cluster, with laboratory water analysis costing approximately US\$ 90 per sample. The sensors enable frequent testing and the potential to reduce the number of tests required. As sensor technology advances, especially with artificial intelligence (AI), systems can learn to derive more detailed results from simple analysis methods. Zhang et al. (2021) have explored similar applications, such as using AI to remove tracking errors from car GPS systems, a principle that can be applied to other sensors, including those used in this study.

Monte Carlo analysis offers a more nuanced approach than simply relying on a “worst-case” scenario where all parameters are at their maximum. Instead of ending up with the extreme 100th %ile, this study employs the Reasonable Maximum Value (RMV), which corresponds to the 95th %ile. This provides a more conservative estimate, yet it remains practical and realistic. Through Monte Carlo analysis, numerous potential outcomes are simulated, which is unachievable by deterministic models (Öberg, 2009). This method is a powerful way to describe uncertainty and variability. Monte Carlo is well suited when there is empirical data in the form of a series of meas-

urements, thus the method has been used in this investigation to simulate the measured input from the sensors values 10,000 times.

Developing a WQI

Water quality was categorized into three levels using a matrix, with indexes 1-3 representing serviceable, serviceable with remarks, and unserviceable water, respectively. Challenges with low-cost sensors were clear, particularly in turbidity measurements, where calibration issues resulted in inconsistent values. High readings were contradicted by clear water appearance, and further analysis revealed that the sensor was noisy below 100 NTU (Trevathan et al., 2020). More advanced turbidity meters ranging from US\$ 200-800 are recommended as a solution. An instance of cross-contamination from the sensor data was identified and removed from the data, collected on March 22 and 23, 2023.

The sensors used a 5 V reference voltage, but the 12-bit ADC input pins could only handle 0-3.0 V, forcing the study to use a 3.3 V output instead. This discrepancy may partially explain the higher values compared to laboratory results, and further investigation is needed. A notable difference between low-cost sensor data (mean value in Table 6) and single-point laboratory measurements also exists.

MEAN VALUE	°dH	Ca	Mg	Turb	pH	EC
Lab Malmö	0.25	1.30	0.28	1.25	6.63	3.27
Sensors Malmö	1.28	9.11	5.55	49.71	6.75	39.07
Different Sensors and Lab	>5.12	>7.00	>19.82	>39.77	Equal	>11.95

Table 6. Comparison between mean values from laboratory and the low-cost sensor data.

The pH of the water was relatively consistent, though some variations were observed. In areas like West Kalimantan, Indonesia, rainwater acidity is affected by factors like rooftop material (Khayan et al., 2019), where the pH ranged from 4.78 to 5.58, shifted toward a more acidic level compared to this study. Additionally, Khayan et al. (2019) reported that rainwater encountering a tin roof had an average turbidity of 20.0 NTU which is reduced to 5.67 NTU after treatment.

Environmental Cost Data

The biosphere's economic value is estimated to be US\$ 16-54 trillion annually, averaging US\$ 33 trillion — which is almost double the global GDP of US\$18 trillion. The 1994 valuation of the water supply, adjusted for inflation, is approximately US\$ 1,692 * 10⁹ multiplied by 2.02 (Measuring Worth, 2023). By 2050, water demand is projected to reach 5,500 km³ to 6,000 km³, possibly depleting many aquifers and contributing to salt contamination of the coastal aquifers with salt. Our current consumption rate is close to unsustainable (Boretti & Rosa, 2019) with global outlet use rising 1% yearly since the 1980s (UNESCO, 2022). The global daily consumption of virtual water averages five m³/person (Sydvatten, 2020), and this might need to reduce by 20-30% by 2050 (World Economic Forum, 2019). Water in Sweden costs 2.90 US\$/m³ (World Bank, 2022), and up to 50% of RHW's precipitation can be utilized (Lancaster, 2005). In 2016, settlements covered 5.95 * km² of the Earth's 150 * 10⁶ km² land area (World Economic Forum, 2021).

In 2020, U.S. companies reported a US\$ 301 billion economic impact related to water risks, which is five times greater than prevention costs at US\$ 55 billion (CDP, 2023). Globally, water-related economic losses could reach US\$ 500 billion annually (UN Water, 2021).

CONCLUSION

The present paper describes how RWH can ease the pressure on the general water supply in Malmö,

Sweden. The precipitation can be collected on hard surfaces such as roof tops. The potential of RWH in Malmö is 1.526 * 10⁶ m³/year.

The study reached several conclusions:

- Simple sensors might be used to get a reasonable understanding of the rainwater quality, and with that, less laboratory testing is needed, lowering the cost for testing of the rainwater. Results from the pH-, TDS-, and EC sensors showed that the data was regarded as useful.
- A Water Quality Index (WQI) could be established based on six crucial parameters: °dH, Mg, conductivity, Ca, pH, and turbidity.
- With the measurements from the low-cost sensors, some of the laboratory measurements could be reduced, and thereby lowering the cost for the water quality measurements. The low-cost sensors also provide the basis for continuous monitoring of the water quality.
- Laboratory results suggest that harvested rainwater could replace the water in Malmö for flushing toilets and similar applications, thus decreasing the pressure on the conventional water supply infrastructure.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Lena Johansson Westholm, university lecturer and Associate Professor in environmental engineering at Mälardalen University and Hossein Hashemi, Associate Professor in Water Resources Engineering at Lund University in Sweden for the support.

References

- Ahmadi, M. S., Susnik, J., Weerbeek, W., & Zevenbergen, C. (2020). Towards a global day zero? Assessment of current and future water supply and demand in 12 rapidly developing megacities. *Sustainable cities and society*, 61, 102295-. <https://www.sciencedirect.com/epibib.mdh.se/science/article/pii/S221067020305163>
- Akter, A. (2022). *Rainwater Harvesting— Building a Water Smart City*. (1 Edition). Springer Nature Switzerland AG. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-94643-2>
- Allan, R. P. et al. (2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1472 (1), 49–75. <https://nyaspubs-onlinelibrary-wiley-com.epibib.mdh.se/doi/full/10.1111/nyas.14337>
- Arduino (n.d.). *Arduino MEGA 2560: Getting Started Guide*. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>
- Arrieta, C. (2019). *Turbidity Sensor [3D model]*. GrabCAD. <https://grabcad.com/library/turbidity-sensor-1>
- Bergkvist, F. (2023). Skogsbrand i Grekland – största i EU:s historia. *Dagens Nyheter*, 29 Augusti. <https://www.dn.se/varlden/skogsbrand-i-grekland-storsta-i-eus-historia/>
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water* 2, 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Brown, R. R., & Farrelly, M. A. (2009) Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. *Water science and technology*. [Online] 59 (5), 839–846. <https://doi.org.epibib.mdh.se/10.2166/wst.2009.028>
- Bydén, S., Larsson, A.-M., & Olsson, M. (2003). *Mäta vatten – undersökningar av sött och salt vatten*. [Measuring water – surveys of fresh and salt water]. (3 Edition). https://www.matavatten.se/Mata_Vatten_3.pdf
- Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid. 2022: *Water*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi: 10.1017/9781009325844.006.
- Carlander, F. (2016). *Skyfallsförebyggande åtgärder Exempel från arbete i Köpenhamns och Fredriksbergs kommuner*. Publikationsnummer MSB1018 – Augusti 2016. ISBN 978-91-7383-678-4 <https://rib.msb.se/filer/pdf/28191.pdf>
- CDP (2023). *A wave of change: The role of companies in building a water-securing world*. *Global Water Report 2020*. <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2020>
- Colin, S., & Erneland, M. (2023). *Rainwater harvesting from roof tops in urban areas: Quantity, quality and environmental benefit - Case studies in Sweden and Colombia*. Master's degree, School of Business, Society and Engineering. Västerås: Mälardalen University. <https://mdh.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1775249&dsid=-2243>
- Cooley, H., Phurisamban, R., & Gleick, P. (2019). The cost of alternative urban water supply and efficiency options in California. *Environmental Research Communications*. Volume 1, 042001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab22ca>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25(1), 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)
- Dahl, A. (2023). 15 döda i översvämningarna i Grekland. *Dagens Nyheter*, 11 September. <https://www.dn.se/varlden/15-doda-i-oversvamningarna-i-grekland/>
- DFRobot (n.d.). *Turbidity Sensor SKU: SEN0189*. DFRobot Retrieved from https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189
- Djenouri, Y., Belhadi, A., Srivastava, G., Houssein, E. H., & Lin, J. C. (2022). Sensor data fusion for the industrial artificial intelligence of things. *Expert Systems*, 39(5). <https://doi.org/10.1111/exsy.12875>
- Expressif Systems. (2016). *ESP32 Series Datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Geological Survey of Sweden (SGU) (8 March 2023). *Kartvi are och diagram för mätstationer*. [Map viewer and diagram for measuring stations]. <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/matstationer/>
- Happysoft (2018). *pH Probe Monitor Meter [3D model]*. GrabCAD. <https://grabcad.com/library/ph-probe-monitor-meter-1>
- Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T., & Mårtensson, E. (2015). *Skyfallet i sydvästra Skåne 2014-08-31 Fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö*. [The cloudburst in Southwestern Scania 2014-08-31 With focus on consequences and in relation to rainfall statistics in Malmö]. *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, 15 (2), page 85–99. Lund 2015. https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4764.pdf
- Illinois Department of Public Health, (IDPH) (n.d.). (Commonly Found Substances in Drinking Water - And Available Treatment. <http://www.idph.state.il.us/envhealth/pdf/Drinkin-Water.pdf>
- IPCC (2022). *Summary for Policymakers* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001
- Khamis, K., Ouellet, V., Croghan, D., Hernandez Gonzalez, L.M., Packman, A.I., Hannah, D.M., & Krause, S. (2023). The Autobot-WQ: A portable, low-cost autosampler to provide new insight into urban spatio-temporal water quality dynamics. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1072757>

- Khayan, Heru Husodo, A., Astuti, I., Sudarmadji, S., & Sugandawaty Djohan, T. (2019). Rainwater as a Source of Drinking Water: Health Impacts and Rainwater Treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2019, 1760950–10. <https://doi.org/10.1155/2019/1760950>
- Kourtis, I. M., & Tsihrintzis, V. A. (2021). Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. *The Science of the Total Environment*, 771, 145431–. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145431>
- Kuzma, S., Saccoccia, L., & Chertock M. (2023). 25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High-Water Stress. *World Resources Institute (WRI)*. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>
- Lai, O. (2022). Climate Change, Pollution, Water Shortage: Causes and Effects. *Earth.org*. <https://earth.org/causes-and-effects-of-water-shortage/#>
- Lancaster, B. (2005). *Rainwater harvesting for drylands and beyond, Volume 1: Guiding principles to welcome rain into your life and landscape*. Tucson, AZ: Rainsource Press.
- Liu, F., Jiang, G., Wang, G., Guo, F., Wang, J., Wang, Q., Shi, J., Cai, J., & Wang, M. (2022). Surface-subsurface hydrological processes of rainwater harvesting project in karst mountainous areas indicated by stable hydrogen and oxygen isotopes. *The Science of the Total Environment*, 831, 154924–154924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154924>
- LIVSFS (2022:12). *Livsmedelverket föreskrifter om dricksvatten*. Livsmedelverket. [The Swedish Food Agency's regulations on drinking water]. https://www.livsmedelverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricksvatten---naturl-mineralv---kallv/livsfs-2022-12_web_t.pdf
- Mah, J.J. (24 February 2023). *Omnicalculator. PPM to Molarity Calculator*. <https://www.omnicalculator.com/chemistry/ppm-to-molarity>
- Measuring Worth. (2023). *The relative worth of 1-dollar 1994* <https://www.measuringworth.com/dollarvaluetoday/?amount=1&from=1994>
- Medina, J.A.V. (2019). *Adafruit DS18B20 Temperature Sensor [3D model]*. GrabCAD. <https://grabcad.com/library/adafruit-ds18b20-temperature-sensor-1>
- Nurjaya, Surbakati, H., & Natih, N.M.N. (2019). Model of Total Suspended Solid (TSS) distribution due to coastal mining in Western Coast of Kundur Island part of Berhala Strait. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 278(1), 12056–. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012056>
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). *Global Hydrological Cycles and World Water Resources*. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 313(5790), 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- Our World in Data (OWID). (2019). *Land use 2016. How has global land use changed over the long-term?* <https://ourworldindata.org/land-use>
- Our World in Data (OWID). (2023). *Average annual precipitation*. <https://ourworldindata.org/grapher/average-precipitation-per-year?tab=chart&country=-SWE>
- Shadmehri Toosi, A.S, Danesh, S., Ghasemi Tousi, E., & Doulabian, S. (2020). Annual and seasonal reliability of urban rainwater harvesting system under climate change. *Sustainable Cities and Society*, Volume 63, 102427. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102427>
- Silva, G.M.E., Campos, D.F., Brasil, J.A.T., Tremblay, M., Mendiondo, E.M., & Ghiglieno, F. (2022). *Advances in Technological Research for Online and In Situ Water Quality Monitoring—A Review*. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 14(9), 5059–. <https://doi.org/10.3390/su14095059>
- Slutsky, A.H. & Yen, B. C. (1997). A macro-scale natural hydrologic cycle water availability model. *Journal of hydrology (Amsterdam)*. [Online] 201 (1), 329–347.
- Sparrenbom, C., & Jeppsson, H. (Red). (2022). *Grundvattenboken [The ground water book] (Edition 1)*. Studentlitteratur AB. Lund.
- Statistics Sweden (SCB). (2021). *Kommuner i siffror. Så används marken. Malmö*. [Municipalities in numbers. This is how the land is used. Malmö]. <https://kommunsiffror.scb.se/?id1=1280&id2=null>
- Statistics Sweden (SCB). (2022). *Statistikdatabasen Kvadratkilometer efter region, arealtyp och år. Malmö*. [The statistical database square kilometers by region, area type and year. Malmö]. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0802/Areal2012N/table/TableViewLayout1/
- Straatsma, M. et al. (2020). *Global to regional scale evaluation of adaptation measures to reduce the future water gap*. *Environmental modelling & software: with environment data news*. 124104578–. <https://www.sciencedirect.com.ep.bib.mdh.se/science/article/pii/S1364815218311447>
- Suleiman, L., Olofsson, B., Sauri, D., Palau-Rof, L., García Soler, N., Pappasozomenou, O., & Moss, T. (2020). *Diverse pathways—common phenomena: comparing transitions of urban rainwater harvesting systems in Stockholm, Berlin, and Barcelona*. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63:2, 369–388. DOI: 10.1080/09640568.2019.1589432
- Suresh, S. (2021). *TDS sensor [3D model]*. GrabCAD. <https://grabcad.com/library/tds-sensor-2>
- Svenskt Vatten (2010a). *Publikation U7. Dricksvattenteknik 2. Grundvatten [Drinking water technology 2. Groundwater] (Edition 1)*. Svenskt Vatten AB. Stockholm
- Svenskt Vatten (2010b). *Publikation U8. Dricksvattenteknik 3. Ytvatten [Drinking water technology 3. Surface water] (Edition 1)*. Svenskt Vatten AB. Stockholm
- Svenskt Vatten (2013). *Publikation U13. Dricksvattenteknik. Introduktionskurs [Drinking water technology. Introductory course] (Edition 1)*. Svenskt Vatten AB. Stockholm
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) (2022). *Avrinningskartor. Område 99 & Område 90. [Catchment maps. Area 99 & Area 90]*. <https://vattenwebb.smhi.se/avrinningskartor/>
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) (2023). *Dataserier med normalvärden för perioden 1991–2020*. [Data series with normal values for the period 1991–2020]. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/dataserier-med-normalvarden-for-perioden-1991-2020-1.167775?l=null>
- Sydvatten (2020). *Vattenfakta. Virtuellt vatten*. [Water facts. Virtual water]. <https://sydvatten.se/vattenfakta/virtuellt-vatten/>
- Turbidity Sensor for Remote Near Real-Time Aquatic Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(7), 1993–. <https://doi.org/10.3390/s20071993>
- UN Water (2021). *The United Nations World Water Development Report 2021- VALUING WATER*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/07/375751eng.pdf>
- UNESCO (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022. GROUNDWATER - Making the invisible visible*. 380721eng.pdf (unesco.org)
- United Nations (UN) (2019). *Department of Economic and Social Affairs. 2018 Revision of World Urbanization Prospects*. <https://www.un.org/en/desa/2018-revision-world-urbanization-prospects>
- United States Government Site (USGS) (November 13, 2019). *Water science school. How Much Water is There on Earth?* <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>
- Water Encyclopaedia (2023). *Hydrologic Cycle*. <http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Hydrologic-Cycle.html>
- World Bank (2022). *Global Water Security and Sanitation Partnership (GWSP) Annual Report 2022 (English)*. Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099102211102224772/IDU0a8831b08028b604d070aa0104893aa4ceda2>
- World Economic Forum (2019). *The global risks report 2019*. <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019>
- World Economic Forum (28 January 2021). *How much of Earth's surface is covered by each country – in one graphic*. <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/earth-surface-ocean-visualization-science-countries-russia-canada-china/>
- World Health Organization (2017). *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Xu, M., & Li, C. (2020). *Application of the Water Footprint: Water Stress Analysis and Allocation*. (1 Edition). Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi-org.ep.bib.mdh.se/10.1007/978-981-15-0234-7>
- Yannopoulos, S., Giannopoulou, I., & Kaiafa-Saropoulou, M. (2019). *Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide*. *Water*, 11(10), 2168. <https://doi.org/10.3390/w11102168>
- Yao, J., Wang, G., Jiang, X., Xue, B., Wang, Y., & Duan, L. (2023). *Exploring the spatiotemporal variations in regional rainwater harvesting potential resilience and actual available rainwater using a proposed method framework*. *Science of The Total Environment*, Volume 858, Part 3, 160005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160005>
- Zeng, Z., Piao, S., Lin, X., Yin, G., Peng, S., Ciais, P., & Myneni, R.B. (2012). *Environmental Research Letters*, volume 7. no1. 014026. <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/1/014026#references>
- Zhang, X., Liu, C., Liu, J., Zhang, Z., Gong, Y., & Li, H. (2022). *Release of microplastics from typical rainwater facilities during aging process*. *Science of The Total Environment*, 813, 152674–152674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152674>
- Öberg, T. (2009). *Miljörisikanalys*. Studentlitteratur AB, Lund.

RadClim BSR – En högupplöst nederbörds klimatologi baserad på Radarmätningar för Östersjöregionen

RadClim BSR – Towards a High-resolution Radar-based Precipitation Climatology for the Baltic Sea Region



Blaine Lowry¹, Hossein Hashemi², Andreas Hoy¹, Piia Post³, Jan Szturc⁴, Tanel Voormansk⁵, Sylwia Gzik⁴

¹ Stockholm Environment Institute – Tallinn Centre, Estonia

² Division of Water Resources Engineering, Lund University, Sweden

³ Institute of Physics, University of Tartu, Estonia

⁴ Institute of Meteorology and Water Management - National Research Institute, Warszawa, Poland

⁵ Estonian Environment Agency, Tallinn, Estonia

Abstract

Archived radar data has various applications, though it is often underutilised. Nevertheless, this information has the possibility to aid in the development of accurate and relevant climate adaptation tools, inform climate-resilient urban development strategies, and numerous other personal and societal applications. Our work in the RadClim Baltic Sea Region (BSR) project established the potential features, user demand, and feasibility of developing a high-resolution radar-based precipitation climatology (RPC) in the BSR through a user needs survey. This survey was distributed to various user groups in Sweden, Estonia, and Poland in native languages to maximise participation, and revealed that a strong majority of respondents felt their work would benefit from using data provided by an RPC. Consultations with the national weather services in these countries, as well as those in Germany and Finland, the latter two countries representing the current state of the art in this field in Europe, aided in ensuring best practices were adhered to. Ongoing national work related to high-resolution radar-based datasets and tools, and the utility of the existing data across the partner countries and the BSR, in general, were also investigated.

Sammanfattning

Arkiverade databaser med radardata har flera användningsområden, men ännu är dessa underutnyttjade. Dessa databaser har möjlighet att bidra till utvecklingen av korrekta och relevanta verktyg för klimatanpassning, informera om klimattåliga stadsutvecklingsstrategier och många andra tillämpningar för samhället. I vårt projekt RadClim Baltic Sea Region (BSR) undersökte vi användarnas efterfråga och behov av att utveckla en högupplöst radarbaserad nederbörds klimatologi (RPC) i BSR. Undersökningen distribuerades till olika användargrupper i Sverige, Estland och Polen på deras modersmål för att maximera deltagandet, och visade att en stor majoritet av de svarande ansåg att deras arbete skulle gynnas av att använda data som tillhandahålls av en RPC. I samråd med de nationella vädertjänsterna i dessa länder, liksom de i Tyskland och Finland, de två sistnämnda länderna representerar den nuvarande state of the art på detta område i Europa, bidrog till att säkerställa att bästa praxis följdes. Pågående nationellt arbete relaterat till högupplösta radarbaserade dataset och verktyg, och nyttan av befintliga data i partnerländerna och BSR i allmänhet, undersöktes också.

Keywords: Radar-based Precipitation, Climatology, Baltic Sea Region

INTRODUCTION

Baltic Sea Region Information Gap

Spatiotemporally high-resolution radar data capture precipitation information in real-time, being more comprehensive than common datasets using station observations only. Radar data are available in most of Europe, yet the potential for radar-based precipitation climatology (RPC) is hardly exploited in most countries. This especially relates to localised, short-term intense precipitation events typical of the summer season. These events cause a majority of precipitation-related damages and are projected to increase in frequency and intensity with advancing climate change in the Baltic Sea Region (BSR) (Madsen et al., 2014; Olsson et al., 2019; Olsson et al., 2022; Hosseini et al., 2023). Cities are specifically susceptible to flash floods occurring with little warning due to outdated drainage systems and increases in impermeable surfaces.

Recently, archived datasets were processed in some European countries to form radar climatologies. For example, there is now an established operational, partially bias-corrected radar climatology in Germany, updated in real-time, covering more than 20 years of data (Winterrath et al., 2017; 2019; Kreklow et al., 2020). Despite the benefits of such datasets, most countries in the BSR have yet to utilise their existing radar data to produce national or transnational RPCs. When developed, these datasets would have broad

utility. They could be applied to disaster management and planning strategies in municipalities to reduce climate risks and be applied in real-time for disaster management purposes - saving lives and properties. The data would also allow for the development of intensity-duration-frequency (IDF) curves even in areas that don't have rain gauge data, which is used extensively in the insurance industry.

Importance of Trans-national Cooperation

A trans-national (and trans-sectoral) approach to developing RPCs will create synergies between the different countries (and actors) and will enable them to learn from each other, foster new collaborations and give the varied perspectives that will be necessary to establish a baseline for stakeholder need, and ultimately improve the final product. Additionally, a transnational approach will allow for building on the knowledge and successes of expert institutions like Deutscher Wetterdienst (DWD), which as noted previously has already developed its own RPC, as well as the Finnish Meteorological Institute (FMI), with its advanced research into constructing realistic IDF curves by utilising radar data.

In the project, institutions from Estonia, Poland and Sweden acted as country coordinators, reaching out to various actors within their respective countries (policy representatives, engineers, and especially key

stakeholders in municipalities) to explore what radar climatology data they need, in which complexity and format, and how they would be able to utilise these data. This trans-national cooperation allowed for the exploration of whether similar actors from different countries had comparable or different needs, and how an optimal product useful for a large range of users located in different countries could be developed. Consulting stakeholders in the BSR countries raised awareness and created interest in radar data use and should allow for the co-development of use strategies, allowing for a wide-spread application of the RPC once developed. This also lays the foundation for later integration of such data into national, regional, and local policy, where it can have a positive societal impact.

Key Players in the Radar Climatology Field in the BSR

The project idea originated from feedback from various actors, mainly working in municipalities across the BSR concerned with city planning, emergency services and disaster prevention, sewage management, climate adaptation, and others (Hoy et al. 2024, submitted). These actors required spatially high-resolution precipitation information to be applied in their field of work, only to find there were often just a few individual datasets (only valid at the exact location of the rain gauge), if any, available in their city, municipality, or region. With increasing intensity and frequency of short-duration extreme precipitation events, often leading to urban flooding, concerns among city officials as well as private and commercial actors are on the rise.

Such concerns and the need for better data availability have previously been flagged by radar experts in BSR countries (EE, SE, PL, FI, DE), e.g., in the frame of the European OPERA radar network (Köck et al., 2000; Holleman et al., 2008). This network currently focuses on real-time provision of radar data, principally for case-study assessments of previous weather events. Yet, radar data biases within the national datasets prevent applying the data from OPERA for use as required by the municipal actors previously noted. Following the lead of DWD in Germany, the project aimed to address these chal-

lenges, supporting a future radar climatology relevant to all contexts in the BSR.

Ongoing Developments of Radar Products in Europe

National Scale: Only one publicly available, operational radar climatological dataset exists in the BSR; operated by DWD with data going back to 2001 (DWD, n.d.). It has enhanced understanding of the damage potential and implications of extreme precipitation events to the public and infrastructure, thus supporting city planners and adaptation measures. SMHI in Sweden currently utilises a radar-rain gauge merged product named HIPRAD operationally (Berg et al., 2016), though this product is not publicly available. Polish National Meteorological and Hydrological Service (IMGW) operationally generates multi-source precipitation estimates as 10-min and longer accumulations using RainGRS system (Jurczyk et al., 2020). The products are available publicly. Additionally, the climatological version of the system, named RainGRS Clim, is generating daily and monthly accumulations after reanalyses, consisting mainly of the incorporation of data from high-quality manual rain gauges (Jurczyk et al., 2023), but it is not publicly available yet. The radar-based products of FMI (like other weather services) focus on the nowcasting of severe storms. They developed specific AI-supported products informing their clients of impacts from precipitation events in real-time (Punkka et al., 2023). More recently, they have studied the precipitation microphysics related to dual-pol observations in order to improve the radar retrievals for estimating precipitation rates, which is beneficial for hydrological planning.

International Scale: OPERA, the EUMETNET radar programme, enables radar data exchange and provides European-wide radar composite products, currently every 15 minutes with 2 km spatial resolution. Inside OPERA, radar experts collaborate in operational and scientific topics, including work on a unified data model to share radar data (HDF5 ODIM) (Saltikoff et al., 2019). In the current OPERA phase, the programme focuses on replacing the old data centre, targeting the products to a wider range of

end-users, e.g., providing 5-minute radar composite with 1 km spatial resolution for nowcasting purposes. Another European project, EURADCLIM, aims to overcome some of the shortfalls of OPERA radar composites. For a 7-year historical time frame (2013-2019), sub-daily radar precipitation climatologies were produced, and exploratory work was done on merging rain gauge datasets from the ECA&D dataset with radar composites (Overeem et al., 2023). Finally, the BALTRAD project and its follow-up BALTRAD+ were implemented between 2009 and 2014 under the Interreg Baltic Sea Region (BSR) programme. The main objective of these projects, carried out with the participation of countries within the Baltic Sea basin, was primarily to establish an operational BALTRAD network for real-time radar data exchange (Michelson et al., 2018). The ODIM data model developed under the EUMETNET OPERA programme was applied to the data exchange. In addition, great emphasis was placed on ensuring the highest possible quality of the exchanged data. A toolbox of quality control (QC) tools was developed, which, in addition to being applied to BALTRAD data, is now also used for radar data collected by OPERA as well as by individual national radar networks.

Research Importance in the Scope of International Agreements

The UN Sustainable Development Goals for 2030 strive for actions to achieve a better and more sustainable future for all (UN General Assembly, 2015). RadClim BSR strongly supports goal 13 (Climate Action) by striving to provide essential climatological information regarding precipitation forming the basis for further action. With the envisioned RPC, RadClim BSR specifically aims to 1) help to integrate climate change measures, particularly those pertaining to the flooding risk, into national policies, strategies, and planning and 2) to improve education, awareness-raising, and human and institutional capacity on climate change induced flooding impact reduction and early warning.

The UN published the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction in 2015. It outlines four priorities for action to prevent new and reduce existing disaster risks (UN Sendai Framework, 2015).

RadClim BSR directly addresses the first priority of understanding disaster risk. In addition, the envisioned RPC will help partners in the BSR have a clear picture of the necessary adaptation measures to build resilience to these precipitation events in their society, contributing to their nationally determined contributions (NDCs).

Establishing use-case for a Baltic Sea Region RPC

The aim of the RadClim BSR project was to establish the use case for a high-resolution radar-based precipitation dataset and tool. Furthermore, it was intended to establish the demand for such a dataset and tool amongst relevant user groups across the BSR and to give a clear picture of the desired details therein, such as data types, temporal resolution and spatial resolution. In order to assess the willingness of relevant user groups within the BSR to utilise an RPC within their sphere of work, we undertook a user needs survey. In the following sections, we will outline how the user needs survey was executed and highlight important results which demonstrate the need for a trans-national RPC within the BSR.

METHODS Survey Methodology

The user needs survey was developed using the input of all project consortium members. We used the output of a previous project that also used a survey to establish the user needs and demand for a climate tool as a baseline (ClimVis Europe; Hoy et al. 2024, submitted), strongly advancing from there. Once the final survey document in English was agreed to, translation to Swedish, Estonian, and Polish was undertaken to be distributed in Sweden, Estonia, and Poland, respectively (an English language survey was also distributed in Sweden). Attempts were made to bring Latvia and Lithuania into the project in order to have a truly pan-BSR user group, however these attempts were unsuccessful. The translation to native languages was intended to maximise user engagement with the survey. The target group of the survey was similar in all countries and focused on two key user types: individuals who are known to utilise and require precipitation data in their daily work (e.g.

meteorologists, hydrologists, etc.) and decision-makers in various sectors, particularly with links to hydrology or climate adaptation/mitigation topics.

Multiple methods of survey distribution were utilised to reach appropriate user groups of radar information. These included distributing the survey link via email to institutional contact lists, sending the survey to known relevant contacts of project participants in the respective countries, distributing the survey link to municipal or regional government authorities, and posting the survey link on relevant social media platforms.

The survey itself consisted of an assortment of open and closed questions, including several questions with multiple-choice answers. Closed questions were intended to allow for statistical analysis of survey results, while open questions were intended to allow respondents to articulate particular thoughts or perspectives that they had related to the posed question. The survey was made available on Google Forms, and all the results were downloaded via .csv files using MS Excel to filter and analyse the results. The survey was active in each country for a minimum of 6 weeks.

Data Archiving, Existing Datasets, and Ongoing National Level Radar Work

A clear understanding of the existing datasets and data archiving practices, as well as ongoing work at the national level around the development of radar-based tools or post-processed datasets, was pursued to ensure a clear understanding of the existing landscape in this space. Partners from national meteorological and hydrological service (NMHS) agencies covering much of the BSR were directly involved in assessing these points. Info on these topics was presented by representatives of the NMHSs at in-person meetings and then openly discussed with other participating members in order to identify any gaps in the existing landscape. This knowledge was invaluable in developing a user-needs survey that was relevant to the current radar data situation in the BSR, for example, allowing questions to be developed that could directly be turned into a specification in a future RPC. Coupled with the results of the user needs survey, this will allow for an efficient



Figure 1. Countries involved in the project in green colours in the Baltic Sea region. Starting from north core partners Sweden, Estonia, and Poland in dark green and affiliated partners Finland and Germany in light green colours.

way forward towards developing the envisioned RPC.

RESULTS AND DISCUSSION

In total, 136 responses were received from the three core partner countries (see Fig. 1). The breakdown of responses by country is as follows: Poland – 84, Estonia – 30, and Sweden – 22. The survey respondents represent a valuable cross-section of users from across the landscape of climate-information users in terms of age, cultural backgrounds, and the type of institutions and sectors represented in the participating countries. Survey results were normalised to ensure consistency across the participating countries, and representative results, and 3-country averages were also calculated.

Key results from the study are indicated below:

- A strong majority of survey respondents indicated their work would benefit from using data

provided by an RPC. Respondents prefer that the information provided by a radar-based precipitation climatology be available as both imagery and numerical datasets.

- Respondents were more likely to indicate they have previously been impacted by short-duration heavy rainfall events than long duration precipitation events. The risk posed by short-duration heavy precipitation and droughts is overwhelmingly viewed by survey respondents as a growing risk.
- There is a slight preference for independent real-time and near real-time data provision (including short-term forecast and recent period accumulation) as opposed to comparing radar-based precipitation climatology to existing precipitation climatology datasets.
- Respondents would see gains from utilising the data from radar-based precipitation climatology in combination with better spatial descriptions, more accurate rainfall information, spatial planning and policies, risk assessments, etc.
- The highest resolution of data possible is desired by survey respondents. CSV is the overwhelmingly preferred technical format and shows that

survey respondents continue to work mostly in Excel.

As previously indicated, the aim of the RadClim BSR project was to establish the use case for a high-resolution radar-based precipitation dataset and tool. The results of the user needs survey have provided this information and laid the foundation for proceeding with the future development of a trans-national dataset and tool in the BSR. Results from the survey that are of particular interest are discussed below.

Perceived Impact Areas

We wanted to know about the perceived impacts that would be caused by a heavy precipitation event in the users' region. Two main areas of impact became clear through the survey responses. A majority of respondents in all countries view urban flooding and damage to infrastructure as having an impact on their area. The high resolution of a RPC would be beneficial to users here as it would help better map risk areas related to these impacts. In addition, it is clearly short-duration precipitation events that are perceived to be driving the impacts (urban flooding and infrastructure damage). Of the impacts from long-duration precipitation events, damage to infrastructure

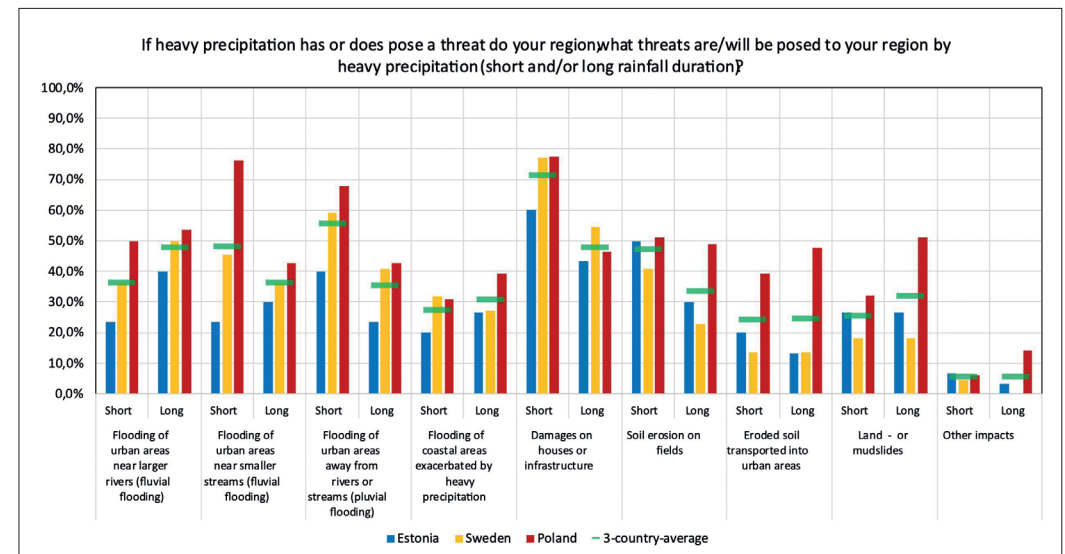


Figure 2. Survey responses to a question of threats that will be posed within users' regions by heavy precipitation from either short or long duration rainfall events.

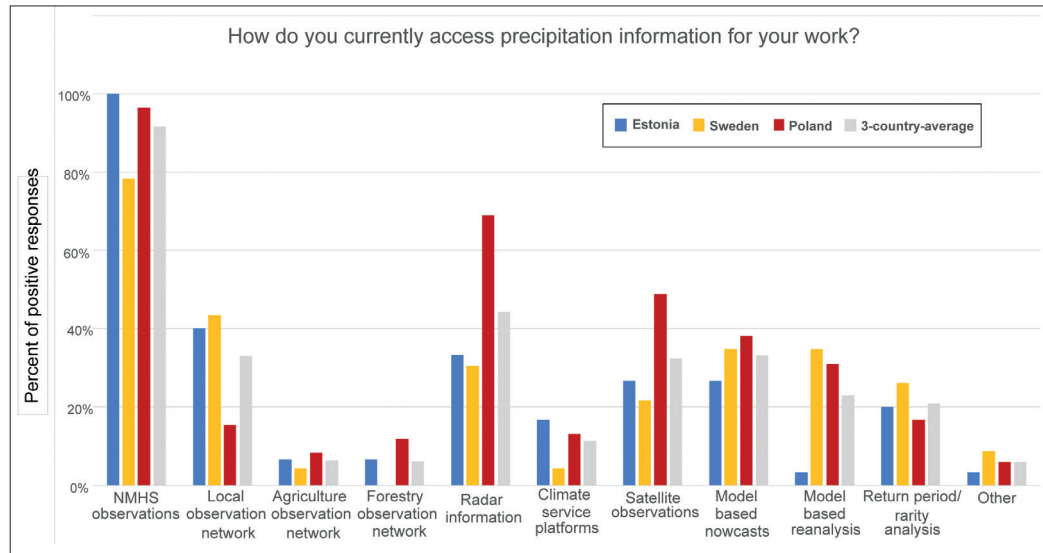


Figure 3. Survey responses to a question about how users currently access precipitation information within their area of work.

and fluvial flooding in urban areas are ranked highest. The takeaway is that the threat to the built environment is considered to be the biggest threat. Of course, this makes sense as water, research and development, and the public sector are often focused on and mandated to protect the built environment from damage. In addition, a separate survey question assessed respondents' views of the expected future occurrence of various types of precipitation events in their region. Here it was indicated that almost 90% of all respondents view that the occurrence of short-duration precipitation events will increase in coming years. Taken together, it is clear where the greatest impact area is anticipated to be.

Establishing a Baseline:

Current Data Access

A baseline understanding of how users currently access precipitation data was established through the survey. This made it clear that precipitation observations from NMHSs dominate as the main source of information accessed in each participating country. Radar observations were the next most common source of precipitation information, however. The research team was surprised at how low the indicated use of return period/rarity analysis was. These types

of statistical analyses of precipitation data are frequently used by practitioners in the meteorology and hydrology professions (Van den Besselaar et al., 2013; Poschlod et al., 2021), which were well represented among our survey participants. More probing questions would be needed to assess why this is the case, though the project team proposes that there is either a lack of this type of data in the BSR and/or that the data which do exist in this form are not easily accessible. Additionally, it is possible that practitioners have shifted to using different forms of data to provide them with the information they need.

Responsibility for Managing Heavy Precipitation Risk

The view of who is responsible for managing precipitation risk varies by country. In Sweden, the vast majority of respondents indicated that it was local-level administrations (either cities or municipalities) who hold this responsibility. However, in Estonia and Poland, the results show that this responsibility is a matter for the national-level administrations. This result serves as a reminder that bureaucratic structures differ from country to country. As such, firmly identifying at what level this responsibility sits should be addressed in the production of a transnational tool

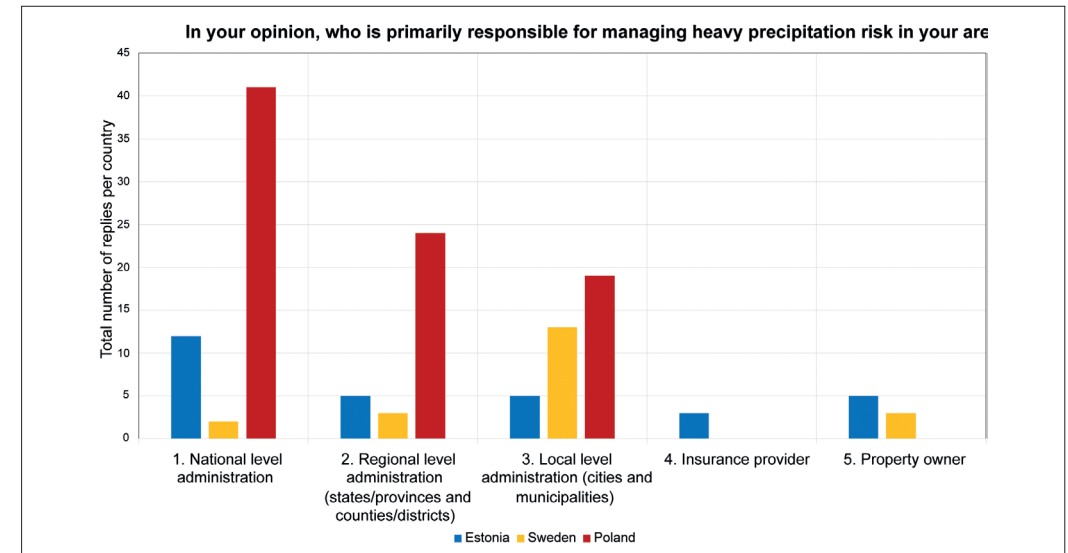


Figure 4. Survey responses to a question aimed at gaining insight into how users in the participating countries viewed primary responsibility related to managing the risk associated with heavy precipitation events in their country.

to ensure it will have utility across all countries in the BSR.

Knowledge of Existing Adaptation Measures to Combat Heavy Precipitation Risk in the BSR

Survey participants were asked to identify their awareness of various types of adaptation measures designed to cope with heavy precipitation events in their region or country. Through this, it was established that many adaptation measures are already in place across the BSR, with all types of adaptation measures inquired about in the survey scoring over 50% awareness in the 3-country average. These adaptation measures are flood barriers, maintaining a natural flood plain, nature-based solutions, improved flood warning systems, changed zoning regulations limiting buildings in flood-prone areas, and updated wastewater and stormwater handling systems. The survey results indicate that the highest awareness of existing adaptation measures of the participating countries is in Estonia, where across almost all of the categories, except for flood barriers (Estonia has no large or rapid response rivers) and improved warning systems, awareness was over 60%. There is still room for improvement regard-

ing the awareness of heavy precipitation adaptation measures in the BSR however, as close to 30% of respondents (from the 3-country average) for each indicated adaptation measure indicated they 'didn't know' whether that particular measure existed in their regions/country or not.

Future Work

Three-country average for identifying what percentage of survey participants are responsible for the management of heavy precipitation observations, impacts, or response in their region was just 50%, though the Polish results are over 70%. This is a key user group for our intended dataset. Thus, future work should focus on ensuring the needs and requirements of this user group are evaluated and considered for the development of a high-resolution RPC.

CONCLUSION

A majority of respondents in the case study countries feel that the information provided by a high-resolution radar-based precipitation climatology would benefit their work. Through the survey, it was determined that both an interactive tool as well as the raw dataset underlying the tool should be accessible to users to aid in their work. Information provided by the

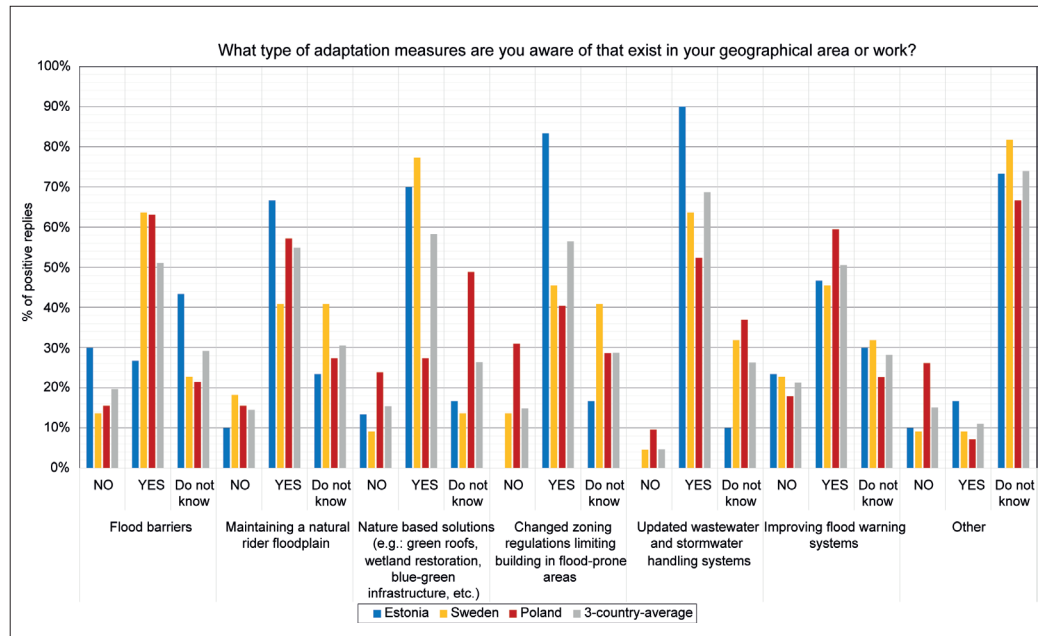


Figure 5. Users' responses to the question of what adaptation measures they are aware of that are currently in use in their country.

RPC should be at the highest temporal and spatial resolution possible in order to allow for assessment of impact from short-duration heavy precipitation events. These types of events were identified as having the highest impact both at the present time and into the future by survey respondents.

Future projects will focus on the full development of a high-resolution radar-based precipitation climatology (datasets and visualisations), which is updated in near-real-time spanning the BSR, relevant for a large range of actors.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank the Swedish Institute for providing the funding to perform our work. The project had the input of and consultation with external expert organisations who are on the cutting edge of research in this field in Europe, in particular; Annakaisa von Lerber from the Finnish Meteorological Institute and Tanja Winterrath from the German Meteorological Service (DWD). There was also involvement of associated project partners in each of the participating project countries as follows and in no particular order; Jonas Olsson from the Swedish

Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) and Agnieszka Wypych and Zbigniew Ustrnul from Jagellonian University in Poland.

References:

Berg, P., Norin, L. and Olsson, J. (2016). Creation of a high resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden, *Journal of Hydrology*, 541, pp. 6-13.

DWD (n.d.). Analysen radarbasierter stündlicher (RW) und täglicher (SF) Niederschlagshöhen, Available at: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/radolan/radolan.html> (Accessed: 31 January, 2024).

Holleman, I., Delobbe, L. and Zgonc, A. (2008). Update on the European Weather Radar Network (OPERA). Paper presented at the WMO Technical Conference (TECO 2008), St. Petersburg.

Hosseini, S.H., Hashemi, H., Larsson, R. and Berndtsson, R., 2023. Merging dual-polarization X-band radar network intelligence for improved microscale observation of summer rainfall in south Sweden. *Journal of Hydrology*, 617, p.129090.

Hoy, A., Swartling, A.G., Ustrnul, Z., Wypych, A., Nevmerzhytska, A.V. and Leander, E. (2024). Too much, but still not enough? Assessing climate tool users' perceptions, needs and access constraints. Submitted to *Reg Environ Change* in December 2023.

Jurczyk, A., Szturc, J., Otop, I., Ośródk, K. and Struzik, P. (2020). Quality-Based Combination of Multi-Source Precipitation Data, *Remote Sensing*, 12 (11), pp. 1709, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12111709>.

Jurczyk, A., Ośródk, K., Szturc, J., Pasierb, M. and Kurcz, A. (2023). Long-term multi-source precipitation estimation with high resolution (RainGRS Clim), *Atmospheric Measurement Techniques*, 16 (17), pp. 4067-4079, doi: <https://doi.org/10.5194/amt-16-4067-2023>.

Köck, K., Letne, T., Randeu, W.L., Divjak, M. and Schrelber, K.J. (2000). OPERA: Operational programme for the exchange of weather radar information. First results and outlook for the future, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25 (10-12), pp. 1147-1151.

Kreklow, J., Tetzlaff, B., Burkhard, B. and Kuhnt, G. (2020). Radar-Based Precipitation Climatology in Germany—Developments, Uncertainties and Potentials, *Atmosphere* 11 (2), pp. 217, doi: <https://doi.org/10.3390/atmos11020217>.

Punkka, A.-J. and Kämäräinen, M. (2023). Severe Weather Impact Database and Impact-based Forecasts by Utilizing Machine-Learning Technology. Paper presented at European Conference on Severe Storms (ECSS 2023), Bucharest, Romania., doi: <https://doi.org/10.5194/ecss2023-83>.

Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M. and Kjeldsen, T.R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe, *Journal of Hydrology*, 519, pp. 3634-3650.

Michelson, D., Henja, A., Ernes, S., Haase, G., Koistinen, J., Ośródk, K., Peltonen, T., Szweczykowski, M. and Szturc, J. (2018). BALTRAD Advanced Weather Radar Networking, *Journal of Open Research Software*, 6 (1), pp. 12, doi: <https://doi.org/10.5334/jors.193>.

Olsson, J., Dyrddal, A.V., Médus, E., Södling, J., Aniskeviča, S., Arnbjerg-Nielsen, K., Förland, E., Mačiulytė, V., Mäkelä, A., Post, P. and Thorndahl, S.L. (2022). Sub-daily rainfall extremes in the Nordic-Baltic region, *Hydrology Research*, 53(6), pp. 807-824.

Olsson, J., Södling, J., Berg, P., Wern, L. and Eronn, A. (2019). Short-duration rainfall extremes in Sweden: a regional analysis, *Hydrology Research*, 50 (3), pp. 945-960.

Overeem, A., van den Besselaar, E., van der Schrier, G., Meirink, J. F., van der Plas, E. and Leijnse, H. (2023). EURA-CLIM: the European climatological high-resolution gauge-adjusted radar precipitation dataset, *Earth System Science Data*, 15, pp. 1441-1464, doi: <https://doi.org/10.5194/essd-15-1441-2023>.

Poschold, B., Ludwig, R. and Sillmann, J. (2021). Ten-year return levels of sub-daily extreme precipitation over Europe, *Earth System Science Data*, 13 (3), pp. 983-1003.

Saltikoff, E., Haase, G., Delobbe, L., Gaussiat, N., Martet, M., Idziorok, D., Leijnse, H., Novák, P., Lukach, M. and Stephan, K. (2019). OPERA the Radar Project, *Atmosphere*, 10 (6), pp. 320, doi: <https://doi.org/10.3390/atmos10060320>.

UN General Assembly (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1, 21 October 2015. Available at: <https://www.refworld.org/legal/resolution/unga/2015/en/111816> (Accessed: 12 October 2023).

UN (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Available at: <https://www.undrr.org/quick/11409> (Accessed: 15 June 2023).

Van den Besselaar, E.J.M., Klein Tank, A.M.G. and Buishand, T.A. (2013). Trends in European precipitation extremes over 1951-2010, *International Journal of Climatology*, 33 (12), pp. 2682-2689.

Winterrath T., Brendel C., Hafer M., Junghänel T., Klameth A., Walawender E., Weigl E. and Becker A. (2017). Erstellung einer dekadenischen radargestützten hoch-auflösenden Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderung des Extremverhaltens von Niederschlag. *Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydro-meteorologie*.

Winterrath T., Brendel T., Junghänel T., Klameth A., Lengfeld K., Walawender E. and Becker A. (2019). An overview of the new radar-based precipitation climatology of the Deutscher Wetterdienst – data, methods, products. *UrbanRain18 Conference Proceedings*, pp. 132-137. Pontresina, Switzerland. doi: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000347485>.

Nästa nummer av Vatten kommer ut i mitten på juni

Vi tar gärna emot material för publicering.
Har du tekniska och vetenskapliga artiklar eller notiser
med bred täckning inom vattenområdet, skicka dem till:
johanna.sorensen@tvrl.lth.se på vår redaktion.

Läs mer om hur gör på vår hemsida
www.foreningenvatten.se/instruktioner-for-forfattare

Stödjande medlemmar



Stort tack till samtliga våra stödjande medlemmar!

Amphi-tech	Malmberg Water	Trelleborgs Kommun
Arboga Vatten och Avlopp	Mittskåne Vatten	Trollhättan Energi
Brenntag Nordic	Mälarenergi Vatten	Tyréns
EnviDan	Norrsvatten	Uppsala Vatten och Avfall
Falköpings Kommun	NSVA	VA-guiden
Gryaab	Ragn-Sells Treatment & Detox	VA SYD
Göteborgs Stad Kretslopp och Vatten	RISE Research Institutes of Sweden	VA-avdelningen NVK
Haninge kommun	SGS	Vakin
Hudiksvalls Kommun	Strömsunds Kommun	Vattenfall
Hässleholms Vatten	SWECO Environment	Vänersborgs Kommun
Kalmar Vatten	Sydsvatten	Västra Mälardalens
Karlstads kommun	Teknik- och fastighetsförvaltningen	Energi och Miljö
Kemira Kemi	Höganäs	Växjö Kommun
	Tekniska verken i Linköping (publ)	

Tidskriften Vatten ges ut av Föreningen Vatten



Hitta gamla artiklar på www.tidskriftenvatten.se