

Ökad hydrodiversitet för att främja avrinningsområdets klimatresiliens (EcoDiver)

Erik Nilsson, Linus Zhang,
Magnus Persson, Lunds universitet

Anders Wörman, Joakim Riml,
Kungliga Tekniska Högskolan

RAPPORT 7149 | JUNI 2024



Ökad hydrodiversitet för att främja avrinningsområdets klimatresiliens (EcoDiver)

av Erik Nilsson, Linus Zhang och Magnus Persson, Lunds universitet
samt Anders Wörman och Joakim Riml, Kungliga Tekniska Högskolan

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-7149-3

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2024

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2024

Omslagsfoto: Linus Zhang



Förord

Här presenteras resultaten från forskningsprojektet ”Ökad hydrodiversitet för att främja avrinningsområdets klimatresiliens (EcoDiver)”. Projektet är ett av åtta projekt som genomförts inom forskningssatsningen Våtmarkers ekosystemtjänster.

Med forskningsområdet ville Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten stödja forskning som kunde stärka möjligheterna att på bästa sätt restaurera och anlägga våtmarker i landskapet för att skapa så stor nytta som möjligt för ekosystemen och samhället. Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag.

Rapporten har skrivits av Erik Nilsson, Linus Zhang och Magnus Persson från Lunds universitet och Anders Wörman och Joakim Riml från Kungliga Tekniska Högskolan.

Rapporten har granskats för vetenskaplig kvalitet av Fernando Jaramillo (Stockholms universitet) samt för praktisk relevans av Matti Ermold (Naturvårdsverket).

Författarna svarar för rapportens innehåll.

Stockholm i juni 2024

Marie Uhrwing
Avdelningschef, Hållbarhetsavdelningen

Innehåll

Sammanfattning	5
Summary	6
1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
2. Metod	9
2.1 Vetenskaplig Metodik	9
2.2 Genomförande	9
3. Resultat	18
3.1 Resultat i fallstudier	18
3.2 Databaser	28
3.3 Bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster	28
3.4 Beslutsstödsverktyg för våtmarkshantering	34
3.5 Spridning av kunskap	37
3.6 Kommunikationsaktiviteter	38
4. Diskussion	40
5. Slutsatser och förslag	42
6. Tack	44
7. Källhänvisning	45
8. Publikationer och data	48

Sammanfattning

Denna rapport presenterar forskningsprojektet EcoDiver, finansierat av Naturvårdsverket. Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Lunds universitet och Kungliga Tekniska Högskolan (KTH).

Huvudtesen har varit att hydrodiversiteten, där mångfalden av hydrologiska enheter som våtmarker, sjöar, floder och grundvatten inom ett avrinningsområde samverkar och påverkar avrinningsområdets förmåga att hantera klimatförändringar, såsom intensifierade nederbördsmonster, torka, och temperaturvariationer genom att tillhandahålla en rad olika ekosystemtjänster.

Projektet har studerat våtmarkernas hydrologiska funktioner, som att reglera flöden samt minska akvatiska föroreningar, och deras roll i klimatanpassning. Projektet har använt databaser, fältmätningar, laboratorieanalyser, hydrologiska modeller, och statistisk analys för att undersöka hur våtmarker påverkar vattenkvalitet, vattenbalans, och biologisk mångfald i avrinningsområden.

Projektet har också utvecklat metoder och verktyg, dels för ett modellbaserat beslutsstöd, dels för att mäta och optimera våtmarkernas ekosystemtjänster. Projektet har använt ekonomiska, sociala, och ekologiska indikatorer för att värdera våtmarkernas bidrag till bland annat koldioxidupptag, rening av förorenat vatten, erosionsskydd, rekreation, och utbildning.

Projektet har baserat sin forskning på fem fallstudier av olika våtmarkstyper i Skåne. Dessa fallstudier har valts för att representera olika hydrogeologiska förhållanden, våtmarksstorlekar, restaureringsåtgärder, och landskapskontexter.

Projektet har också spridit sin kunskap till olika intressenter, genom seminarier, workshops, publikationer, och forskningssamarbeten. Projektet har involverat forskare, myndigheter, kommuner, universitetsstudenter, markägare, och skolor i dialog och samverkan kring våtmarkernas betydelse och potential för miljöhantering.

Summary

This report presents our research project EcoDiver, funded by the Swedish Environmental Protection Agency. The project was conducted as a collaboration between Lund University and the Royal Institute of Technology (KTH).

The main thesis has been hydrodiversity, where the diversity of hydrological units, such as wetlands, lakes, rivers and groundwater, within a catchment area interact and affect the catchment's ability to cope with climate change, such as increased precipitation, drought and temperature variations by providing various ecosystem services.

The project studied the hydrological functions of wetlands, such as regulating flow during floods and droughts, and their role in climate adaptation. The project has used hydrological models, field measurements and laboratory analysis to investigate how wetlands affect water quality, water balance and biodiversity in river basins.

The project has also developed methods and tools for model-based decision support and for measuring and optimizing wetland ecosystem services, which are the benefits that wetlands provide to the environment and society. The project has used economic, social and ecological indicators to evaluate the contribution of wetlands to, among other things, carbon dioxide uptake, treatment of polluted water, erosion control, recreation and education.

The project has based its research on five case studies of different wetland types in Scania. These case studies have been chosen to represent different hydro-geological conditions, wetland sizes, restoration measures and landscape contexts.

The project has also disseminated its knowledge to various stakeholders, through seminars, workshops, publications, and collaborations. The project has involved researchers, authorities, municipalities, university students, landowners, and schools in dialogue and collaboration on the importance and potential of wetlands for environmental management.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Att öka effektiviteten hos sötvattensvåtmarkernas ekosystemtjänster är av avgörande betydelse när det gäller att anpassning till och mildring av effekterna av klimatförändringar. Detta innebär integrering och främjande av naturbaserade lösningar (NBS), som är levande enheter inspirerade av naturen, som ger miljömässiga, sociala och ekonomiska fördelar genom att stärka motståndskraften mot skadliga effekter av klimatförändringar. I samband med vår studie introducerar vi termen "hydrodiversitet" för att beskriva mångfalden av hydrologiska enheter inom ett avrinningsområde.

Vår forskning fokuserar på att visa fördelarna med ett system som innehåller olika lösningar, med hjälp av fallstudier och beslutsstödsverktyg. Vi undersöker särskilt våtmarkernas roll i klimatanpassningen, med särskild tonvikt på att förstå hur olika våtmarkstyper samverkar och kompletterar varandra. Den centrala aspekten av vår forskning är våtmarkernas hydrologiska funktioner och deras ekosystemtjänster, inklusive deras förmåga att dämpa flödet under översvämningar, tillhandahålla vatten för olika ändamål under perioder med låg nederbörd, samt minska halten av föroreningar i akvatiska miljöer.

Det är viktigt att betona att våtmarker har flera funktioner, som sträcker sig bortom hydrologin, och erbjuder olika ekosystemtjänster för miljön och samhället. Dessa funktioner är sammankopplade och beroende av varandra, vilket innebär att förändringar i en aspekt, t.ex. förebyggande av översvämningar, kan påverka andra, t.ex. biologisk mångfald eller rekreativvärden. Även om vårt primära fokus ligger på att utvärdera våtmarkernas hydrologiska funktion, betonar vi behovet av att beakta alla funktioner samtidigt för att få en heltäckande förståelse för deras holistiska påverkan.

1.2 Syfte

Projektet syftade till att besvara viktiga forskningsfrågor för avrinningsområden för att öka den hydrologiska mångfalden och bli mer motståndskraftigt mot extrema hydrologiska händelser, och därigenom ge mer robusta ekosystemtjänster. Genom att stärka kunskapen om underliggande processer samt utveckla beslutsstödsverktyg går det att identifiera den optimala utformningen, placeringen och skötseln av enskilda våtmarker, vilket ger en multifunktionell enhet. Genom att använda en system- eller avrinningsområdesstrategi kommer de enskilda våtmarkerna att komplettera varandra och bilda ett mångsidigt och robust hydrologiskt system som kan hantera klimatvariationer och förändringar.

De tre viktigaste forskningsfrågorna inom projektet var följande: 1) hur stor är nyttan av våtmarkers ekosystemtjänster ur ett hydrologisk och ekonomiskt perspektiv? 2) hur kan man skapa ett system av våtmarker i ett område för att erhålla optimal nytta samt 3) hur kommer våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster påverkas av ett förändrat klimat?

Med ovan forskningsfrågorna som utgångspunkter syftade projektet till att uppnå följande med tillhörande arbetspaket (AP):

- a. Upprätta en databas som dokumenterar den sammanlänkade dynamiken mellan ekosystemtjänster, hydrologiska funktioner och klimatsystemet. Denna databas kommer att omfatta historiska data och nya data som erhållits genom ett föreslaget övervakningsprogram för utvalda fall (AP1).
- b. Utforma metoder för att kvantitativt bedöma ekosystemtjänster som rör hydrologiska funktioner inom ramen för ett avrinningsområde, med hänsyn till både dagens förhållanden och förväntade framtida klimat. Målet är att utveckla strategier och förvaltningsplaner baserade på dessa bedömningar (AP2).
- c. Skapa ett verktyg för beslutsstöd som är skräddarsytt för avrinningsområdesbaserade överväganden. Detta verktyg är utformat för att hjälpa beslutsfattare att identifiera optimala platser och genomföra effektiva förvaltningsstrategier för anläggning av nya våtmarker (AP3).
- d. Främja intressenternas engagemang och underlätta spridning och publicering av viktiga resultat. Detta inkluderar att aktivt bidra till internationella vetenskapliga utvärderingsinitiativ, ge insikter till beslutsfattare inom offentlig förvaltning, och dela värdefull information med privata aktörer. Det övergripande målet är att säkerställa att projektets resultat har en meningsfull inverkan på olika intressenter på olika nivåer (AP4).

2. Metod

2.1 Vetenskaplig Metodik

Den vetenskapliga metodiken kan sammanfattas enligt följande.

- **Fallstudier** - fem fall väljs ut som representerar olika typer av våtmarker och som täcker de viktigaste hydrologiska funktionerna, förvaltningen och utformningen. De fem områden är: Fäjemyr, Gårdstånga Nygård, Kävlingeån, Rønne å, och Tullstorpsån.
- **Modellering** - En hydrologisk modell kommer att upprättas för fallens avrinningsområden för att uppnå en integrerad bedömning och förståelse av samspillet mellan våtmarkssystem och avrinningsområdets hydrologi och landanvändning. Modellen kommer att köra historiska och framtida scenarier för att bedöma och kvantifiera de ekosystemtjänster som är relaterade till deras hydrologiska funktion.
- **Beslutsstödsverktyg** - Ett beslutsstödsverktyg kommer att utvecklas genom att kombinera hydrologiska modeller för att hjälpa beslutsfattare att hitta den optimala platsen och förvaltningsstrategier för nya våtmarker.
- **Spridning av kunskap** - Resultaten kommuniceras till intressenter – främst kommuner, länsstyrelser, Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten – under seminarier, workshops och andra evenemang under projektets gång. Flera av forskningsaktiviteterna har genomförts i samarbete med andra forskningsprojekt, vilket har främjat kunskapsspridning. Vissa delar av projektet har dock blivit försenade och kommer att äga rum senare under 2024. Resultaten har publicerats i nationella och internationella tidskrifter, och fler artiklar är under färdigställande.

2.2 Genomförande

Projekt genomförande är baserat på de fyra arbetspaketen (AP1-AP4) som definierar kärnverksamheter och arbetsaktiviteter i projektet.

2.2.1 Databasutveckling (AP1)

Klimat, ekologi och hydrologisk datainsamling är genomförd tillsammans med landskaps- och jordansvändningsförhållande för alla fem fallstudierna Fäjemyr, Gårdstånga Nygård, Kävlingeån, Rønne å samt Tullstorpsån (Se *Figur 1*). Nedan beskrivs de utförda experimenten och datainsamlingen i korthet.



Figur 1. Fem fallstudieområden i Skåne som ingick i EcoDiver projektet.

DATAINSAMLING I FALLSTUDIER

Fäjemyr

Experimenten i Fäjemyr utfördes som ett doktorandprojekt av Shokoufeh Salimi, vars lön och utrustning har finansierats av andra projekt. Vissa av resultaten från detta doktorandprojekt har inkluderats i databasen för EcoDiver i enlighet med projektansökan.

I denna fallstudie samlades 32 ostörda jordprover in från Fäjemyr, som är en ombrotrofisk mosse i NV Skåne (5615'N,1333'Ö). Proverna samlades från torvmarkens översta skikt och placerades direkt i tankar (30 cm långa, 22 cm breda och 24 cm höga) under fältarbete. Proverna placerades i fyra olika klimatkammare som simulerade nuvarande klimat samt framtida klimatscenarier tillsammans med olika vattenhanteringsstrategier. Experimenten är beskrivna i detalj i Salimi (2021). Data från två av artiklarna i avhandlingen relaterade till våtmarkers ekosystemtjänster och är relevanta för EcoDiver och har inkluderats i vår databas.

Gårdstånga Nygård

Gårdstånga Nygård förvaltar 200 hektar ekologisk och 800 hektar konventionell jordbruksmark. I området har jordbruket upplevt några år med torka, inte minst under 2018, men även andra år då särskilt vårnederbörden har varit lägre än normalt. På Gårdstånga Nygård konstruerades en damm avsedd för bevattning 2020. Syftet med denna var att tillhandahålla vatten för bevattning under torka och att minska näringsläckaget från jordbruksmarken. Data har samlats in inom ramen för EcoDiver, men i vår databas ingår även data (främst vattenkvalité) som har tagits fram i andra projekt i enlighet med de synergieffekter med andra projekt som beskrevs i ansökan.

Prover av vattenkvalitet har tagits i vattendraget där dammen ligger tillsammans med mätningar på vattennivåer, både före och efter dammens konstruktion, se *Figur 2*. Proverna för vattenkvalitet inkluderade fysikaliska, mineralogiska, och organiska parametrar, och för vattennivådata samlades även meteorologiska data och bevattningsdata in för att möjliggöra en vatten- och näringsbalans för dammen.



Figur 2. Mätpunkter vid våtmark och vattendrag på Gårdstånga Nygård (från uppström: USR, Inlet, 3-1/4-6, Outlet, P, and DSR).

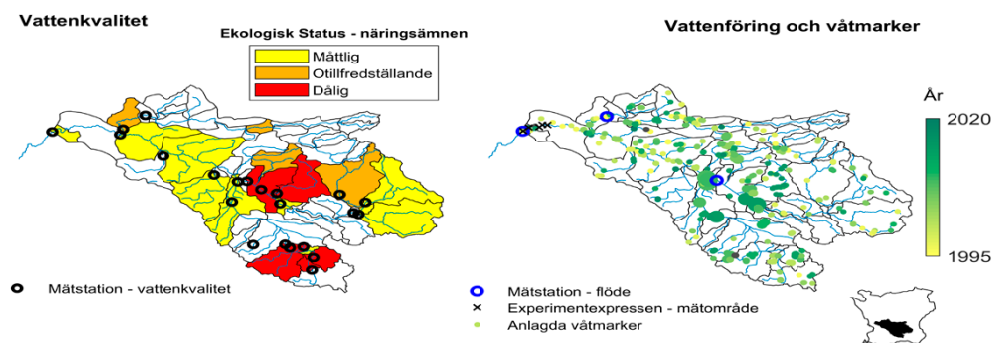
Kävlingeån

I Kävlingeån sattes en hydrologisk modell upp med HEC-HMS för att undersöka effekterna av uträtning av vattendrag och sänkning av grundvattennivån på översvämningsbenägenheten nedströms.

En analys av förändringar i koncentration av näringsämnen har genomförts tillsammans med en analys av potentiella orsaker bakom förändringarna. För att genomföra detta så har data på koncentrationer av näringsämnen, landavändning,

och utsläpp till vatten från punkt- samt diffusa källor samlats in och sammanställts för 1990 till 2020. Denna del av EcoDiver har genomförts i samarbete med Länsstyrelsen i Skåne.

Ett samarbete har genomförts med skolprojektet *Experimentexpressen*, som drivs av utbildningscentret Vattenhallen på Lunds Tekniska Högskola (LTH) för årskurserna 3 - 6. Experimentexpressen tar ut skolklasser för att besöka delar av Kävlingeån och genomföra hydrologiska och ekologiska mätningar och observationer, se *Figur 3*. I detta samarbete så har EcoDiver tagit fram förslag på vilka aspekter som skolklasserna bör fokusera sina fältbesök på och hur mätningar kan genomföras. Från skolklassernas protokoll så har EcoDiver sammanställt insamlade data och inkluderat dem i den databas som byggts under projektet. Insamlade data har använts för att jämföra med andra datakällor samt för att undersöka vilka typ av förändringar som kan observeras med de mätmetoder som skolklasserna använder.



Figur 3. Mätstationer i Kävlingeån tillsammans med bedömning av Ekologisk Status med avseende på näringsämnen, samt anlagda våtmarker och plats för Experimentexpressen.

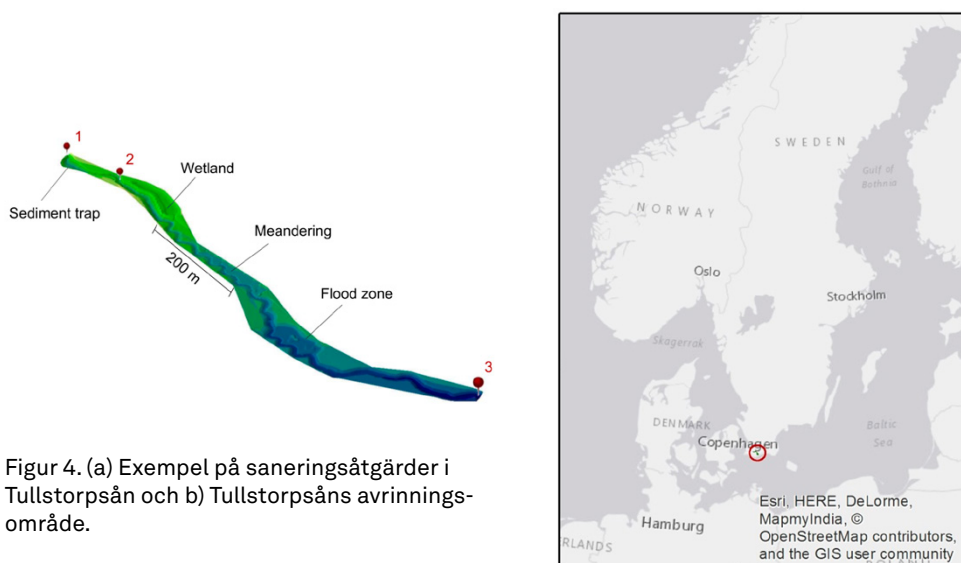
Rönne å

En hydrologisk modell sattes upp med MIKE HYDRO River och MIKE SHE för att simulera den hydrologiska responsen för avrinningsområdet samt effekter av dammrivningar. För modellutveckling så samlades geologiska, topografiska, meteorologiska, och flödesdata in. En fältundersökning genomfördes också för att validera vattendragsektioner och geomorfologi för att underlätta modellsimuleringar.

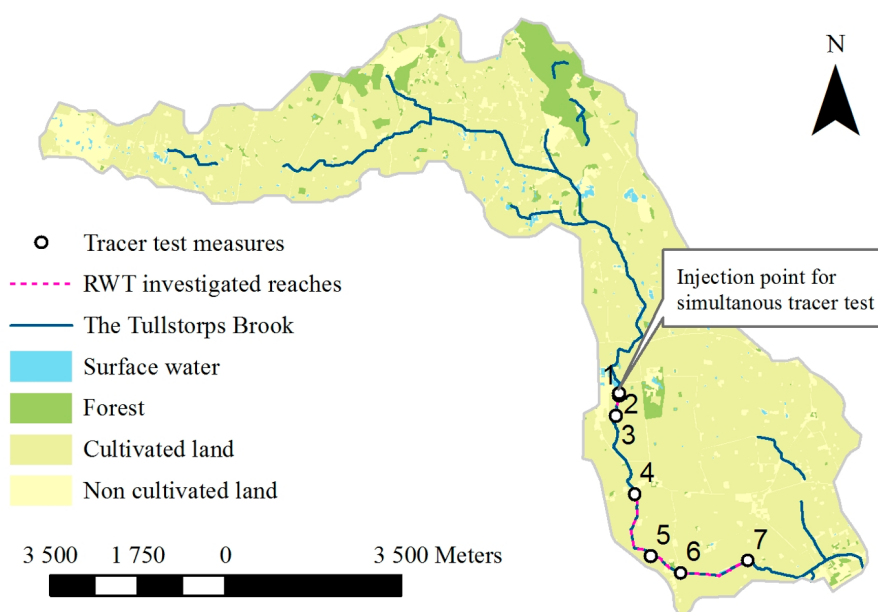
På grund av tekniska problem med att få bakgrundsdata för Rönne å genomfördes en fallanalys även för Helge å. De två avrinningsområdena är jämförbara eftersom båda dammrivningar är aktuella i båda. I en fallstudie av ett vattenkraftverk nära Osby i Helge å undersöktes vilka flöden som var lämpligt för reproduktion av öring (*Salmo trutta*) och lax (*Salmo salar*) i en sträcka som idag är torrlagd. En terrängmodell konstruerades med hjälp av batymetriska data och sju olika flödesscenarier simulerades i modellen HEC-RAS. De hydrauliska kartorna som togs fram med modellen klassificerades i en habitatmodell baserad på preferenskurvor för lax och öring, och det tillgängliga området för fiskebestånd i vattenprofilen beräknades.

Tullstorpsån

I Tullstorpsån har en ekonomisk förening mellan markägare genomfört en rad olika åtgärder för att minska närsalttransporten till Östersjön, bland annat med ekonomiskt stöd från EU och HaV (Figur 4). I tidigare forskningsförsök har spårämnesförsök genomförts med tritierat vatten, P-32-märkt fosfat och N-15-märkt nitrat ($^3\text{H}_2\text{O}$, $^{32}\text{PO}_4$ and $^{15}\text{NO}_3$) (Riml et al., 2016). Insamlade data har använts för att beskriva utbytet mellan yt- och grundvatten i vattendrag, det så kallade hyporheiska flödet, samt utveckla en modell för ämnesretention i vattendrag som genomgått olika åtgärder. Figur 5 visar fördelningen av mätstationer längs en flera kilometerlånga sträckor som undersöktes under försöket.



Figur 4. (a) Exempel på saneringsåtgärder i Tullstorpsån och b) Tullstorpsåns avrinningsområde.



Figur 5. Karta över Tullstorpsåns avrinningsområde med mätstationer som användes under spårämnesförsöket med tritierat vatten, P-32-märkt fosfat och N-15-märkt nitrat (107). Sträckor som även undersöktes med spårämnestester med Rhodamin (RWT) indikeras med rosa.

SAMMANSTÄLLNING AV DATAANVÄNDNING

Data från fallstudierna har sammanställts i databaser för att koordinera forskningen samt möjliggöra för vidareutveckling av forskningsfrågorna. *Tabell 1* sammanställer de typer av data som använts – antingen genererade från mätningar under projektet eller från sekundära källor – grupperat utifrån övergripande forskningsmål kopplade till projektets tre forskningsfrågor: 1) hur stor är nyttan av våtmarkers ekosystemtjänster ur ett hydrologisk och ekonomiskt perspektiv? 2) hur kan man skapa ett system av våtmarker i ett område för att erhålla optimal nytta samt 3) hur kommer våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster påverkas av ett förändrat klimat?

Tabell 1. Sammanställning av dataanvändning. Siffrorna 1-3 refererar till projektets tre forskningsfrågor.

Forskningsmål	Data (genererade/sekundära)	Platser	Koppling till forskningsfrågor
Hydrologisk modellering	Genererade: Spårtester (RWT), Hydraulisk konduktivitet, Berggrundshöjd; Sekundära: Digitala höjdmodeller, Jordtyper och jorddjup, Marktäckning, Hydraulisk konduktivitet, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Vattendragsprofil, Vattenytprofil, Avrinningspotential (kurvnummer), Avrinning – observerad och modellerad, Flöde, Näringsämneskoncentration (modellerad)	Tullstorpsån, Kävlingeån, Helge å, Rönne å	1, 2) Ökad förståelse av hydrologisk funktion rörande flöde och näringsprocesser i varierade landskap
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys	Genererade: Vattentemperatur, Vattenkvalitet - fysikaliska parametrar, Biodiversitet, Flöde; Sekundära: Näringsämneskoncentration, Vattenutsläpp (punkt- och diffusa), Hydrologiskt nätverk, Markanvändning	Kävlingeån, Gårdstånga Nygård, Tullstorpsån	1) Ökad förståelse av hur våtmarker påverkar vattenkvalitet i olika landskap och perioder
Våtmarker för bevattning	Genererade: Vattentemperatur, Vattennivåer, Flöde, Vattenkvalitet - fysikaliska parametrar; Sekundära: Vattenkvalitet, Nederbörd, Temperatur, Vind, Relativ luftfuktighet, Vattennivåer i våtmarker	Gårdstånga Nygård	1) Kvantifiering av våtmarkers bevattningspotential under olika hydrologiska förhållanden
Våtmarker för klimatmitigering	Sekundära: Avdunstning, Vattennivåer, Biokemiska parametrar, Fysikaliska parametrar, Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Klimatprojektioner	Fäjemyr	1, 3) Kvantifiering av våtmarkers påverkan på växthusgascykler under nuvarande och framtida klimatförhållanden
Beslutsstödsverktyg	Genererade: Spårtester (RWT), Hydraulisk konduktivitet, Berggrundshöjd; Sekundära: Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Markanvändning, Digitala höjdmodeller, Hydrologiskt nätverk, Flöde, Vattennivåer	Kävlingeån, Tullstorpsån	2) Verktyg för simulering och bedömning av våtmarkers hydrologiska funktion utifrån ökad hydrodiversitet inom avrinningsområden

2.2.2 Utformning av metodik för ekosystemtjänster (AP2)

Inom projektet så har olika metoder utvecklats för att bedöma våtmarkers ekosystemtjänster. Utveckling av metoderna är främst baserade på tillgängliga data samt kunskap hos projektmedlemmarna kopplat till de beskrivna forskningsmålen. Utöver resultaten detta genererade så har metodanvändningen även tjänat till att utforska hur nya metoder presterar under olika förhållanden. *Tabell 2* listar de övergripande analytiska metoder tillsammans med dataanvändning som använts för respektive forskningsdelmål.

Tabell 2. Övergripande analytiska metoder för respektive forskningsdelmål och dataanvändning. Siffrorna 1-3 för "Forskningsmål" visar kopplingar till projektets tre forskningsfrågor, vilka finns beskrivna i Tabell 1.

Forskningsmål - Delmål	Dataanvändning	Analytisk metod
Hydrologisk modellering - Hyporheiskt flöde ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Jordtyper och jorddjup, Marktäckning, Hydraulisk konduktivitet, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Ytvattensprofil, Avrinningspotential (kurvnummer), Avrinning (observerad och modellerad), Näringsämneskoncentration (modellerad), Spårtester (RWT), Berggrundshöjd, Flöde	Hydromekanisk modellering på avrinningsområdesnivå och vattendragsnivå Modellering av transport av lösta ämnen Regressionsanalys för modellutvärdering Mjukvara: COMSOL Multiphysics
Hydrologisk modellering - Hydromorfologiska effekter ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Flöde, Vattennivå	Hydrologisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: MIKE HYDRO River
Hydrologisk modellering - Översvämningsanalys ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Flöde, Vattennivå	Hydrologisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: HEC-HMS, MIKE HYDRO River, MIKE SHE
Hydrologisk modellering - Optimalt flöde för fiskbestånd ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Batymetri, Flöde	Hydraulisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: HEC-RAS
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Förändring av närsaltskoncentrationer i Skåne ¹	Näringsämneskoncentration, Vattenutsläpp (punkt- och diffusa), Hydrologiskt nätverk, Markanvändning	GIS-analys för sammanställning av data Korrelationsanalys Statistik analys för sammanställning
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Påverkan på vattenkvalitet från jordbruksområde ¹	Vattentemperatur, Vattenkvalitetsfysikaliska parametrar, Flöde	Vattenbalansmodell Statistik analys för orsakssamband
Våtmarker för bevattning¹	Nederbörd, Temperatur, Vind, Relativ luftfuktighet, Vattennivåer i dammar, Vattentemperatur, Vattennivåer - fysikaliska parametrar, Flöde, Vattenkvalitet	Vattenbalansmodell Statistik analys för orsakssamband
Våtmarker för klimatmitigering^{1,3}	Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Klimatprojektioner, Avdunstning, Vattennivåer, Biokemiska parametrar, Fysikaliska parametrar	Klimatkamrar Korrelationsanalys
Beslutsstöds-verktyg²	Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Markanvändning, Digitala höjdmodeller, Hydrologiskt nätverk, Flöde, Vattennivåer	Hydrologisk modellering Mjukvara: QSWAT, COMSOL Multiphysics

För både Rönne å och Kävlingeån har modelleringsstudier genomförts för att beskriva och analysera interaktioner mellan vattendrag, mark, och våtmark i hela avrinningsområde. Modellverktygen MIKE SHE och MIKE Hydro River tillämpades för utvalda områden kring de tre dammarna (Rönne å) i fokus för analyser av konsekvenser av dammrivningar. För Kävlingeån har en HEC-HMS modell utvecklats för att skapa en bättre förståelse av avrinningsområde genom att 1) bestämma avrinningsområdets hydrologiska respons på markfuktighet och hur hydrologiska parametrar påverkar översvämningen och 2) analysera översvämningens frekvens.

Som en del av undersökningarna av ekosystemtjänster för begränsad kvävetransport från jordbruksområden har det utvecklats en modell för retention av kväve (Morén et al., 2017 and 2021b; Morén, 2022) och åtgärdsstrategier (Riml et al., 2024). Kvävereducerande förhållanden genom denitrifikation råder främst under relativt syrefattiga förhållanden i bottensediment. I analys av kvävetransport i vattendrag är det därför särskilt viktigt att ha en god beskrivning av vattenutbytet mellan vattendragets öppna strömning och den hyporheiska zonen (Birgand et al., 2007; Gomez-Velez et al., 2015; Jones & Mulholland, 2000). I den hyporheiska zonen är vattenhastigheterna mycket lägre än i det öppna vattendraget och det finns stora reaktiva ytor av biotiskt och kemiskt aktiva sediment (Jones & Mulholland, 2000). Speciellt förstärks redoxkänsliga reaktioner, såsom nitrifikation och denitrifikation, kraftigt i den hyporheiska zonen. Ytvatten är ofta mycket syresatt, men när vattnet kommer in och tillbringar tid i den hyporheiska zonen, förbrukas syre av mikrobiellt medierad heterotrofisk andning, vilket leder till redoxgradienterna längs strömlinjer som behövs för många biogeokemiska reaktioner (Grant et al., 2014; Rutherford et al., 1995; Zarnetske et al., 2011, 2012). Således är det volymetriska flödet av vatten in i och ut ur strömbädden och uppehållstiden i den hyporheiska zonen viktiga parametrar som styr transporten av reaktiva lösta ämnen i vattendrag (Harvey et al., 2013).

2.2.3 Utveckling av beslutsstödsystem (AP3)

Beslutsstödsverktyg (BSV) inom projekt är främst baserat på modellutveckling med QSWAT+, som är ett open-source och GIS-baserat verktyg. BSV har anpassats med egenutvecklade funktioner för scenariotest samt analys tillsammans med modellsimuleringar som rör våtmarker, sjöar och reservoarer. Detta har genomförts med hjälp av parametertabell och införande av egna funktioner. BSV har följande egenskaper: 1) baserat på avrinningsområden men kan skalas ner till tomtskala; 2) baserat på hydrologiska modeller (regn-avrinning, vattenbalans, ämnestransport, grundvatten); 3) kombinera våtmark med hydrologisk regim och för att testa effekter för hela avrinningsområdet samt 4) tillhandahålla strategier baserade på scenarioanalyser av interaktionen mellan våtmark och hydrologi. En testversion av BSV är färdigutvecklat medan den slutliga versionen är under utveckling och kommer att presenteras och diskuteras vid en avslutande workshop i september 2024.

BSV har även utvecklats för ekosystemtjänster kopplade till näringsupptag och flödeskontroll i Tullstorpsån, bland annat baserat på en förbättrad förståelse av den hyporheiska utbytet. Åtgärder för att restaurera vattendrag som är inriktade på att förbättra vattenkvaliteten är särskilt viktiga för föroreningar som härrör från diffusa källor, såsom överskott av näringsämnen från avrinning från jordbruket

(Newcomer Johnson et al., 2016). Särskilt det hyporheiska utbytet har identifierats att ha stor betydelse för näringsomsättningen i vattendrag (Birgand et al., 2007; Gomez-Velez et al., 2015; Jones & Mulholland, 2000). För att förbättra effekterna av restaureringsåtgärder finns det ett behov av specifika designriktlinjer som är baserade på kvantitativ kunskap om de underliggande hydrauliska och biogeo-kemiska processerna. Ett första steg är att karakterisera styrande faktorer för kväveavskiljning, vilket för mindre vattendrag framför allt inkluderar sedimentförhållanden och de processer som styr det hyporheiska utbytet. Detta genomfördes genom en studie som uppskattade den teoretiska potentialen för kväveavskiljning i alla lokala jordbruksbäckar i Sverige med ett fysikaliskt baserat modelramverk (Riml et al. 2024). Modellen understöddes av data på hydrologi och topologi samt tidigare studier på intensiteter för reaktioner viktiga för kvävenedbrytningen, vilket därmed ger en utgångspunkt för att uppskatta de nuvarande förhållandena. Vattendragen som beaktades i studien utgjorde i genomsnitt endast 4 % av den totala längden av ytvattenvägar till kusten, men de många små jordbruksbäckarna utgjorde 34 % av hela bäcknätets längd, dvs. mer än 70 000 km strömmar analyserades i studien.

2.2.4 Främja kunskapsspridning (AP4)

Spridning av kunskap till allmänheten har bland annat skett genom det tidigare beskrivna samarbetet med utbildningscentret Vattenhallen på LTH i projektet Experimentexpressen, där skolbesök till Kävlingsån har arrangerats. Sammanlagt så har 9 olika skolor och 20 klasser deltagit. Förutom att sprida kunskap om hydrologi och ekologi till skolelever så tjänar detta till att utforska hur enkla mätmetoder kan användas för kunskapsinhämtning och miljöengagemang. Insamlade data kan även användas av allmänhet samt i vår modellutveckling.

I samband med presentationen av två av examensarbetena som ingick i projektet under våren 2022 hölls ett informations- och diskussionsmöte på Lunds universitet för medarbetare och medlemmar i referensgruppen.

Under våren 2024 kommer en avslutande workshop att hållas för att sammanställa resultaten och presentera det slutliga beslutsstödverktyget för referensgruppen och berörda institutioner. Workshopen kommer bestå av resultatpresentation, genomgång, och diskussion, följt av en teknisk och praktisk handledning för användning. En teknisk demonstration och genomgång av det QSWAT+ baserade BSV verktyget kommer ingå.

3. Resultat

3.1 Resultat i fallstudier

3.1.1 Fäjemyr

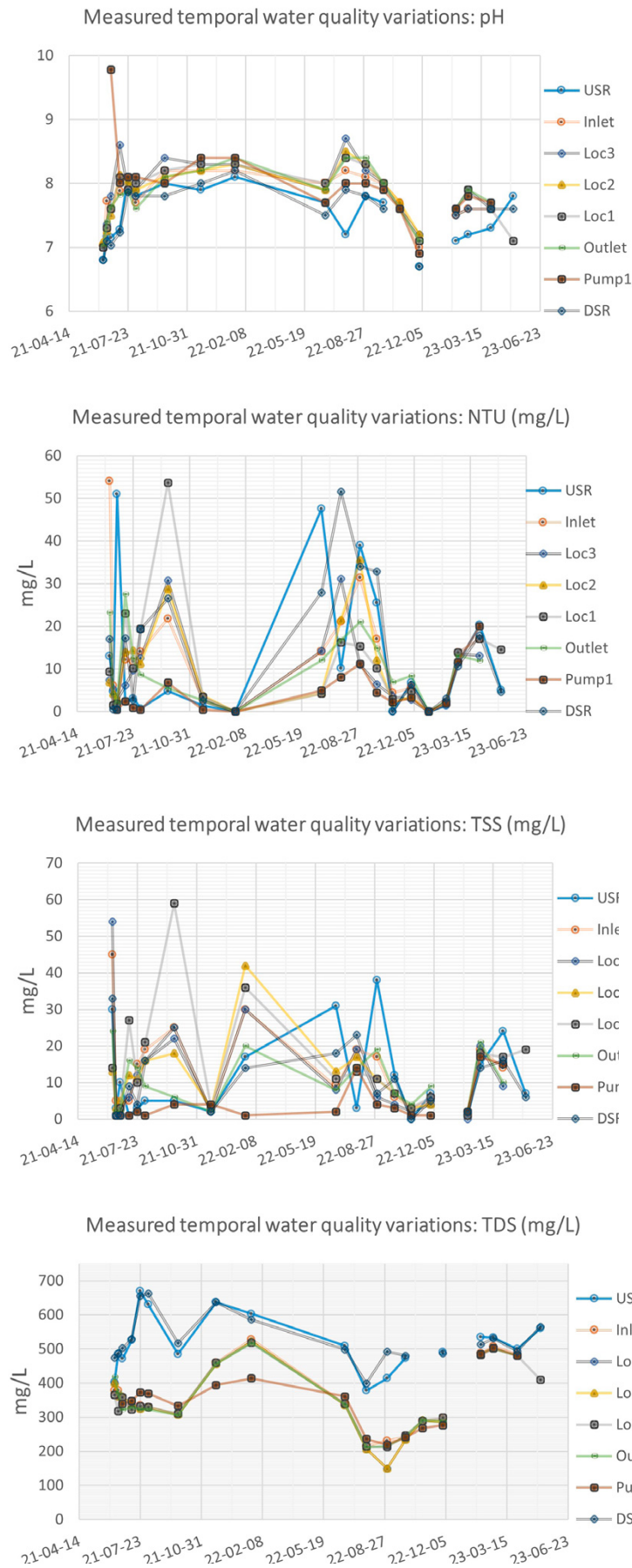
För *Fäjemyr* området har omfattande simuleringar i klimatkamrar utförts. Resultaten är publicerade i vetenskapliga tidskrifter (Salimi et al. 2021; Salimi & Scholz, 2022) och innehåller följande huvudsakliga slutsatser.

Torvmarkernas CO₂ upptagningsfunktion styrs till stor del av funktionella typer. Växtpopulationens proportioner förändras med tiden i klimatförändringen, vilket kan orsaka osäkerhet i ekosystemets respons. Detta, tillsammans med temperatur, var huvuddrivkrafterna när vattnet är nästan lika tillgänglig för de testade våtmarkssystemen. Vidare så spelar förändringar i vegetationssamhällen på torvytan en stor roll i CO₂-flödet i torvmarksekosystem. Effekterna av klimatförändringar visar att vattennivåhantering är nödvändig för RCP 8.5, fördelaktigt för RCP 4.5 (särskilt under torka), och inte nödvändigt för RCP 2.6 och det nuvarande klimatet. Dessutom är det varmaste klimatscenariot (RCP 8.5) kopplat till en högre vattenreningsfunktion för de anlagda våtmarkerna, men en lägre vattenreningsfunktion och en efterföljande försämring av vattenkvaliteten för torvmarkerna, även under vattennivåhantering. Mesokosmer med torvmarker under de andra framtida klimatscenarierna med lägre temperatur (RCP 2,6 och RCP 4,5) har dock inte påverkats nämnvärt, vilket innebär att vattennivåreglering förmodligen kan upprätthålla torvmarkernas vattenreningsfunktion när klimatförändringarna inte är allvarliga.

För övrigt kan vattennivåreglering motverka de negativa effekterna av högre temperaturer på vattenkvaliteten i torvmarksutflöden under RCP 2,6 och RCP 4,5, men kanske inte under RCP 8,5. Dessutom verkar det som om kvaliteten på utflödet från den anlagda våtmarken har förbättrats med vattennivåhantering, under det varmare klimatscenariot. Det är dock inte säkert om resultaten beror på vattennivåhanteringen eftersom effekten av vattennivåhanteringen inte analyserades separat. Därför rekommenderas en ny utformning av experimentet som möjliggör en jämförelse mellan det reglerade och det oreglerade systemet för att kunna studera effekten av vattennivåreglering på ett mer exakt sätt. Samhället kommer att dra nytta av resultaten från ett sådant experiment, som kommer att avslöja de vattennivåtrösklar vid vilka kvaliteten på utflödena från våtmarker försämras.

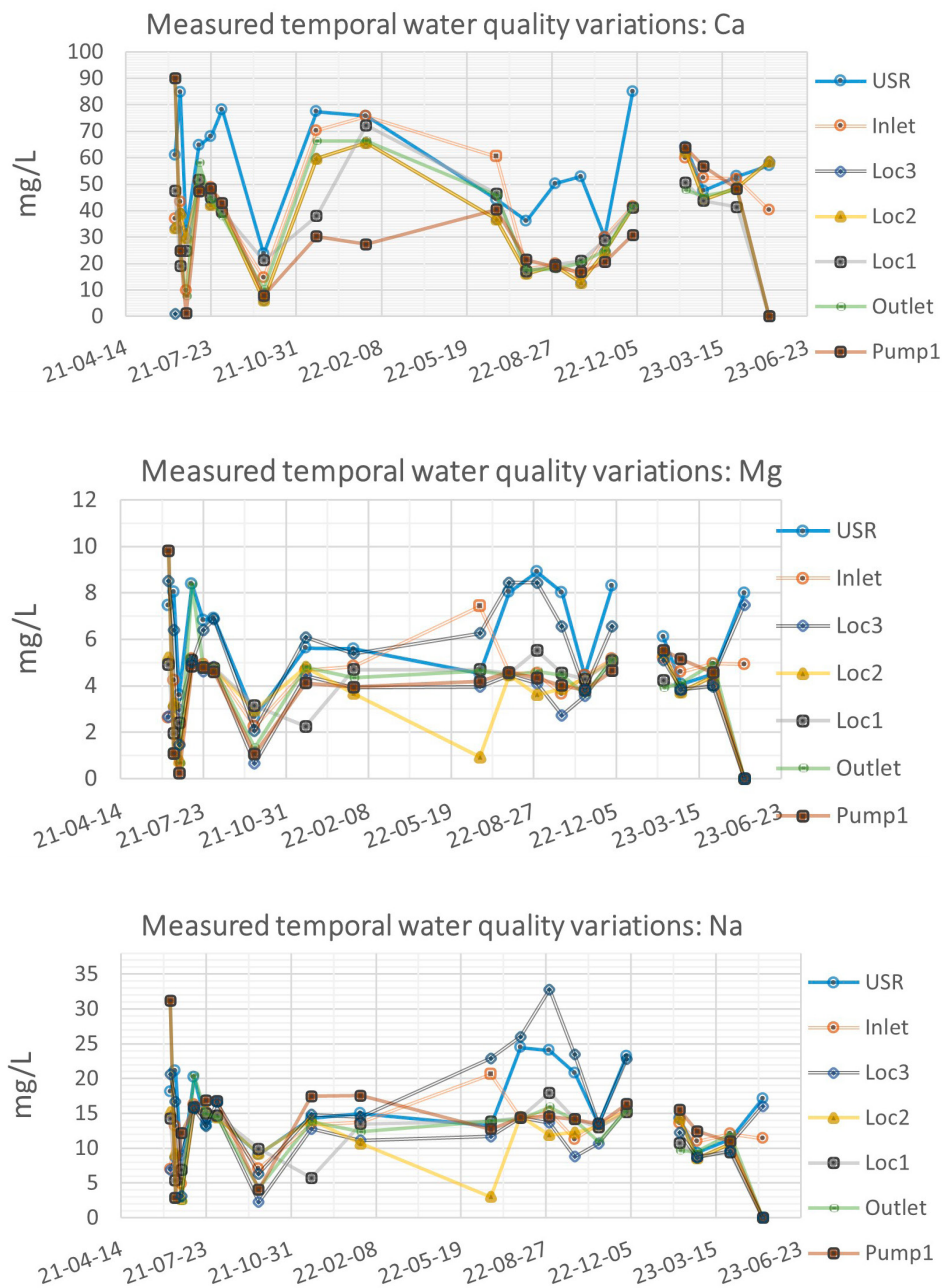
3.1.2 Gårdstånga Nygård

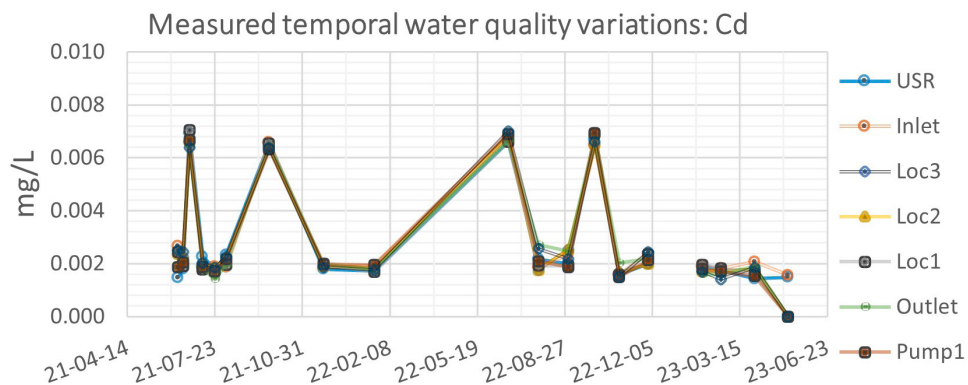
Vattenprover i vattendraget tagna före och efter konstruktionen av en jordbruksdamm jämfördes (Lennklev, 2020, Hansson, 2023). Provtagningsperioden för detta övervakningsprogram startade den 2021-06-11 och avslutades den 2023-06-30, med totalt 19 provtagningar.



Figur 6. Variationer av utvalda, signifikanta vattenkvalitets-element under vattenprov-tagningsperioden (från toppen: pH, turbiditet, TSS, TDS).

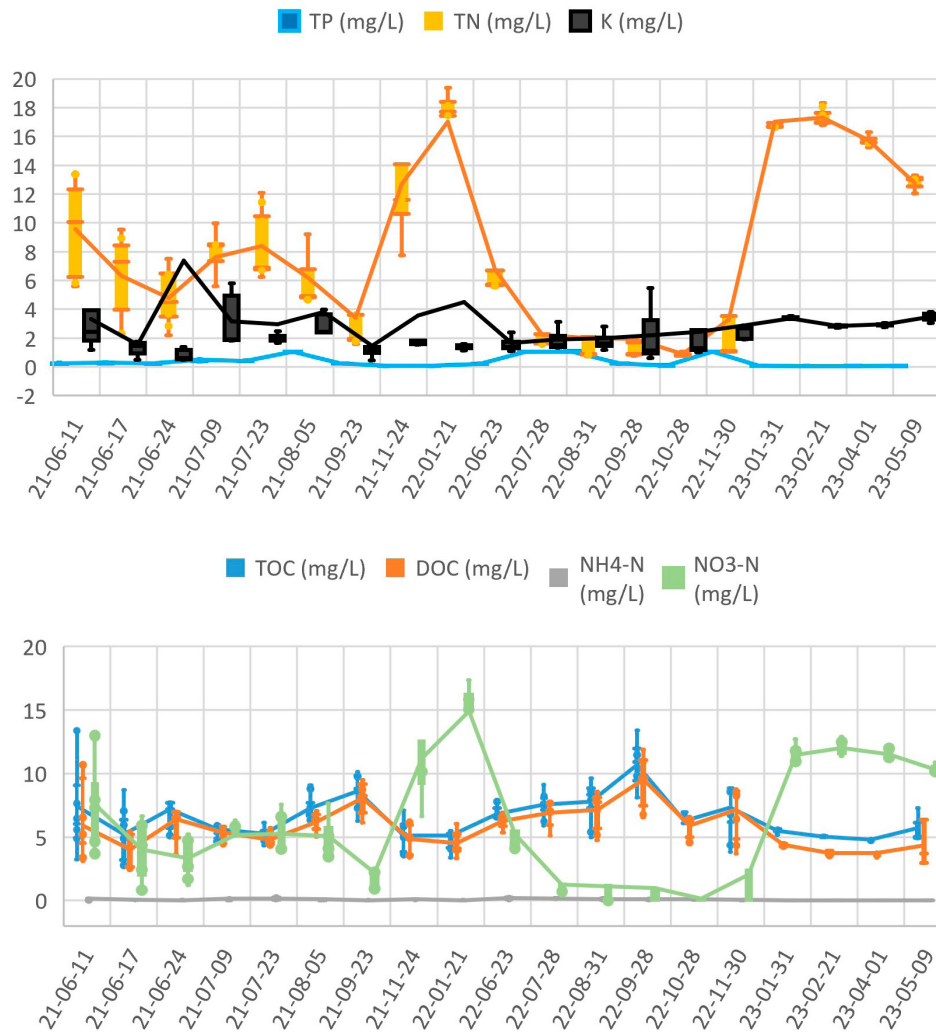
Under perioden har de flesta av de fysiska parametrar som samlats in en mycket stabil koncentrationsnivå med minimala säsongsmässiga och rumsliga variationer. pH och turbiditet uppvisar ett tydligt variationsmönster. pH har ett max-min-medelvärde på 9,78 -- 6,7 -- 7,79, vilket visar en svag tendens till basiskhet. Variationerna i grumlighet är främst relaterade till väderhändelser som nederbörd och vind, samt jordbruksaktiviteter. Resultaten visar också att pH-värdet under sommarsäsongen är högre än under vintersäsongen. För turbiditet är säsongsvariationen inte signifikant, men det finns en tydlig skillnad mellan de tre punkter som ligger nära eller i floden (Inlet, USR och DSR) jämfört med andra provtagningspunkter med mycket större fluktuationer under hela perioden. Dessa variationer visas i *Figur 6*.





Figur 7. Variationer av utvalda, signifikanta vattenkvalitetselement under vattenprovtagningsperioden (från toppen: Ca, Mg, Na och Cd).

För mineralämnena: Al, As, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cr, B, visar analyserna att de antingen ligger under detektionsnivån eller har koncentrationer som i allmänhet ligger under $0,001 \text{ mg L}^{-1}$. Å andra sidan, för Ca, Fe, Mg, Mn, Na, och Cd som är de viktigaste elementen på platsen, presenteras variationsmönstren och trenderna i *Figur 7*. Jämförd med andra tungmetaller, som visar mycket små koncentrationer nära noll, visar Cadmiun (Cd) en något högre halter (upp till $0,007 \text{ mg L}^{-1}$) vilket ligger långt under gränsvärd.



Figur 8. Box-Whisker diagram av utvalda näringsämne under mätperioden (där Q1 samt Q3 percentil tar upp 25% vardera och box tar upp 50%).

För fördelningen och variationerna av biologiska ämnen och näringsämnen visas diagrammen i *Figur 8*, där variationsmönstret för varje parameter är tydligt och den största tidsmässiga variationen finns för K, med ett maximalt värde på upp till 54 mg L^{-1} , medan totalfosfor varierar minst med liten synbar ökning under sommar. För organiskt material visar diagram i figuren att $\text{NO}_3\text{-N}$ varierar kraftigt medan $\text{NH}_4\text{-N}$ uppvisar minst variationer för samma period. TOC och DOC verkar ha liknande variationsmönster med höga korrelationer. Ytterligare analyser behöver dock göras för relationer till aktiviteter så som jordbruk. När det gäller fördelningar och variationer av näringsämnen och andra indikatorer är COD och BOD_5 bland de mest betydelsefulla. För COD noteras en jämn minskande trend både rumsligt från övre delen av strömmen till nedströms och tidsmässigt under provtagningsperioden. Å andra sidan finns det ingen tydlig trend för BOD_5 . Variationsmönstret för de flesta andra parametrar är mindre jämfört med mineraler. Alla värden som uppmätts ligger inom säkerhetsintervallen för dessa indikatorer, dock med en svagt minskande trend rumsligt från övre delen av strömmen till nedströms, samt tidsmässigt under provtagningsperioden.

Från ovan resultat kan en tydlig försämring i turbiditet och totalfosfor konstateras. Värdena för turbiditet ansågs dock tjänliga för naturliga vattensamlingar. Koncentrationen totalfosfor har vid enstaka tillfällen varit mycket höga, men i övrigt har värdena varit acceptabla. Både koncentrationen totalkväve och -fosfor påvisade att produktionsnivån var hög. Resterande vattenkvalitetsparametrar visade ingen påtaglig förändring, alternativ förbättring, sedan innan dammbygget. Vi avser att fortsätta följa förändringen i vattenkvalitet i fallstudien i framtida forskningsprojekt för att undersöka långtidseffekter.

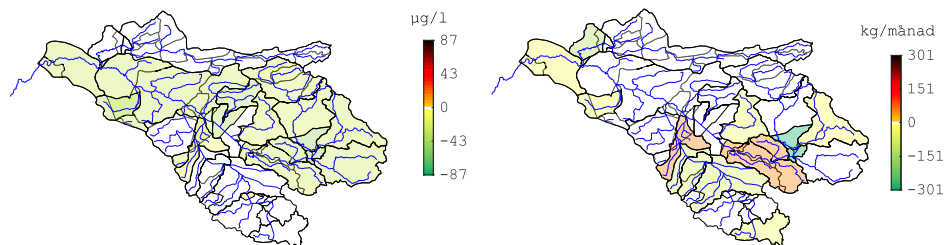
Flödesmätningar i utflödet av bevattningsdammen visade att vatten endast flödade ut ur dammen under våta perioder under höst-vinter-vår, medan under resten av året så fanns inget ytvattenutflöde. Vattenbalansen som ställdes upp för dammen visade att det fanns ett utbyte med grundvattnet, trots att dammens botten utgjordes av lera. Resultaten indikerar att det fanns ett netto grundvattenutflöde under sommaren och ett netto grundvatteninflöde under höst till vår. Detta visar tydligt på svårigheterna att ställa upp en vattenbalans för även en liten väldefinierad yta, vilket kan användas för vidare metodutveckling.

Dammen är dimensionerad till att ge en maximal bevattningsvolym av 60 000 m³ per år. Våra beräkningar utifrån meteorologiska data visar att detta uttag har varit möjligt under säsongerna 2021-2023.

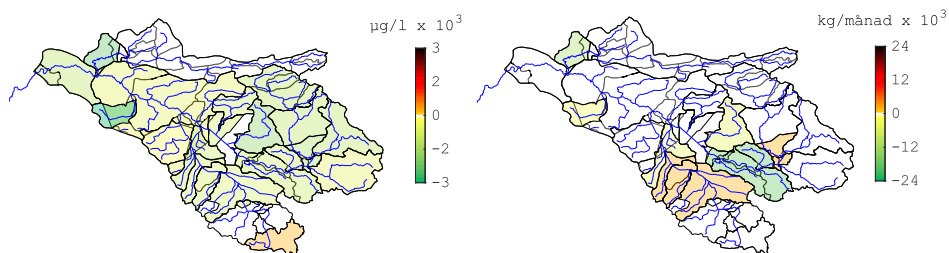
3.1.3 Kävlingeån

VATTENKVALITET

Följande figurer sammanställer resultaten för förändringar i fosfor och kväve i Kävlingeån mellan 1990 och 2020, samt analys av potentiella faktorer bakom förändringarna. För både fosfor och kväve framgår så är det endast i små avskilda uppströmsområden som det har skett ökningarna, medan majoriteten av avrinningsområdet har haft minskningar mellan ca 5–40 µg/l fosfor och 100–2500 µg/l kväve (*Figur 9* och *Figur 10*). För den lokala masstransporten har ett färre antal områden identifierats med signifikanta förändringar, samt en tendens till ökningarna i uppströmsområden.

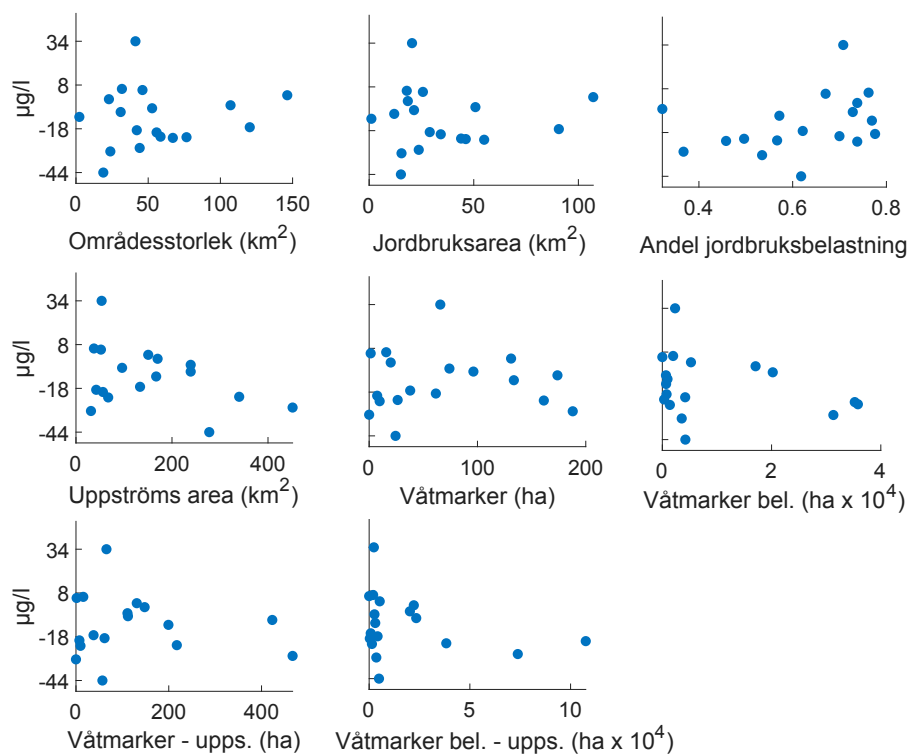


Figur 9. Förändring av fosfor-koncentration och masstransport mellan 1990–2020 inom delavrinningsområden i Kävlingeån (Nilsson, 2021).

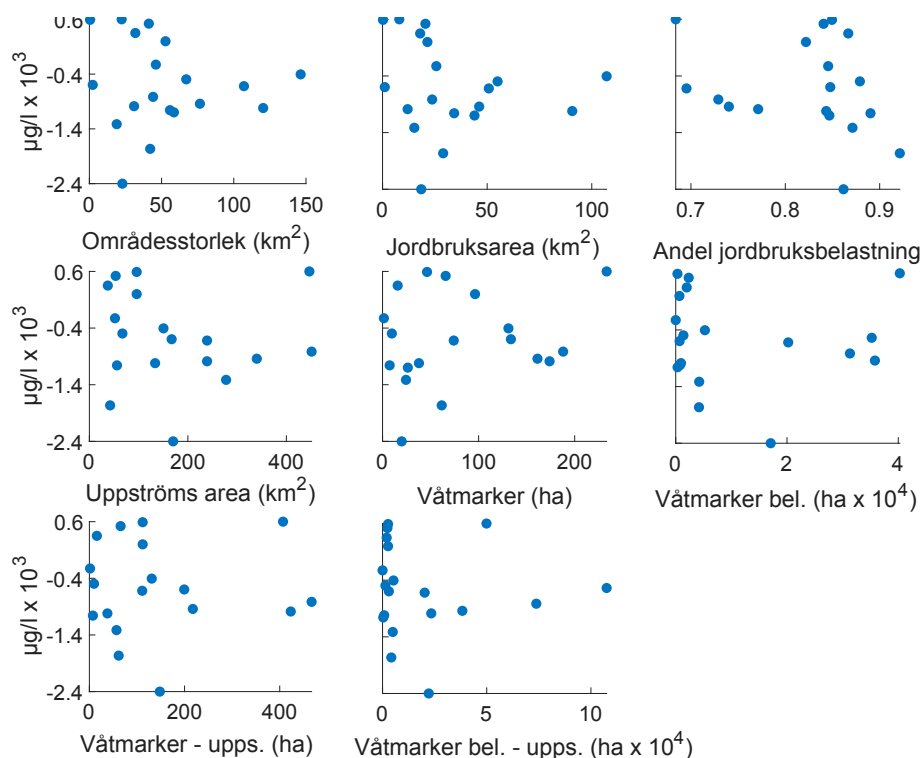


Figur 10. Förändring av kvävekoncentration och masstransport mellan 1990–2020 inom delavrinningsområden i Kävlingeån (Nilsson, 2021).

I Figur 11 och 12 presenteras korrelationer mellan potentiella orsaksvariabler inom landanvändning och förändringen i koncentration för fosfor och kväve.



Figur 11. Samband mellan förändring i fosforkoncentration för 1990–2020 (y-axlar) och avrinningsområdesfaktorer (x-axlar) i Kävlingeån (Nilsson, 2021).



Figur 12. Samband mellan förändring i kvävekoncentration för 1990–2020 (y-axlar) och avrinningsområdesfaktorer (x-axlar) i Kävlingeån (Nilsson, 2021).

Sambandsdiagrammen (*Figur 11* och *Figur 12*) visade att det inte fanns några signifikanta korrelationer mellan de utvärderade landanvändningsvariablerna och förändring i närsaltskoncentrationer. Detta visar vidare att trots tydliga förändringar i närsaltskoncentrationer i flera områden så behöver mer detaljerade data och analys för att kunna utvärdera effekterna av landanvändning, inklusive effekten av det stora antal våtmarker som anlagts i Kävlingeån.

HYDROLOGISK MODELLERING

Hydrologiska modelleringar har utförts i två omgångar – i form av examensarbete – för att förbättra kunskapen om klimatförändringarnas inverkan genom extrema hydroklimatiska risker på avrinningsområdets ekosystem och om översvämningsrisker.

Forskningsarbetet bestod av följande element: 1) Ökad förståelse av nederbörd-avrinning processen i Kävlingeåns avrinningsområde med hjälp av HEC-HMS modellering; 2) modellkalibrering och validering för korrekta förutsägelser; 3) översvämningsfrekvenskurva, detta för att uppskatta översvämningsfrekvens genom kontinuerlig och händelsebaserad hydrologisk modellering; samt 4) klimat-förändrings påverkan för bedömning av hydrologisk respons, inklusive förutsägelse av en betydande ökning av toppflödet.

Arbetet presenterade också resultat från en analys av hypotetiska stormar (hypothetical storm analysis). Denna metod används för att utveckla översvämningsfrekvenskurvor, vilket är viktigt för att förstå och förutsäga sannolikheten för översvämningshändelser vid olika återkomsttider. Denna metod bedöms vara ett bra hjälpmedel till att uppskatta sannolikheten för att översvämningsrisker av olika magnitud inträffar över tid.

Modelleringsanalysen inkluderade en fördjupad uppskattning av hur klimatförändringar kan påverka hydrologiska processer inom Kävlingeåns avrinningsområde. Analysen visar på betydande resultat, bland annat en förväntad ökning av flödestopparna med cirka 24% och 20%. Dessa siffror baseras på prognoser enligt klimatförändringsscenario RCP8.5, som förutsätter en hög koncentration av växthusgaser. De ökade toppflödena jämförs med dagens förhållanden, vilket visar att klimatförändringarna har en betydande inverkan på avrinningsområdets hydrologi. Dessutom diskuteras kalibreringsprocessen, valideringsresultaten och modellutvärderingen utifrån fall med normala, våta och torra år.

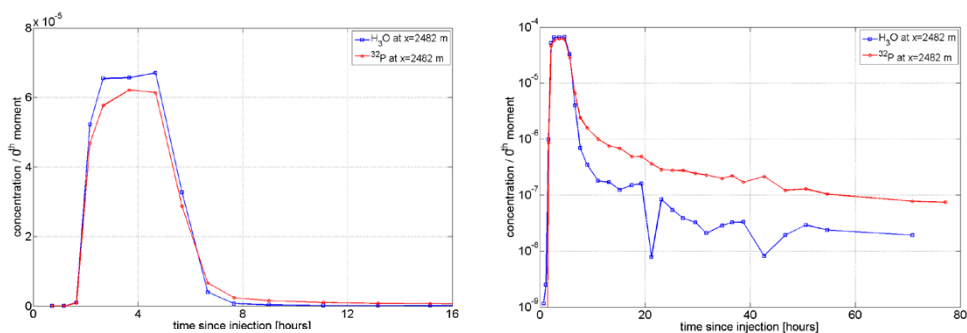
3.1.4 Rönne å

Det ursprungliga målet med denna fallstudie var att undersöka påverkan av ekosystemtjänster – främst översvämning eller torka – efter att tre mindre dammar hade rivits. En hydrologisk modell sattes upp med MIKE HYDRO River och MIKE SHE för att simulera den hydrologiska responsen för hela avrinningsområde med korta tidssteg. Modellsimuleringar gjordes för tre scenarier: 1) med fördämningarna; 2) utan fördämningarna; samt 3) med ytterligare strukturer för att identifiera direkta potentiella negativa konsekvenser. En fältundersökning genomfördes också för att validera vattendragsektioner och geomorfologi för att underlätta och säkerställa modellsimuleringar för direkta konsekvensanalyser av dammutrivningar. Slutsatsen från denna modellstudie var att det inte finns direkta hot av att risken för översvämningar eller torka skulle öka som en konsekvens av dammutrivningarna på kort sikt. Osäkerhet med denna slutsats är dock stor då detaljerade kalibreringar och validering inte kunde genomföras på grund av svårigheter med bakgrundsdata samt fältdata.

För fallanalysen i Helge å visade resultaten från habitatmodellen att generellt sett var högre flöde bättre, då tillgängligt vattenområde för fiskbeståndet ökade hela vägen upp till det högsta flödesscenariot på 6 m³/s. Den största fördelen för habitatområdet genom att öka flödet observerades upp till 2 m³/s, och avtog därefter, särskilt för habitat av ”god” kvalitet. Sammanfattningsvis visade resultaten att det finns stor potential för förbättringar av fiskförhållandena genom införandet av ett krav på minimitappning genom den idag torrlagda sträckan i framtida drifttillstånd för vattenkraftverket.

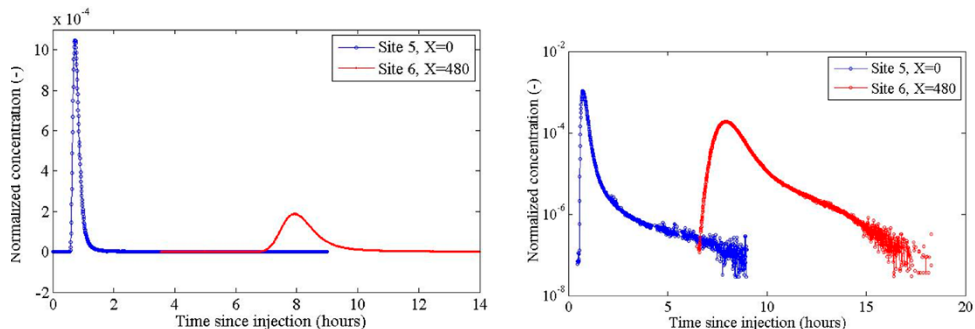
3.1.5 Tullstorpsån

Från analys av det hyporheiska flödet i Tullstorpsån så visar *Figur 13* utvärderade genombrottskurvor för vatten (blåa kurvor) och fosfat (röda kurvor). Genom direkt observation av kurvornas utseende framgår att fosfat kvarhålls i vattendraget under längre tid än en genomsnittlig vattenmolekyl. Detta tar sig uttryck i en sänkning av genombrottskurvans topp och en ökning av svansens nivå som speglar en långsam uttvättning av zoner som fosfatet har ackumulerats i. Observera att de observerade koncentrationerna är normaliserade med deras totala observerade massa på plats S1 för att förbättra jämförelsen mellan de två ämnena i *Figur 13*.



Figur 13. Jämförelse av koncentrationer av $^3\text{H}_2\text{O}$ (blå linje) och $^{32}\text{PO}_4$ (röd linje) vid provtagningsstation S4. För att illustrera effekten av sorption i den hyporheiska zonen på både toppen och svansen av genombrottskurvorna visas koncentrationen med både en linjär (vänster panel) och en logaritmisk koncentrationsaxel (höger panel).

Fältmätningar utfördes i 10 små svenska vattendrag med varierande egenskaper, vilket omfattade spårämnestester med Rhodamine WT (RWT) (Figur 14), topografiska undersökningar och mätningar av hydraulisk konduktivitet i vattendragens sediment (Morén et al., 2021a). Sträckorna, vars längd varierade mellan cirka 200–500 m längs bäckens thalweg, var belägna i fem olika avrinningsområden. Avrinningsområdena omfattade både jordbruksområden och barr- och blandskogar, och vattendragen hade olika geomorfologiska egenskaper, definierade genom den genomsnittliga lutningen, sinusiteten och kvalitativa bedömningar av bäddmaterialet.



Figur 14. Genombrottskurvor för Rhodamine WT med linjär (vänster panel) och Logaritmisk koncentrationsaxel (höger panel) i Tullstorpsån.

Dessa studier av den hyporheiska zonen, som inkluderade spårämnesdata från 10 bäcksträckor (Morén et al., 2021a), låg till underlag för en generalisering av resultat till de fem avrinningsområden; Tullstorpsån, Bodalsån, Krycklan, Forsmark och Sävaån (Morén et al., 2023). Därför beräknades hyporheiska flöden i dessa fem vattendragssystem baserat på fysikaliska principer som kors-validerats mot spårämnesdata (Morén et al., 2021a). Vidare simulerades det regionala grundvattenflödet med COMSOL Multiphysics och superponerades på det lokala strömfältet för att erhålla simulerade data på flödesfältet i de hyporheiska zonerna. Resultatet av generaliserade parametrar, hyporheisk uppehållstid och utbytes-intensitet, jämfördes därefter med oberoende geomorfologiska och hydroklimatologiska egenskaper (Morén et al. 2023).

3.2 Databaser

Genom projekts gång så har olika databaser använts för genomförande av forskningsmål. Dessa databaser beskrivs i de följande sektionerna, följt av en analys av dataanvändning i projektet samt rekommendationer för dataanvändning för framtida forskningsprojekt inom våtmarkers ekosystemtjänster.

Resultaten från fallstudien i Tullstorpsån publicerades som en vetenskaplig artikel (Morén et al., 2021a) och en databas skapades med resultat av spårämnets genombrottskurvor, samt parametrar som beskriver vattendragen, såsom bäddens hydrauliska konduktivitet, longitudinell topologi och andra variabler. Databasen har använts också för att bygga upp och parameterisera modellerna, dvs legat till grund för de verktyg och modeller samt analyser som utvecklats i projektet. Data finns tillgängliga i artikeln av Morén et al. (2021a) och på en hydroshare-länk (Morén, 2021): <https://www.hydroshare.org/resource/af43ffe74d-1545f5a918a8af6031c33d/>

Den regionala grundvattenflödesmodelleringen med COMSOL Multiphysics har genomförts för fallstudien i Tullstorpsån, samt även i Bodalsån, Krycklan, Forsmark, och Sävaån. De specifika data- och modellinställningarna placerades i en databas som kan nås på denna OneDrive-länk: Groundwater data from five watersheds¹

Data för de simulerade hyporheiska flödena som använder superpositioneringsprinciperna kan hittas på denna OneDrive-länk:

Integrated groundwater-surface water interaction data for five watersheds²

För Kävlingeåns avrinningsområde, vilket inkluderar Gårdstånga Nygård, har en databas sammanställts med data på landanvändning, genomförda restaureringsåtgärder, utsläpp till vatten från punktkällor och enskilda avlopp, vattenkvalitet från SLU:s övervakningsprogram, mätningar på vattenkvalitet och biodiversitet från Experimentexpressen, och vattenkvalitets- och vattennivåmätningar från Gårdstånga Nygård. Databasen finns tillgänglig via Lunds universitets Box-tjänst via denna länk:

Databas för Kävlingeåns avrinningsområde³.

3.3 Bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster

3.3.1 Kvantifiering av våtmarkers ekosystemtjänster

SAMMANSTÄLLNING

Flera av EcoDivers projektaktiviteter har genererat resultat kopplade till bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster. *Tabell 3* sammanfattar de viktigaste resultaten i det avseendet med koppling till ekosystemtjänstbegrepp och kategorier enligt rapport 6797 från Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2017).

¹ https://kth-my.sharepoint.com/personal/worman_ug_kth_se/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fworman%5Fug%5Fkth%5Fse%2FDocuments%2FGroundwater%20data%20from%20five%20watersheds&ga=1

² https://kth-my.sharepoint.com/personal/worman_ug_kth_se/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fworman%5Fug%5Fkth%5Fse%2FDocuments%2FIntegrated%20groundwater%20surface%20water%20interaction%20data%20for%20five%20watersheds&ga=1

³ <https://lu.box.com/s/qu2ayu5o2hkurc2eilw8wao2wob0fybo>

Tabell 3. Sammanställningen av resultat för bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster. Siffrorna 1-3 för "Forskningsmål" visar kopplingar till projektets tre forskningsfrågor, vilka finns beskrivna i mer detalj i Tabell 1.

Forskningsmål - Delmål	Analys	Resultat för våtmarkers ekosystemtjänster	Ekosystemtjänst enligt NV rapport 6797
Hydrologisk modellering - Hyporheiskt flöde ^{1,2}	Hydromekanisk modellering på avrinningsområdesnivå och vattendragsnivå Modellering av transport av lösta ämnen Regressionsanalys för modellutvärdering Mjukvara: COMSOL Multiphysics	Demonstration av hur det hyporheiska flöden filtrerar strömmande vattendrag från närsalter. Modellutveckling som beskriver det hyporheiska flödet har utvecklats. Identifiering av optimala flöden för denitrifikation, baserat på en balans mellan transport- och reaktionsbegränsning Uppskattning av jordbruksbäckars bidrag till kväveavskiljning Bedömning av erforderlig restaurering av vattendrag för att uppnå miljömål med avseende på kvävekoncentrationer	Nr 38. Reglering av färskvattenkemin genom levande processer (vattenrening)
Hydrologisk modellering - Hydromorfologiska effekter ^{1,2}	Hydrologisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: MIKE HYDRO River	Modelleringsresultat visade att utträtade vattendrag kopplade till dikningsföretag minskar vattennivån i Kävlingeån, till följd av ökad genomströmning i området.	Nr 28. Naturlig vattenreglering (inklusive översvämningsskontroll)
Hydrologisk modellering - Optimalt flöde för fiskbestånd ^{1,2}	Hydraulisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: HEC-RAS	Uppskattat tillgängligt område för fiskebestånd i flödesprofilen bedöms öka kontinuerligt med ökade flöden i Helge å Ökning av tillgängligt område för fiskebestånd är störst upp till 2 m ³ /s, varpå ökningen sedan avtar	Nr 58. Upprätthållande av livsmiljöer
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Förändring av närsaltskoncentrationer i Skåne ¹	GIS-analys för sammanställning av data på kartor Korrelationsanalys Statistik analys för sammanställning av resultat	Avrinningsområden i Kävlingeån och Tullstorpsån visar övergripande minskningar av fosfor- och kvävekoncentrationer för perioden 1990–2020. Orsaksanalysen visar en koppling i enstaka delavrinningsområden mellan storlek på delavrinningsområden och storlek på anlagda våtmarker mot minskad masstransport av närsalter	Nr 38. Reglering av färskvattenkemin genom levande processer (vattenrening)
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Påverkan på vattenkvalitet från jordbruksområde ¹	Vattenbalansmodell Statistisk analys	Resultaten visar att det inte sker någon märkbar påverkan från jordbruksområdet Gårdstånga Nygård på vattenkvaliteten i recipienten.	Nr 38. Reglering av färskvattenkemin genom levande processer (vattenrening)
Våtmarker för bevattning¹	Vattenbalansmodell Statistisk analys	Värdena för turbiditet och totalfosfor har ökat sedan anläggning av bevattningsdammen, men de förhöjda värdena för turbiditet är tjänliga för naturliga vattensamlingar. Övriga vattenkvalitetsparametrar (pH, kväve, löst syre, elektrisk konduktivitet) visar ingen påtaglig ökning, alternativt minskning, till följd av bevattningsdammen.	Nr 9. Ytvatten som insatsvara; 38. Reglering av färskvattenkemin genom levande processer (vattenrening)

Forskningsmål - Delmål	Analys	Resultat för våtmarkers ekosystemtjänster	Ekosystemtjänst enligt NV rapport 6797
Våtmarker för klimatmitigering ^{1,3}	Klimatkamrar Korrelationsanalys	Utvärderade strategier för vattennivåhantering påverkar betydligt vattenkvaliteten i torvmark, särskilt för att minska ammonium och biologiskt syrekrav, men mindre för fosfor. Förändringar i vegetationssamhällen på torvytan spelade en stor roll i CO ₂ -flödet i torvmarksekosystem; Vattennivåhantering är nödvändig för RCP 8.5, som är fördelaktigt för RCP 4.5 (särskilt under torka) och inte nödvändigt för RCP 2.6 och det nuvarande klimatet	Nr 40. Reglering av atmosfärens kemiska sammansättning (Kolbindning); Nr 41. Reglering av temperatur och luftfuktighet

Dessa resultat för bedömning av ekosystemtjänster från våtmarker kan grupperas i följande teman, vilka belyser komplexiteten i våtmarkers ekosystemtjänster, koppling till de använda metoderna, och möjligheter för vidareutveckling.

- **Hydrologiska processer** – förståelse för hur hyporheiska flöden styr vattendragens flöden genom ytnära grundvatten och därmed filtrerar vattnet från närsalter som exponeras i en bioreaktiv zon i bottensedimentet. Unxersökningen har omfattat att bedöma hur en förändrad morfologi påverkar flöden och därmed hur detta påverkar reningseffekten.
- **Näringscyklar och föroreningsminskning** – identifiering av optimala flöden för näringsavskiljning samt trender i närsaltskoncentrationer med potentiella orsakssamband, inklusive våtmarker
- **Restaureringsbehov och förvaltning** – uppskattning av erforderlig restaurering av vattendrag för att uppnå miljömål med avseende på kvävekoncentrationer, bedömning av hur jordbruksområden påverkar vattenkvalitet, och vattennivåhantering i torvmark för ekosystemtjänster, t.ex. ammonium- och fosforreducering
- **Biodiversitet** – samband mellan flödesförhållanden och potential för fiskebestånd, samt hantering av torvmarker upptag av koldioxid för klimatmitigering
- **Klimatanpassning** – effekter av förvaltningsstrategier för torvmarkers ekosystemtjänster under klimatscenarier, vilket visar hur strategier behöver anpassas till klimatförhållanden

HYPORHEISKT FLÖDE OCH KVÄVEAVSKILJNING

Viktiga ekosystemtjänster i vattendrag har att göra med att erbjuda dämpning av översvämningar, förbättra habitatmiljöer och minska närsalttransporter från jordbruksområden (Newcomer Johnson et al., 2016; Morén et al., 2017). De flesta jordbruksområden i världen har genomgått omfattande dräneringsarbeten och har idag betydligt snabbare hydrologiska responser av betydelse både för översvämningar (Åkesson et al., 2012) och vattenkvalité (Ward et al., 2001; Wohl et al., 2015). Restaurering av vattendragets topologi (Birgand et al., 2007; Benett et al., 2013 och den hyporeiska zonens funktion (Boano et al., 2014) har identifierats som nyckelfaktorer för en målinriktad åtgärdsstrategi. Nyligen visade till exempel Riml et al. (2024) på potentialen i riktade åtgärder i små vattendrag (främst dräneringsdiken) i jordbruksområden för att reducera exporten av kväve till Östersjön. Som

ett underlag för dessa målinriktade, kvantitativa dimensioneringarna av åtgärder har en modelluppsättning utvecklats. Resultatet av modellutvecklingen för det hyporheiska utbytet (Wörman et al., 2002; Riml och Wörman, 2011; Morén et al., 2017, 2021a och 2023) är att den relativa massåtervinningen B vid slutet av en vattendraglängd X (m) kan uttryckas på följande sätt:

$$B = \exp\left(-\frac{X}{u}(R_{MC} + R_{HZ})\right) \quad (\text{Ekv. 1})$$

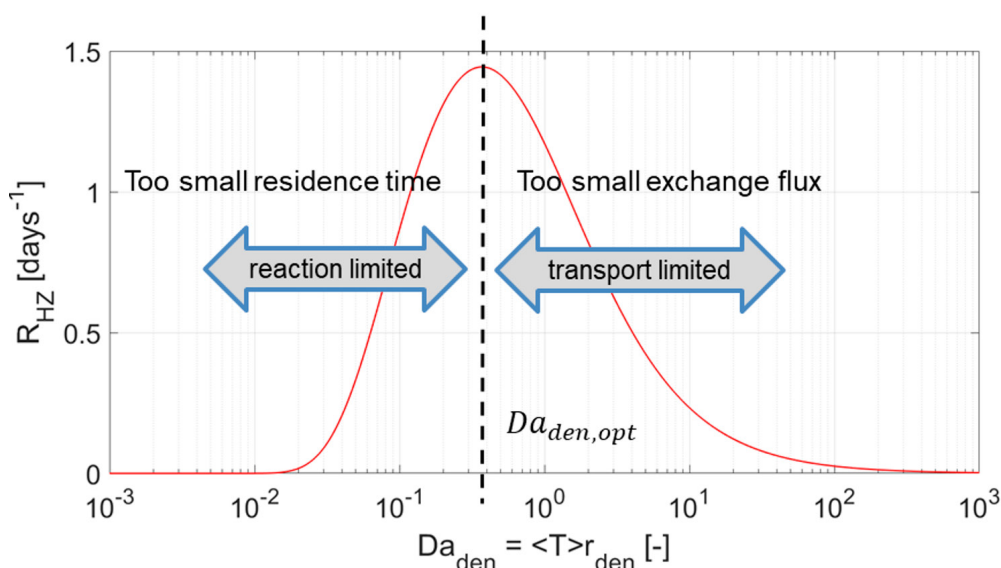
där u [m s⁻¹] är flödehastigheten, R_{MC} [s⁻¹] och R_{HZ} [s⁻¹] är första ordningens reaktionskoefficienter på grund av denitrifikation i strömkanalen respektive i den hyporheiska zonen. Som framhålls av Ekv. (1) är den relativa massåtervinningen en funktion av vattnets uppehållstid (X/u) och systemets reaktionshastighet i både strömkanalen och i den hyporheiska zonen, definierad som $R_{\text{sys}} = R_{MC} + R_{HZ}$

Många undersökningar har visat att små jordbruksbäckar ofta består av ett övre biologiskt aktivt lager och organiskt rikt skikt som har en väsentligt annorlunda hydraulisk konduktivitet jämfört med djupare mark (Wörman et al., 2002; Riml et al., 2013; Morén et al., 2019). Genom att modellmässigt anta en djupbegränsning av den hyporheiska zonen kan det hyporheiska djupet, ε [m], härledas i uttrycket för R_{HZ} och ersättas med WT/2, där W = genomsnittlig utbyteshastighet (m/s) och T = uppehållstid i den hyporheiska zonen (s). Man kan visa att reaktionsfaktorn R_{HZ} kan skrivas på följande sätt (Morén et al., 2018):

$$R_{HZ} = \varepsilon \frac{P r_{den} \exp[-\tau_{oxy}/\langle T \rangle]}{A (1 + r_{den} \langle T \rangle)} \quad (\text{Ekv. 2})$$

Där P [m] är våt perimeter och A [m²] är vattendragets tvärsnittsarea. Dessutom betecknar r_{den} [s⁻¹] denitrifikationshastigheten längs en hyporheisk väg medan τ_{oxy} [s] anger tiden för färden längs en hyporheisk väg varefter syret är förbrukat i en sådan grad att denitrifikationen blir signifikant.

Modellen har i flera avseenden korsvaliderats mot spårämnesdata, oberoende mätningar av vattendragets egenskaper och oberoende modellering. Resultaten visar intressant nog att den finns ett optimalt så kallat Damkhölers tal ($T r_{den}$) för vattendraget då reaktionsfaktorn för denitrifikation R_{HZ} maximeras (Figur 15). Detta har betydelse för implementering av åtgärder som syftar till att reducera kväveexporten från jordbruksområden. Vattendragen kan vara transportbegränsade eller reaktionsbegränsade, vilket leder till att implementerade åtgärder som syftar till att reducera kväveexporten kräver att förändringar i parametrarna T och r_{den} ökar reaktionsfaktorn för denitrifikation i den hyporheiska zonen, dvs en utvärdering av vattendragets Damkhölers tal ger en direkt indikation på vilka typer av åtgärder som är lämpliga. Retentionstiden T i den hyporheiska zonen kan t.ex. ökas genom att förlänga våglängden i vattendragets trycknoder över botten, minska tryckvariationen och därmed minska utbytesintensiteten eller byta botten-substrat mot ett med lägre permeabilitet.



Figur 15. Reaktionsfaktor för denitrifikation i den hyporheiska zonen som funktion av vattendragets Damkhöler-tal.

3.3.2 Metodutveckling för bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster

Tabell 4 beskriver hur data har använts i analys kopplat till EcoDivers forskningsmål, samt vilka metodbegränsningar och förslag på metodutveckling som har identifierats.

Tabell 4. Dataanvändning, analys, och metodbegränsningar för forskningsmål inom projektet. Siffrorna 1-3 för "Forskningsmål" visar kopplingar till projektets tre forskningsfrågor, vilka finns beskrivna i mer detalj i Tabell 1.

Forskningsmål - Delmål	Dataanvändning	Analys	Metodbegränsning
Hydrologisk modellering - Hyporheiskt flöde ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Jordtyper och jorddjup, Marktäckning, Hydraulisk konduktivitet, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Ytvattensprofil, Avrinningspotential (kurvnummer), Avrinning (observerad och modellerad), Näringsämneskoncentration (modellerad), Spårämnesförsök (RWT), Berggrundshöjd, Flöde	Hydromekanisk modellering på avrinningsområdesnivå och vattendragsnivå Modellering av transport av lösta ämnen Regressionsanalys för modellutvärdering Mjukvara: COMSOL Multiphysics och Matlab-modeller	Hög modellkomplexitet vilket påverkar identifiering och tolkning av modellparametrar Hög beroendegrad på data på hydraulisk konduktivitet Osäkerhet i hur hydraulisk konduktivitet förändras med jorddjup Turbulent diffusion och utbyte med stagnerad vattenyta är inte inkluderade Behov av större dataset från varierade hydrologiska förhållanden för att kunna generalisera resultaten, särskilt över olika rumsliga skalor Behov av högupplöst topografiska data för ökad precision
Hydrologisk modellering - Hydromorfologiska effekter ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Flöde, Vattennivå	Hydrologisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: MIKE Hydro River	Behov av data för batymetri Avsaknad av rumslig variation för Mannings koefficient Avsaknad av flödesdata för mindre vattendrag

Forskningsmål - Delmål	Dataanvändning	Analys	Metodbegränsning
Hydrologisk modellering - Översvämninganalys ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Hydrogeomorfologi, Batymetri, Flöde, Vattennivå	Hydrologisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: HEC-HMS, MIKE Hydro River, MIKE SHE	Avsaknad av rumslig variation i nederbördsdata Behov av sub-daglig nederbördsdata för att analysera effekten av extremregn Osäkerhet i kurvnummer för avrinningsprocesser Avsaknad av rumslig variation för Mannings koefficient Avsaknad av batymetriska data Osäkerhet i framtida landanvändning för att bedöma förhållandena under klimatförändringar
Hydrologisk modellering - Optimalt flöde för fiskbestånd ^{1,2}	Digitala höjdmodeller, Marktäckning, Hydrologiskt nätverk, Batymetri, Flöde	Hydraulisk modellering på avrinningsområdesnivå Mjukvara: HEC-RAS	Osäkerhet i höjdmodeller pga träd-täckning Avsaknad av data på sedimentkvalitet i relation till fiskbestånd Avsaknad av detaljerade kalibreringsdata
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Förändring av närsaltskoncentrationer i Skåne ¹	Näringsämneskoncentration, Vattenutsläpp (punkt- och diffusa), Hydrologiskt nätverk, Markanvändning	GIS-analys för sammanställning av data på kartor Korrelationsanalys Statistik analys för sammanställning av resultat	Vattenkvalitetsmätningar för övervakningsprogram genomförs 1 gång per månad, vilket begränsar pålitligheten i masstransportsanalysen Avsaknad av detaljerade data på landanvändning, särskilt våtmarker, vilket försvårar orsaksanalysen Osäkerhet i uppskattning av diffusa utsläpp från jordbruksområden, vilket försvårar orsaksanalysen
Övervakning av vattenkvalitet och orsaksanalys - Påverkan på vattenkvalitet från jordbruksområde ¹	Vattentemperatur, Vattenkvalitetfysikaliska parametrar, Flöde	Vattenbalansmodell Statistisk analys	Begränsningar i datainsamlingsperiod försvårade analysen av förändringar i data Osäkerhet i användning av grödokoefficient för att uppskatta avdunstning Osäkerhet i väderdata för området, som antogs utifrån närmsta väderstation
Våtmarker för bevattning¹	Nederbörd, Temperatur, Vind, Relativ luftfuktighet, Vattennivåer i dammar, Vattentemperatur, Vattennivåer - fysikaliska parametrar, Flöde, Vattenkvalitet	Vattenbalansmodell Statistisk analys	Begränsningar i antal vattenkvalitetsparametrar försvårade analysen av förändringar i data Osäkerhet i variation för vattenkvalitetsmätningar försvårar analys av masstransport
Våtmarker för klimatmitigering^{1,3}	Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Klimatprojektioner, Avdunstning, Vattennivåer, Biokemiska parametrar, Fysikaliska parametrar	Klimatkamrar Korrelationsanalys	Osäkerhet i klimatprojektioner för fallstudie Osäkerhet i generalisering av resultat från labb-skala till landskappsskala
Beslutsstödsverktyg²	Nederbörd, Temperatur, Relativ luftfuktighet, Markanvändning, Digitala höjdmodeller, Hydrologiskt nätverk, Flöde, Vattennivåer	Hydrologisk modellering Mjukvara: QSWAT+	Lokaliseringsfel för infrastruktur pga låg precision i indata Användning av standardvärden för höjddata och hydrologiska responsheter, pga avsaknad av mätdata Låg precision i indata för att undvika lång processeringstid

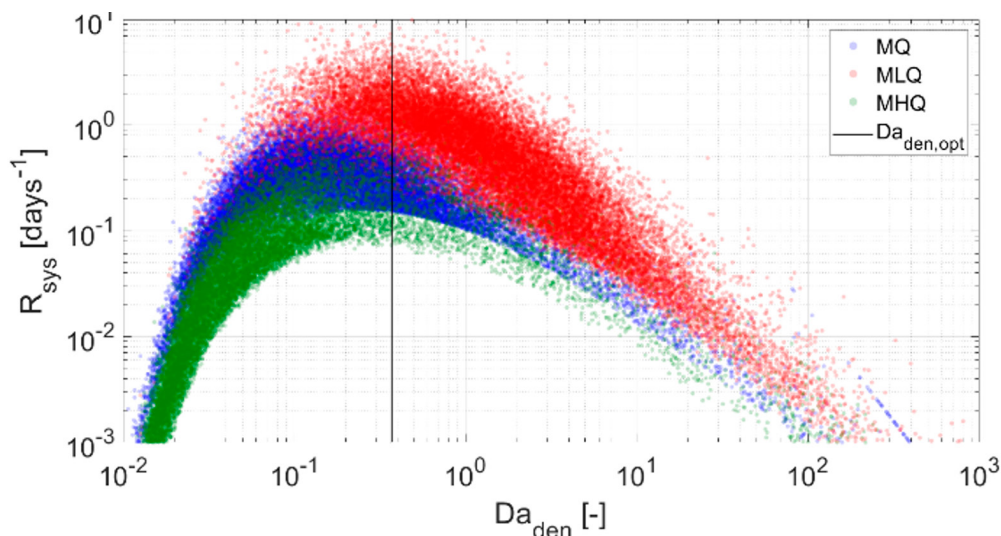
Utifrån de punkter för metodbegränsningar som identifierats inom projektaktiviteterna kan följande övergripande teman identifieras för vidare metodutveckling:

- **Datakvalitet och tillgänglighet** – t.ex. batymetri, detaljerade höjddata, hydraulisk konduktivitet, och sedimentkvalitet, samt högupplösta data på nederbörd, flöden, och vattenkvalitetsparametrar, inklusive tillhörande landanvändningsprocesser.
- **Modellering** – främst kopplat till hög komplexitet och behov av indata, men även hur dynamiska förhållanden ska representeras och hur generalisering över skalor kan möjliggöras utifrån lokalspecifika resultat. Hög modellkomplexitet för hydrologiska processer ökar samtidigt behovet av data för kalibrering.
- **Förutsägelseosäkerheter** – hög osäkerhet i klimatförändringar på regionala skala och mindre, samt framtida landanvändning och teknologi med koppling till hydrologiska processer

3.4 Beslutsstödsverktyg för våtmarkshantering

Modellutvecklingen för kvantifiering av ekosystemtjänster rörande hyporheiskt flöde och kväveavskiljning (se sektion 3.3.1 och Ekvation 1 och 2) användes i studien för att bedöma den teoretiska potentialen för kväveavskiljning för alla lokala jordbruksbäckar i Sverige. Resultaten visade att jordbruksbäckar spelar en viktig roll för att begränsa kvävekoncentrationer och därmed minska exporten av kväve till nedströms recipienter (Riml et al. 2024). En nyckelprocess för detta kväveavlägsnande är hyporheisk denitrifikation, som i nuläget uppskattades att ta bort cirka 13,1 % av jordbrukets kvävelast till de bedömda bäckarna under medelflödesförhållanden. På grund av den starka kontrollen av vattenflödet i vattendraget på de hyporheiska processerna, uppskattades att detta värde kan vara både avsevärt högre (37,6 % under lågflödesförhållanden) och lägre (0,1 % under högflödesförhållanden), vilket lyfter fram den starka inneboende dynamiken i N-transport i ytvatten.

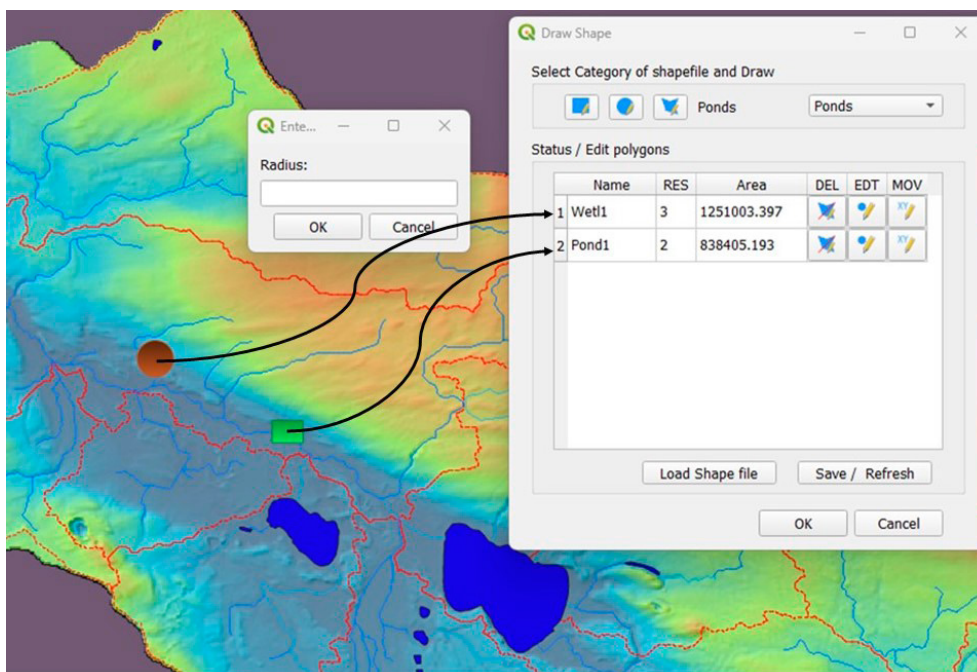
Att förstå processerna och villkoren som begränsar hyporheisk denitrifikation är grundläggande för att bedöma nuläget, men kanske ännu viktigare för att förstå hur restaureringsåtgärder ska designas för att skapa förhållanden som ökar kväveretentionen. Damköhler-talet, definierat som förhållandet mellan tidsskalorna för transporttiden och reaktionstiden i den hyporheiska zonen, är en nyckelgenskap för att utvärdera hyporheisk kväveavskiljning. Den nationella bedömningen (se *Figur 16*) uppvisade ett systematiskt mönster för de undersökta lokala jordbruksbäckarna, där en stor majoritet av sträckorna har reaktionsbegränsade förhållanden under medel- och högflödesförhållanden, ett resultat som tyder på otillräckliga hyporheiska transporttider jämfört med tidsskalorna av denitrifiering. Under låga flöden transformerades en majoritet av systemen och blev transportbegränsade, och avlägsnandet styrdes av den hydrodynamiskt reglerade tillförseln av kväve genom det hyporheiska utbytet.



Figur 16. Reaktionsfaktor för denitrifikation i den hyporheiska zonen som funktion av vattendragets Damköhler-tal för alla jordbruksbäckar definierade i Riml et al. (2024). Det optimala förhållandet, givet de använda reaktionsintensiteterna, är vid $Da_{den} = 0,37$ (streckade linjen), indikerar vad som begränsar kvävenedbrytningen och indirekt hur åtgärder ska designas för att öka reaktionshastigheten R_{Hz} (jämför med Figur 15).

Även om resultaten indikerar på att hyporheisk restaurering har en stor potential att öka kväveavskiljningen, visade både denna och andra studier (t.ex. Azinheira et al., 2014; Hester et al., 2016; Calfe et al., 2022) (i) att långa strömsträckor måste återställas för att nå en kväveavskiljning som är i nivå med miljömålen och (ii) att trots att teoretiska modeller för att beskriva avskiljningen existerar (t.ex. Ekv. 1) så finns svårigheter att bestämma den optimala restaureringsdesignen, inklusive längden av vattendraget som behöver återställas, på grund av en väsentlig spatiotemporal variation i lokala förhållanden och i de många processer som styr den hyporheiska funktionen. Det finns alltså ett stort behov av rumsligt differentierade restaureringsstrategier som utnyttjar områden med hög kapacitet för specifika restaureringsåtgärder, som förmodligen är mer kostnadseffektiva än enhetliga åtgärder i alla vattendrag (Refsgaard et al., 2019). Ett väsentligt steg för att tillgodose detta behov och för att minska osäkerheten i uppskattningarna av kväveavskiljning är att utveckla kunskap om de lokala miljöegenskaperna och platsspecifika processer som kontrollerar hyporheiskt utbyte och den efterföljande denitrifikationen i den hyporheiska zonen. Kalibreringen av modellparametrar mot platsspecifika observationer behövs med största sannolikhet för att bestämma lämplig restaureringsdesign i ett specifikt vattendrag. Omgivande grundvattenflöden (Azizian et al., 2017; Mojarrad et al., 2019), sedimentets hydrauliska konduktiviteter (Ward et al., 2011; Earon et al., 2020), bottenpografier (Stonedahl et al., 2012), hydrauliska gradienter (Morén et al., 2017) och hyporheiska reaktionshastigheter och redoxförhållanden (Zarnetzke et al., 2011) har alla visat sig vara viktiga egenskaper för att bedöma hyporheiska uppehållstider och Damköhler-tal. Sålunda, kan det vara nödvändigt att ta hänsyn till alla dessa lokala egenskaper när man utformar restaureringsåtgärder som syftar till att modifiera Da -talet och förbättra N -avlägsnandet i ett specifikt vattendrag.

Som en praktisk del av utveckling av ett beslutsstödsverktyg (BSV) inom EcoDiver, så har en modell utvecklats med QSWAT+. BSV verktyget behåller alla funktioner i QSWAT+, men också med egenutvecklade extra funktioner för scenarioanalys för fyra olika infrastrukturer för hela avrinningsområde: reservoarer, sjöar, dammar, och våtmarker, beroende på hur deras hydrologiska och hydrauliska förhållande med omgivning ser ut. Varje funktion kan testas med den inbyggda QSWAT+ modellen med särskilda parametertabeller samt beslutlogik eller scenario bestämda av användaren. Den unika fördelen med vårt BSV-system är att varje funktion som läggs till i avrinningsområdet integreras i systemet med avgränsning, vilket kan användas för jämförande simuleringar på alla detaljer som rör vattenbalans, hydrologisk respons, risker, markförhållande och ämnestransport för hela avrinningsområde. *Figur 17* visar hur praktiska funktioner i BSV kan användas för att lägga till, eller editera, reservoarer, sjöar, våtmarker eller isolerade dammar.



Figur 17. Funktioner i BSV-system för att lägga till, eller editera, reservoar, sjöar, våtmarker samt isolerade dammar.

För varje scenarioanalys med förändrade hydrologiska förhållande i avrinningsområde, kan en ny simulering med den inbyggda hydrologiska modellen genomföras, på så sätt kan man ta fram ett antal parametrar eller områdets element i frågan kvantifieras och jämföras med tidigare scenarier. Denna jämförelse kan därför, på ett relativt enkelt sätt, kvantifiera och ge svar på konsekvenser naturens (avrinningsområdets) respons på en eller flera specifika ändringar i området. I *Tabell 5* anges dem parametrar eller element som verktyget kan kvantifiera för varje vattendrag, sjö, våtmark eller reservoar.

Tabell 5. Parametrar och element som kan kvantifieras av BSV verktyget.

Kategori	Parametrar/element	
Hydrologi	Avrinning (och flöde i vattendrag)	Nivåer i reservoarer/sjöar
	Markvatten	Flöden under markytan
	Avdunstning	Återfyllnad av akvifer
	Infiltration	Bevattningsefterfrågan
Näringsämnen	Förluster av näringsämnen	Upptag i växter
	Denitrifikation	Efterfrågan på gödselmedel
	Nitrifikation	Upplöst syre
	Förångning	
Föroreningar	Föroreningar Pesticider	Alger
	Bakterier	
Sediment	Sedimentutbyte	Sediment från punktkälla
	Förändring av sediment i vattendrag	Förluster av bekämpningsmedel
Ekologi	Biomassa	Konservativa metaller
	Index för bladytor	Efterfrågan på gödselmedel
	Jord bördighet	CBOD

3.5 Spridning av kunskap

Totalt antal publikationer kopplade till aktiviteter inom EcoDiver är 10 publicerade artiklar, 3 doktorsavhandlingar, 4 examensarbeten, och 3 kandidatarbeten (se kapitel 8 för full beskrivning). Vidare så har samarbetet med skolklasser via Experiment-expressen lett till spridning av grundläggande kunskap om ekologi och hydrologi till elever i årskurser 6–9 i Lunds Kommun, samt nya samarbeten med Vattenhallen på LTH. Under projektet gången har projektets status och utvecklingsarbete presenterats vid 3 årsmöte organiserades av Naturvårdverket.

Ett specialnummer av Tidskriften Vatten dedikerat till våtmarkers ekosystem-tjänster är planerat med utgivning i juni 2024, som kommer att innehålla minst tre nya artiklar relaterade till EcoDiver. Artiklarna kommer handla om dataanvändningen, beslutsstödsystemet, och en syntes av samtliga aktiviteter i EcoDiver, samt identifiering av nya forsknings- och förvaltningsmöjligheter kopplade till dessa.

För beslutsstödsverktyget kommer en slutlig workshop hållas i september 2024, där referensgrupp och berörda institutioner bjuds in för presentation, genomgång, och diskussion av resultat från EcoDiver, följt av en teknisk och praktisk handledning av verktyget.

3.6 Kommunikationsaktiviteter

EcoDiver projekt hade ett antal planerade aktiviteter i form av möte, workshop, konferens samt presentationer på olika nivåer. De planerade aktiviteterna samt status i genomförande listas i *Tabell 6* nedan:

Tabell 6. Planerade samt genomförd kommunikationsaktiviteter inom EcoDiver projektet.

Aktivitet	Web page	Referens-grupp	Seminarier	Konferens	Avhandling	Uppsats	Handböcker etc	Annat
Planerat aktiviteter	Ska bli	Ja, med relevanta intressenter, 6 referensgruppsmöten	1 workshop med intressenter om beslutsstödsverktyget	1 konferens arrangerad		2 nationella och 5 internationella artiklar + en specialutgåva av Journal of Water Management and Research	en databas med historiska och nya data, ett avrinningsområdesbaserat verktyg för beslutsstöd för att underlätta anläggningen av nya våtmarker och för att hjälpa till med optimal placering, utformning och förvaltning av våtmarkssystem.	Offentliga paneldebattmöten med deltagande forskare, referensgrupper och andra intressenter
Genom-förande	Ja	Två möte genomförda, ett planerat 2024	Planerad september 2024	Planerad september 2024	3	10 artiklar och rapporter, specialnummer av Vatten planeras 2024	Ja	Planerad september 2024

Hemsida

En hemsida för projektet har publicerats, <https://www.ecodiver.info/>. På hemsidan finns information om projektet inklusive forskningsresultat, data och publikationer.

Referensgrupp

En referensgrupp bildades i början av projektet. Gruppen bestod till en början av Jens Ratcovich och Lukas Osterling, länsstyrelsen Skåne, Torbjörn Friede, Innovationspartner, Gustaf Ramel, Gårdstånga Nygård, Valentina Zulsdorff, Tomelilla kommun, Ermold Matti, Naturvårdverket. På grund av pandemin har mötena med referensgruppen skett digitalt och med en något lägre frekvens än planerat. I samband med slutseminariet kommer ytterligare ett sista referensgruppsmöte att hållas. Mycket täta kontakter har hållits med vissa medlemmar i referensgruppen, främst Gustaf Ramel på vars markexperiment har utförts.

Workshop/slutseminarium

I projektet planeras ett slutseminarium och en workshop som kommer hållas under en heldag i Lund i september 2024. På förmiddagen kommer deltagande forskare att presentera forskningsresultat och avslutas med en paneldebatt där deltagarna kommer att få ställa frågor till forskare och övriga panellister. På eftermiddagen kommer en workshop att hållas, under denna kommer beslutsstödsystemet att presenteras och deltagarna får testa det på några utvalda avrinningsområden. Workshopen kommer avslutas med ett referensgruppsmöte där fortsatt arbete kommer att diskuteras.

Publikationer

En lång rad publikationer relaterade till projektet har producerats. I 3.7 nedan presenteras alla publikationer som är relaterade till projektet. Ett specialnummer av tidskriften Vatten planeras att komma ut i juni 2024.

Verktyg

Som en praktisk del av utveckling av ett beslutsstödsverktyg (BSV) inom EcoDiver, så har en modell utvecklats med QSWAT+. BSV behåller alla funktioner i QSWAT+ samt med egenutvecklade extra funktioner för scenarioanalys för fyra olika infrastrukturer för hela avrinningsområde: reservoarer, dammar, och våtmarker, beroende på hur deras hydrologiska och hydrauliska förhållande med omgivning ser ut. Varje funktion kan testas med den inbyggda QSWAT+ modellen med särskilda parametertabell samt beslutlogik med hänsyn eller scenario bestämda av användaren. Se kapitel 3.4 i slutrapporten för mer information om BSV.

Övriga aktiviteter

En av kommunikationsaktiviteter inom projektet var i form av ett samarbete med skolklasser via Experimentexpressen för spridning av grundläggande kunskap om ekologi och hydrologi till elever i årskurser 6–9 i Lunds Kommun. Ett annat var kontinuerligt samarbeten med Vattenhallen på LTH som en plattform för både skolelever samt allmänheten.

4. Diskussion

EcoDiver har fokuserat på att undersöka hydrodiversitetens roll i att öka motståndskraften och anpassningsförmågan hos våtmarker till klimatförändringar. Genom att introducera och utforska begreppet ”hydrodiversitet” har vi strävat efter att belysa vikten av att förstå mångfalden av hydrologiska enheter inom ett avrinningsområde. Vårt forskningsfokus har legat på att utvärdera och bedöma våtmarkers funktion under olika förhållanden, för att kunna demonstrera fördelarna med ett integrerat system av olika våtmarkstyper och dess påverkan på hydrologiska funktioner. Vi har utvärderat och kvantifierat ekosystemstjänster kopplade till våtmarkers hydrologiska funktioner, och genom att integrera resultaten från våra fallstudier kan vi belysa hur våtmarker kan erbjuda multifunktionella lösningar.

Forskningen i projektet kan sammanfattas utifrån följande teman, som nu ligger till grund för vidareutveckling av forskning om hydrodiversitet kopplat till ekosystemtjänster, samt spridning av resultaten för kapacitetsutveckling och praktisk tillämpning.

- **Metodologiska överväganden:** Vår vetenskapliga metodik har omfattat användning av fallstudier, hydrologisk modellering och utveckling av beslutsstödsverktyg. Genom att tillämpa modeller som MIKE SHE, MIKE HYDRO River, HEC-HMS, HEC-RAS, QGIS, QSWAT+, COMSOL Multiphysics och Matlab har vi skapat en grund för en integrerad förståelse för samspelet mellan våtmarkssystem och avrinningsområdets hydrologi. Dessa verktyg har bland annat möjliggjort analys av direkta konsekvenser av åtgärder i vattendrag, som i fallet med dammrivning i Rönne å och avrinningsområdesrespons i Kävlingeån.
- **Dataanvändning och Databasutveckling:** Sammanställning av data och utveckling av databaser har varit central för att analysera förhållanden i våra fallstudier. Dataanvändning har möjliggjort en tvärvetenskaplig synvinkel, där hydrologiska, ekologiska och klimataspekter har integrerats för att skapa en övergripande förståelse.
- **Bedömning av våtmarkers ekosystemtjänster:** Analys av hydrologiska funktioner hos våtmarker under olika förhållanden och tillhörande metodutveckling har genomförts. Resultat har utvecklats rörande hydrologiska processer, näringscykler och föroreningsminskning, restaureringsbehov, förvaltning, biodiversitet, och klimatanpassning.

För torvmark liknande *Fäjemyr* området, har vi konstaterat att marktyper, tillsammans med vattentillgänglighet samt temperatur, fungerar som huvuddrivkrafter för upptagning av CO₂. Resultaten visar också att vattennivåreglering motverkar de negativa effekterna av högre temperaturer på vattenkvaliteten i torvmarksutflöden under RCP 2,6 och RCP 4,5, men kanske inte under RCP 8,5. Vidare är vattennivåhantering nödvändig för RCP 8,5, fördelaktigt för RCP 4,5 (särskilt under torra), och inte nödvändigt för RCP 2,6 och det nuvarande klimatet.

För området Gårdstånga Nygård kan vi utifrån undersökningar av hydrologi och ämnesbalans konstatera att de flesta av de undersökta indikatorerna har låga koncentrationer och små variationsintervall, och inte visar betydande vattenkvalitetsproblem. Det kan också konstateras att de övervakade näringsämnena (TP, TN, NH₄-N samt NO₃-N) varierar med olika mönster och magnituder. Förhållandevis har variationer av TP och NH₄-N varit ganska små under hela perioden.

- **Beslutsstödsverktyget (BSV):** Strävar efter att ge beslutsfattare möjligheten att optimera placering och förvaltning av nya våtmarker. Genom att syntetisera resultat från projektets fallstudier och kombinera modellsimuleringar med olika parametrar så kan verktyget erbjuda en helhetsbild för att fatta informerade beslut.
- **Kunskapsspridning:** Genom samarbeten med andra forskningsprojekt och myndigheter inom miljöförvaltning, samt genom seminarier och workshops, så har resultaten från våra studier delats med intressenter, och vi har en fortsatt publikationsplan som kommer att sprida kunskapen ytterligare i vetenskapliga sammanhang.
- **Vidareutveckling och forskningsbehov:** Vår forskning lägger grunden för framtida studier inom området hydrodiversitet och våtmarker. För att förbättra våra modeller och stärka sammanställningen av resultaten för praktisk tillämpning kommer vi att fortsätta att arbeta i följande riktningar:
 - Finjustering av modeller: Finjustering och validering av våra hydrologiska modeller för att säkerställa noggrannhet och tillförlitlighet i olika scenarier. Detta gäller alla modeller som användes i de 5 fallstudierna, men speciellt vidareutveckling av beslutsstödsverktyget. Denna utveckling måste ta hänsyn till användarnas önskemål och begränsningar när det gäller programvara, säkerhetsaspekter, etc.
 - Utvärdering av implementerade strategier: Uppföljning av implementeringen av våra föreslagna strategier för våtmarkssystemdesign för att mäta deras påverkan och effektivitet över tid. Detta gäller speciellt anpassning till framtida klimatscenarier. Utvidgning av klimatscenarier för att inkludera en bredare variation och undersökning av anpassningsåtgärder för att säkerställa långsiktig hållbarhet är också önskvärd.
 - Intressentengagemang: Fortsatt samarbete och engagemang med miljöförvaltare, privata aktörer, utbildningsforum, och forskningsinstitutioner genom nya forskningssamarbeten, för att säkerställa att våra resultat sprids och implementeras i praktiken.

Slutligen är vår forskning en del av en pågående strävan att främja hållbarhet och motståndskraft i våtmarker och utgör en grund för framtida insatser för att bevara och förbättra dessa viktiga ekosystem.

5. Slutsatser och förslag

Vår forskning har utforskat olika aspekter av våtmarkers hydrologi och deras roll i anpassningen till klimatförändringar. Fem fallstudier med olika våtmarkstyper i Skåne har använts – i Fäjemyr, Gårdstånga Nygård, Kävlingeån, Rönne å och Tullstorpsån. Undersökningar samt metodutveckling har genomförts inom dessa fallstudier om våtmarkernas hydrologiska funktioner och deras roll i klimat-anpassning. Genom att introducera begreppet ”hydrodiversitet” har vi betonat mångfalden av hydrologiska enheter inom ett avrinningsområde och dess relevans för att stärka våtmarker som naturbaserade lösningar. Vårt övergripande syfte var att utveckla och främja metoder för att öka motståndskraften och förbättra ekosystemtjänsterna i dessa viktiga ekosystem.

Fördelar med våtmarkers hydrologiska funktioner: Våra resultat har tydligt visat att våtmarker, utöver sin roll i att dämpa översvämningar under högflöden, spelar en central roll i att tillhandahålla vatten för olika ändamål under perioder med låg nederbörd. Hydrologiska funktioner i våtmarker, inklusive förmågan att reglera vattenflöden, verka som biologiska reaktorer för närsalter och erbjuda flera ekosystemtjänster, är av avgörande betydelse för att uppnå hållbarhet och motståndskraft i en föränderlig klimatomgivning.

- **Mångfunktionella våtmarker genom beslutsstödsverktyg:** För att implementera våra forskningsresultat har vi utvecklat ett beslutsstödsverktyg (BSV) baserat på QSWAT+, utformat för att hjälpa beslutsfattare identifiera optimala platser och strategier för våtmarksförvaltning. Som ett led i att betona behovet av en spatial strategi för många restaurerade våtmarker, syftade projektet även till att belysa funktionen av storleksmässigt små, men många, åtgärder i vattendrag i jordbruksområden. Genom att integrera detta verktyg med våra resultat strävar vi efter att stärka planeringsunderlaget för mångfunktionella våtmarker som kan hantera klimatvariationer och landskapsförändringar på ett effektivt sätt.
- **Framtida utmaningar och forskningsbehov:** Vi har identifierat ett antal utmaningar och områden som kräver ytterligare forskning. Komplexiteten i hydrologiska modeller och kontinuerlig datainsamling är utmaningar som bör adresseras ytterligare för att förbättra modellernas precision och relevans över tid. Vidare så är integrationen av olika klimatscenarier med förändringar i lokal landanvändning, samt en fördjupad förståelse av intressenternas behov, centrala aspekter för framtida studier.
- **Engagemang och spridning av kunskap:** Engagemang med intressenter, inklusive kommuner och myndigheter, är avgörande för att säkerställa att våra resultat når och påverkar beslutsfattare på olika nivåer. Genom samarbete med andra forskningsprojekt och myndigheter har vi deltagit i att sprida kunskap om våtmarkers betydelse.

- **Framtida utsikter:** Vår forskning om hydrodiversitet och våtmarkers roll i klimatanpassning och motståndskraft har främjat kunskapsnivån om våtmarkers ekosystemtjänster med relevans för förvaltning och bevarande. Genom ett fortsatt engagemang med intressenter via forskningsarbeten, särskilt genom vidareutveckling av beslutsstödsverktyget, kommer vi att delta i att driva forskningsfronten för att skapa en hållbar framtid för våtmarker och säkerställa att dessa kritiska ekosystem bevaras för kommande generationer.
- **Avslutande reflektion:** Vår forskning har bidragit till ökad förståelse för våtmarkers hydrologiska funktioner samt lagt grunden för utveckling av nya praktiska åtgärder och strategier för hållbar förvaltning. Genom att integrera avancerade vetenskapliga metoder och fortsatt samarbete med intressenter, strävar vi efter att göra våra resultat relevanta och användbara för dagens och framtidens utmaningar med att utveckla riktlinjer och rekommendationer för våtmarksförvaltning. Praktiskt kan detta genomföras med hjälp av beslutsstödsverktyget, som kommer vara ett stöd för våra målgrupper och som sammanfattar våra forskningsresultat. Några konkreta exempel kan vara:
1) placering och utformning av nya våtmarker och analys av deras ekosystemtjänster; 2) flödeskontroll för kontakttid och flöde; 3) design av rätt våtmarkstyp baserat på heltäckande förståelse av hydrodiversitet och klimatanpassning.

6. Tack

Först och främst vill vi tacka Naturvårdsverket för finansieringssupport för detta forskningsprojekt.

Vi vill också framföra ett stort tack till alla som på olika sätt bidragit till denna forskningsrapport. Följande personer (i alfabetisk ordning) har bidragit under projektet period genom diskussioner, metodutveckling, fältarbete, analyser, samt modelleringar: referensgrupper (Gustaf Ramel, Torbjörn Friede, Jens Ratcovich, Valentina Zülsdorff); studenter (Ella Hansson, Wenli Hu, Sebastian Huynh, Lina Lennklev, Qianqian Li, Hugo Lindbäck, Frias Olguin, Victoria Truong), Vattenhallen LTH (Malin Larsson), samt forskare (Mikael Butts, Brian Babak Mojarrad, Ida Morén, Miklas Scholz, Shokoufeh Salimi, Assad M. Tahir, Cintia B. Uvo,). Miklas Scholz deltog i projektet fram till april 2022.

7. Källhänvisning

- Azinheira, D.L., Scott, D.T., Hession, W., Hester, E.T., 2014. Comparison of effects of inset floodplains and hyporheic exchange induced by in-stream structures on solute retention. *Water Resour. Res.* 50(7), 6168-6190.
- Azizian, M., Boano, F., Cook, P.L.M., Detwiler, R.L., Rippy, M.A., Grant, S.B., 2017. Ambient groundwater flow diminishes nitrate processing in the hyporheic zone of streams. *Water Resour. Res.* 53, 3941-3967. <https://doi.org/10.1002/2016WR020048>.
- Bennett, S. J., A. Simon, J. M. Castro, J. F. Atkinson, C. E. Bronner, S. S. Blersch, and A. J. Rabideau 2013. The Evolving Science of Stream Restoration, in *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems*, edited, pp. 1-8, American Geophysical Union.
- Birgand, F., Skaggs, R. W., Chescheir, G. M., & Gilliam, J. W. 2007. Nitrogen removal in streams of agricultural catchments—A literature review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(5), 381–487.
- Boano, F., Harvey, J. W., Marion, A., Packman, A. I., Revelli, R., Ridolfi, L., & Wörman, A. 2014. Hyporheic flow and transport processes: Mechanisms, models, and biogeochemical implications. *Reviews of Geophysics*, 52(4), 603–679. <https://doi.org/10.1002/2012rg000417>
- Calfe, M.L., Scott, D.T., Hester, E.T., 2022. Nitrate removal by watershed-scale hyporheic stream restoration: Modeling approach to estimate effects and patterns at the stream network scale. *Ecol. Eng.* 175, 106498, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106498>.
- Earon, R., Riml, J., Wu, L., Olofsson, B., 2020. Insight into the influence of local streambed heterogeneity on hyporheic-zone flow characteristics. *Hydrogeol. J.* 28, 2697–2712. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02244-5>.
- Gomez-Velez, J. D., & Harvey, J. W. 2014. A hydrogeomorphic river network model predicts where and why hyporheic exchange is important in large basins. *Geophysical Research Letters*, 41, 6403–6412. <https://doi.org/10.1002/2014GL061099>
- Grant, S. B., Stolzenbach, K., Azizian, M., Stewardson, M. J., Boano, F., & Bardini, L. 2014. First-order contaminant removal in the hyporheic zone of streams: Physical insights from a simple analytical model. *Environmental Science & Technology*, 48(19), 11369–11378.
- Hansson, E. 2023. Effekter av bevattningsdamm på Gårdstånga Nygård. Bachelor Thesis TVVR 23/4001, Dep. of Water Resources Engineering, LTH
- Harvey, J. W., Böhlke, J. K., Voytek, M. A., Scott, D., & Tobias, C. R. 2013. Hyporheic zone denitrification: Controls on effective reaction depth and contribution to whole-stream mass balance. *Water Resources Research*, 49, 6298–6316. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20492>
- Hester, E.T., Hammond, B., Scott, D.T., 2016. Effects of inset floodplains and hyporheic exchange induced by in-stream structures on nitrate removal in a headwater stream. *Ecol. Eng.* 97, 452-464.

- Jones, J. B., & Mulholland, P. J. 2000. *Streams and ground waters*. San Diego, CA: Academic Press.
- Mojarrad, B. B., Riml, J., Wörman, A., Laudon, H., 2019. Fragmentation of the hyporheic zone due to regional groundwater circulation. *Water Resour. Res.* 55,1242–1262. <https://doi.org/10.1029/2018WR024609>.
- Mojarrad, B.B., Wörman, A., Riml, J., Xu, S., 2022. Convergence of groundwater discharge through the hyporheic zone of streams, *Groundwater*, <https://doi.org/10.1111/gwat.13236>
- Morén, I., Wörman, A., & Riml, J. 2017. Design of remediation actions for nutrient mitigation in the hyporheic zone. *Water Resources Research*, 53, 8872–8899. <https://doi.org/10.1002/2016WR020127>.
- Morén, I., J. Riml, and A. Wörman A. 2018. In-stream water management strategies for reducing nutrient loads to the Baltic Sea. Bonus Soil2Sea Deliverable 4.4 KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Morén, I. 2021a. Hyporheic exchange flow studies in 10 small streams in south-east Sweden, 2017-2020, HydroShare, <https://doi.org/10.4211/hs.af43ffe74d1545f5a918a8af6031c33d>
- Morén, I., Riml, J., Wörman, A., 2021b. Cross-validating hydromechanical models and tracer test assessments of hyporheic exchange flow in streams with different hydromorphological characteristics, *Water Resources Research*, 57(12), December 2021, <https://doi.org/10.1029/2021WR030248>
- Morén, I., Mojarrad, B.B., Wörman, A., Riml, J., Xu, S., 2023. Geographic and hydro-morphologic controls on interactions between hyporheic flow and discharging deep groundwater, *Hydrogeology Journal*, HYJO-D-22-00188R1.
- Naturvårdsverket 2017. Ekosystemtjänstförteckning med inventering av datakällor. Rapport 6797. SBN 978-91-620-6797-7, ISSN 0282-7298. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Newcomer Johnson, T., S. Kaushal, P. Mayer, R. Smith, and G. Sviridchi 2016. Nutrient Retention in Restored Streams and Rivers: A Global Review and Synthesis, *Water*, 8(4), 116.
- Refsgaard, J.C., Hansen, A.L., Højberg, A.L., Olesen, J.E., Hashemi, F., Wachniew, P., Wörman, A., Bartosova, A., Stelljes, N., Chubarenko, B., 2019. Spatially differentiated regulation: Can it save the Baltic Sea from excessive N-loads? *Ambio* 48, 1278–1289. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01195-w>.
- Riml, J., Wörman, A., 2011. Response functions for in-stream solute transport in river networks, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 47, W06502, 14 PP., 2011. [doi:10.1029/2010WR009412](https://doi.org/10.1029/2010WR009412).
- Riml, J., Morén, I., Wörman, A., Zięba, D., Wachniew, P., 2016. Tracer Tests and the effect of solute retention and attenuation on the stream reach scale, BONUS Soils-2Sea Deliverable 4.2. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, December 2016, www.Soils2Sea.eu.

Riml, J., Morén, I., Wörman, A., 2024. Potential of stream restorations to enhance the hyporheic removal of agricultural nitrogen in Sweden, *Ecological Engineering*, Volume 201, 107194, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107194>.

Rutherford, J. C., Chiu, T. W., Hatherell, T. V. J., Elliott, H. A., & Boyle, J. D. 1995. Modeling benthic oxygen uptake by pumping. *Journal of Environmental Engineering*, 121(1), 84–95. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1995\)121:1\(84\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1995)121:1(84)).

Salimi, S. 2021. Water level management of wetlands in response to current and future RCP climate change scenarios: A mesocosm experiment within climate control chambers. PhD Thesis TVVR 1092, Water Resources Engineering, Lund University.

Salimi, S. and Scholz, M. 2022. Importance of water level management for peatland outflow water quality in the face of climate change and drought, *Environmental Science and Pollution Research* 29(50). p.75455-75470.

Stonedahl, S.H., Harvey, J.W., Detty, J., Aubeneau, A., Packman, A.I., 2012. Physical controls and predictability of stream hyporheic flow evaluated with a multiscale model. *Water Resour. Res.* 48(10). <https://org.doi/10.1002/wrcr.20400>.

Ward, A.S., Gooseff, M.N., Johnson, P.A., 2011. How can subsurface modifications to hydraulic conductivity be designed as stream restoration structures? Analysis of Vaux's conceptual models to enhance hyporheic exchange. *Water Resour. Res.* 47,W08512, <https://org.doi/10.1029/2010WR010028>.

Ward, J. V., K. Tockner, U. Uehlinger, and F. Malard 2001. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration, *Regulated Rivers: Research & Management*, 17(4-5), 311-323, doi: 10.1002/rrr.646.

Wohl, E., S. N. Lane, and A. C. Wilcox 2015. The science and practice of river restoration, *Water Resources Research*, 51(8), 5974-5997, doi: 10.1002/2014WR016874.

Wörman, A., Packman, A.I., Jonsson, K., Johansson, H., 2002. "Effect of Flow-Induced Exchange in Hyporheic Zones on Longitudinal Transport of Solutes in Streams and Rivers", *Water Resources Research*: 38(1), 2:1-15.

Zarnetske, J. P., Haggerty, R., Wondzell, S. M., & Baker, M. A. 2011. Dynamics of nitrate production and removal as a function of residence time in the hyporheic zone. *Journal of Geophysical Research*, 116, G01025. <https://doi.org/10.1029/2010JG001356>

Zarnetske, J. P., Haggerty, R., Wondzell, S. M., Bokil, V. A., & Gonzalez-Pinzon, R. 2012. Coupled transport and reaction kinetics control the nitrate source-sink function of hyporheic zones. *Water Resources Research*, 48, W11508. <https://doi.org/10.1029/2012WR011894>

Åkesson, A., Wörman, A., 2012. Stage-dependent hydraulic and hydromorphic properties in stream networks translated into response functions of compartmental models", *Journal of Hydrology* 420–421 (2012) 25–36, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.015

8. Publikationer och data

Forskningsartiklar och tekniska rapporter

1. Mojarrad, B.B., Wörman, A., Riml, J., Xu, S., 2022. Convergence of groundwater discharge through the hyporheic zone of streams, *Groundwater*, <https://doi.org/10.1111/gwat.13236>
2. Morén, I., Riml, J., Wörman, A., 2021. Cross-validating hydromechanical models and tracer test assessments of hyporheic exchange flow in streams with different hydromorphological characteristics, *Water Resources Research*, 57(12), December 2021, <https://doi.org/10.1029/2021WR030248>
3. Morén, I., Mojarrad, B.B., Wörman, A., Riml, J., Xu, S., 2023. Geographic and hydromorphologic controls on interactions between hyporheic flow and discharging deep groundwater, *Hydrogeology Journal*, HYJO-D-22-00188R1.
4. Riml, J., Morén, I., Wörman, A. 2024. Potential of stream restorations to enhance the hyporheic removal of agricultural nitrogen in Sweden, *Ecological Engineering*, Volume 201, 107194, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107194>
5. Morén, I. 2021. Hyporheic exchange flow studies in 10 small streams in south-east Sweden, 2017-2020, *HydroShare*, <https://doi.org/10.4211/hs.af43ffe74d1545f5a918a8af6031c33d>
6. Salimi, S. and Scholz, M. 2022. Importance of water level management for peatland outflow water quality in the face of climate change and drought, *Environmental Science and Pollution Research* 29(50). p.75455-75470.
7. Salimi, S., Berggren, M. and Scholz, M. 2021. Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management. *Global Change Biology* 27(20). p.5154-5168.
8. Nilsson, E. 2021. Förändring av fosfor- och kvävekoncentrationer i Skåne och effekter av anlagda våtmarker. Lunds Tekniska Högskola, LTH.

Doktorsavhandlingar inom forskningssamarbeten

1. Morén, I., 2022. The influence of multiscale hyporheic flow on solute transport: Implications for stream restoration enhancing nitrogen removal, PhD thesis at KTH.
2. Mojarrad, B., 2021. Multi-Scale Surface Water-Groundwater Interaction – Implications for Groundwater Discharge Patterns, PhD thesis at KTH.
3. Salimi, S. 2021. Water level management of wetlands in response to current and future RCP climate change scenarios: A mesocosm experiment within climate control chambers. PhD Thesis TVVR 1092, Water Resources Engineering, Lund University.

Konferenspresentationer

1. Mojarrad, B. B., Wörman, A., Riml, J., and Xu, S.: The role of hyporheic fluxes in regional groundwater modelling, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-3591, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-3591>, 2020.

2. Morén, I., The importance of static and dynamic head drivers for hyporheic exchange: evaluation of a spectral modelling approach, EGU General Assembly 2020, Session HS10.7 – Groundwater - Surface Water Interactions: Physical, Biogeochemical and Ecological processes
3. Joakim Riml, Ida Morén, Anders Wörman, 2022. Hyporheic nitrogen removal – assessing the potential for large scale stream restoration in Sweden, EGU General Assembly 2022.
4. Mojarrad, B. B., Wörman, A., and Riml, J.: Regional groundwater funneling within the hyporheic zone, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-8607, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8607>, 2022.

Examensarbeten

1. Frias, E. 2020. Geomorphology alteration effects over Kävlinge River Basin. An analysis using a physically-based hydrological model. TVVR 20/5018, Dep. of Water Resources Engineering, Lund Univ.
2. Lindbäck, H. 2023. Optimal Discharge from a Hydropower Plant for Fish Reproduction. An Aquatic Habitat Model. TVVR 23/5005, Dep. of Water Resources Engineering, Lund Univ.
3. Hu W., 2022. Combining continuous and event-based hydrological modeling in Kävlinge river basin with climate change. Master Thesis by Wenli Hu, LTH.
4. Huynh S. and Truong V., 2022. A preliminary study of evidence-based tool for wetland optimization - A case study using QSWAT+. Master Thesis by Sebastian Huynh and Victoria Truong, LTH.

Kandidatarbeten/Projektarbeten

1. Lennklev, L. 2020. Hydrological characterisation of the Gårdstånga Nygård farm in Sweden. Bachelor Thesis TVVR 20/4001, Dep. of Water Resources Engineering, LTH
2. Hansson, E. 2023. Effekter av bevattningsdamm på Gårdstånga Nygård. Bachelor Thesis TVVR 23/4001, Dep. of Water Resources Engineering, LTH.
3. Li, Q. 2022. Hydrological modelling of Rönne å catchment for future investigation on the consequences of dam removal along Rönne å river. Report, Dept. of Water Resources Engineering, LTH.

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Ökad hydrodiversitet för att främja avrinningsområdets klimattresiliens (EcoDiver)

Mångfalden av våtmarker, vattendrag, sjöar och grundvatten samverkar i ett större perspektiv inom ett avrinningsområde. Funktioner som är sammankopplade och beroende av varandra. En holistisk förståelse av våtmarker utgår från att vi tar hänsyn till alla delar. En funktion forskarna i denna rapport benämner hydrodiversitet.

Forskarna har undersökt hur stor nytta är ur ett hydrologiskt och ekonomiskt perspektiv, hur system kan skapas som optimerar den nyttan och hur våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster kan förändras av ett förändrat klimat.

Även om forskarna påvisar att sammanhängande hydrologiska system har andra nyttor än att just vara hydrologiskt utjämnande, har det övergripande syftet varit att utveckla beslutsstödverktyg som ska hjälpa beslutsfattare att identifiera optimala platser och strategier för våtmarksförvaltning.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag som finansierar forskning till stöd för Naturvårdsverkets och Havs- och vattenmyndighetens kunskapsbehov.

Tillägg till figurtexterna, figur 6, 7 och 8: Några av datapunkterna är hämtade från Chioggia et al. (2024).

Chioggia, F., Lavrić, S., Grigatti, M., Toscano, A., Antonioni, C., Cavazza, F., Larsson, R., Zhang, L., Canga, E., Schabschneider, H., Luketina, I., Kisser, J. 2024. Description of Developed Wetland Technologies. WP4 Nutrient Recovery from Streams. WATERAGRI report April 2023.