



Högfrekvent vattenföringsmätning i Braån, Loftaån, Örsundaån och Ösan år 2022 till 2023

Louise Malmquist & Jennie Barron



Säsongsbetonad nivåförändring av Loftaån 2022-03-10 till 2023-04-19. Foto, Louise Malmquist)

Teknisk rapport
Institutionen för mark och miljö
Sveriges lantbruksuniversitet
Uppsala 2024

Högfrekvent vattenföringsmätning i Braån, Loftaån, Örsundaån och Ösan år 2022 till 2023

Louise Malmquist
Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö
louise.malmquist@slu.se
ORCID ID: 0000-0002-7582-6881

Jennie Barron
Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö
jennie.barron@slu.se
ORCID ID: 0000-0002-3292-3438

Utgivare: Institutionen för mark och miljö,
Sveriges Lantbruksuniversitet

Utgivningsår 2024

Utgivningsort : Uppsala

ISBN 978-91-8046-720-9 (elektronisk version)

DOI <https://doi.org/10.54612/a.103r5g5o99>

Nyckelord extremväder, kalibrering, vattenretention, klimatanpassning, osäkerhetsanalys, jordbrukslandskap, Avrinningsområde

Tack Detta projekt hade inte varit genomförbart utan hjälp från Robert Andersson, Vattenstrateg och åtgärdssamordnare, LEVA-samordnare Saxån - Braåns Vattenråd; Dennis Wiström, Kommunagronom Samhällsbyggnadsenheten Västerviks kommun; Cassandra Tell Dahl Bjelkelöv Agronom, vattensamordnare, Samhällsbyggnadsförvaltningen Enköpings kommun; Johan Axné Vattenstrateg på Enköpings kommun; Sofia Kämpe Agronom, Projektledare och Rådgivare Torpets Lantbruk, f.d. LEVA-Samordnare Tidans vattenförbund; Håkan Magnusson, Miljöutredare på Verksamhet miljö och bygg, Mariestads kommun, tack för er hjälp med information om avrinningsområdena och förslag på lämpliga lokaler för att utföra mätningarna.

Ett stort tack till markägarna runt Loftaån, Ösan, Braån och Örsundaån för villighet att upplåta utrymme och tillgång till vattendragen för mätningarna samt berätta om förhållandena i vattendragen.

Därtill tack till Maria Blomberg Forskningsingenjör, SLU; Gunnel Alvenäs Forskare FLK, SLU, för tillgång till och assistans med flödesmätaren och förslag på upplägg för mätningarnas utförande.

Sist, framhåller vi även tack till Katarina Kyllmar, Forskningsledare och senior miljöanalytisk specialist, SLU; Magdalena Bierozza, Universitetslektor SLU, för val av lokaler och input under projektets gång

Projektet finansierades av stiftelsen Carl-Fredrik von Horns fond, anslag GFS2021-0076; LOVA-bidrag 501-45988-202 samt Sveriges Lantbruksuniversitet

Sammanfattning

Flertalet extrema väderhändelser de senaste åren har blottlagt sårbarheter inom svenskt lantbruk gällande vattenretention, dränering och avrinning i odlingslandskapen. För utvärdering och långsiktig sammanhängande planering av klimatanpassningsåtgärder finns emellertid luckor mellan analysverktyg som modeller och satellitdata med tillhörande bearbetningsprodukter, och in situ observationer med god spatial och temporal upplösning för verifiering av storskalig data. Som ett led i att utvärdera vattenbalansen och retentionskapacitet under inverkan av extremväder inom fyra svenska jordbruksdominerade avrinningsområden (Ösan, Loftaån, Örsundaån och Braån) utfördes vattenföringsmätningar i huvudvattendragen i respektive avrinningsområde. Syftet var att erhålla kalibrerings- och valideringsdata över vattenföring inkluderande extrema hög och lågflöden med tätare tidsintervall för att komplettera avrinningsdata som finns tillgängligt lokalt och från SMHI för avrinningsområdena idag.

Vattennivå mättes under våren 2022 till våren 2023 med 10-minutersintervall i Loftaån, Örsundaån och Braån med TD-Diver® modell 11.11.04.02. Lokala avbördningskurvor beräknades från manuella mätningar vid 5 tillfällen fördelade efter säsong och flödesregim. Mätningarna i Örsundaån kompletterades med flödesmätning genom Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV teknik) och bearbetning till vattenföring i programvaran Fudaa-LSPIV version.1.9.2. Mätningarna i Ösan utfördes var 15e minut automatiskt med akustisk mätare (SonTEK IQ+).

Avbördningskurvorna för Loftaån ($R^2 = 0.96$) och Braån ($R^2 = 0.95$) visar relativt bra samband trots fåtal manuella mätningar. Örsundaån gav ett gott samband ($R^2 = 0.86$). Men med största sannolikhet underskattade lågflöden. Tillförlitligheten hos de manuellt uppmätta flödesresultaten visade på störst relativ standardavvikelse för Örsundaån (4.3 till 15.1 %). Mätningarna i Loftaån och Braån resulterade i lägst relativ standardavvikelse (2.9 till 3.7 % för Loftaån respektive 3.6 till 6.2 % för Braån). I jämförelse med SMHI modellerade data visar observerade data för Loftaån och Ösan lägre högflöden och högre lågflöden. För Örsundaån var lågflöden högre för SMHIs modellerade värden jämfört med observerade. För Braån å andra sidan var observerade data genomgående högre jämfört med modellerad vattenföring. Medianavvikelsen mellan SMHI modellerad data och observerad data varierade mellan $-0.39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Ösan, Stdev $4.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) och $+0.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Örsundaån Stdev $0.69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Vattenföring är vidare en signifikant indikator av kväve- och fosforbelastning i svenska avrinningsområden och avvikelser mellan modellerad- och observerad vattenföring har visat sig påverka utslaget vid beräkning av näringsbelastning i svenska vattendrag. Nationellt finns emellertid en större databas av vattenkvalitetsmätningar än vattenkvantitet varav osäkerheten i manuell beräkning och vid modellering av vattenkvalitet kan minskas, men med risk för överkompensation av parametrar kopplade till vattenkvantitet. Sammanfattningsvis är osäkerheten i extrapolering av avbördningskurvorna till låg- och högflöden en begränsning av observerad data för användning för kalibrering/validering av extrema väderförhållanden. För en nationell överblick finns ett behov av ökad insamling av högupplöst data på både spatial och temporal data som fångar både hög- och lågflöden för att korrekt motivera och dimensionera åtgärder mot både översvämningrisk och torka/vattenbrist i odlingslandskapet.

Nyckelord: extremväder, kalibrering, vattenretention, klimatanpassning, osäkerhetsanalys, jordbrukslandskap, Avrinningsområde

1. Inledning

Flertalet extrema väderhändelser de senaste åren har visat på sårbarheter inom svenskt lantbruk när det gäller vattenretention, avrinning och dränering i odlingslandskapen. År 2016 utmärkte sig med lägre grundvattennivåer, medan 2018 innebar en kall och blöt vår, följt av varmare temperaturer och reducerad nederbörd (SMHI 2020a; b), vilket bland annat orsakade 45 % skördenedsättning av spannmål (Jordbruksverket 2019). År 2023 utmärkte sig genom utvintring av höstsådda grödor på grund av väderskiftningar, försenat vårbruk på grund av vårvinterförhållanden och försommartorka, samt obärgade arealer (preliminära siffror visar på 2.3 % av spannmålsarealen till 6.3 % av arealen ärt) på grund av mättade marker och översvämning under sensommaren/hösten och/eller dålig etablering av gröda (Jordbruksverket 2023).

En omställning inom svenskt jordbruk för att nå anpassning av odlingen till effekter av klimatförändring har beräknats till 55 miljarder SEK i investeringskostnader för byte av kulvertar, ökad bevattning och täckdikning samt 80 miljoner per år för investering i dikesunderhåll (Hoffmann et al. 2023). För utvärdering och långsiktig sammanhängande planering av klimatanpassningsåtgärder finns emellertid ett gap mellan analysverktyg som modeller och satellitdata med tillhörande bearbetningsprodukter, och in situ observationer med god spatial och temporal upplösning för verifiering av storskalig data. Tillgång till- och upprätthållande av observationsdata för nyckelparametrar för att utvärdera vattentillgångar och vattenbalans i jordbrukslandskapet har identifierats som en begränsning både globalt (t.ex. Dorigo et al. 2021) och inom Sverige spatialt och temporalt (t.ex. Malmquist & Barron 2023). Därtill försvåras en heltäckande utvärdering av Sveriges vattentillgångar, vattenanvändning och behov av anpassning för påverkan av extremväder och förändrade klimatförhållanden, av typ av rapportering, begränsad datainsamling beroende på studiesyfte, uppdelad datalagring och datasekretess (t.ex. vattenuttag) (Vattenmyndigheten Västerhavets vattendistrikt 2021).

Som ett led i att utvärdera vattenbalansen och retentionskapacitet under inverkan av extremväder inom fyra svenska jordbruksdominerade avrinningsområden presenterar denna rapport in-situ vattenföringsmätningar från huvudvattendragen i respektive avrinningsområde. De fyra avrinningsområdena Ösan, Braån, Örsundaån och Loftaån representerar varierade agroklimat och mark förhållanden på avrinningsområdesskala. Mätningarna utfördes för att erhålla kalibrerings- och valideringsdata över vattenföring inkluderande extrema hög och lågflöden som eventuellt uppstår även utan extrem nederbörd, som visar fluktuationer med tätare tidsintervall än vad som finns tillgängligt idag.

2. Metod

2.1. Lokaler

Mätningarna utfördes i närheten av utloppen till avrinningsområdena Östen, ån Ösan (13.8789E, 58.5266N), Loftaån (16.5179E, 57.9221N), Örsundaån (17.1714E, 59.7466N) och Braån (13.0553E, 55.8673N) (Tabell 1). Avrinningsområdena utgörs av 10 % -75 % åkermark, 9 % - 59 % skog, 3 % - 5 % urban, 7 % - 10 % övrig öppen mark samt 4 % -10 % våtmark och öppet vatten (Malmquist 2021). Lokalerna valdes baserat på deras position nära avrinningsområdenas utlopp för att erhålla flöde representativt för större delen av avrinningsområdena. därtill eftersträvades lokaler under broar för att erhålla en bestämmande sektion för sambandet area-vattenföring (Figur 1, sektion 2.2 Utförande,).

Tabell 1. Klimatzon, pedoklimatisk zon, placering och area för avrinningsområdena Tidan, Enköpingsån-Örsundaån, Saxån-Braån samt Gamlebyån-Loftaån

Avrinningsområde	Tidan	Enköpingsån-Örsundaån	Saxån-Braån	Gamlebyån-Loftaån
Län	Västra Götaland	Uppland	Skåne	Småland
Köppen klimatzon ^a	Tempererad-boreal klimatzon, i.e. Köppen zone Dfb - kallt klimat utan torrsäsong med varma somrar			
Vegetationszon	Nemoral	Nemoral/Boreal	Continental	Nemoral
Pedoklimatisk zon ^b	Northern sub-continental IV	Boreal to sub-boreal IV	Northern sub-continental IV	Sub-Oceanic IV
Koordinater	58.6N, 14.0E / 58.4N, 14,1E / 58.2N, 13.9E / 58.4 N, 13.8E	59.6N, 17.1E / 59.8N, 16.8E / 60.0N, 17.1E / 59.8N, 17.4E	55.8N, 13.1E /55.8N, 12.9E / 56.0N, 13.2E/ 55.9N, 13.4E	57.6N, 16.68E/ 58.1N, 16.0E / 58.1N, 16.5E / 58.0N, 16.8E
Area	696 km ²	995 km ²	359 km ²	725 km ²
Andel jordbruksmark ^c	36 %	35 %	75 %	10 %

a) Peel et al. 2007

b)-Wagening UR, Derio, ITP & JTI (2011)

c) Malmquist 2021

Placeringen i Braån hamnade längre uppströms i avrinningsområdet än mätplatserna i de andra vattendragen på grund av risk för saltvattenfrätning och tillbakaflöde i vattendragen med risk för påverkan på uppskattat flöde (Andersson 2022, pers. comm).

2.2. Utförande

2.2.1. Loftaån, Braån, Örsundaån

Vattennivå och lufttryck mättes med [TD-Diver® modell 11.11.04.02](#) och [TD-BaroDiver® modell 11.11.04.00](#) var 10e minut. Start-och slutdatum för mätningarna varierade med kontakt med markägare och tillträde till mark (Tabell 2).

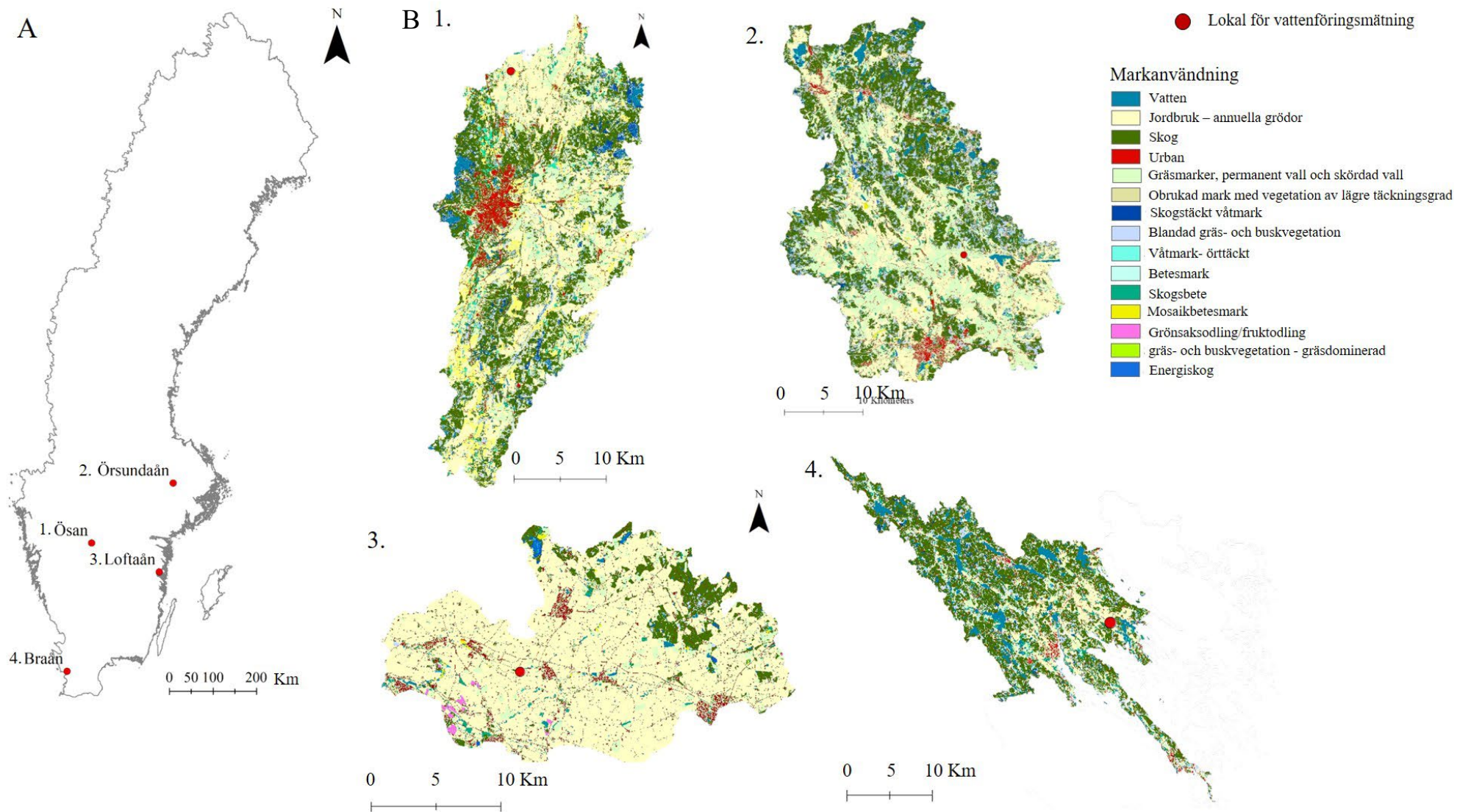
Manuella kontrollmätningar av vattenflöde och vattennivå för att sätta upp lokala avbördningskurvor utfördes fem gånger för vardera mätstationen. Fem till femton mättillfällen under olika flödesförhållanden har föreslagits för att erhålla ett pålitligt samband mellan nivå och flöde (Marklund & Westman 2008; Hallberg 2021). De manuella mättillfällena förlades med en till två månaders mellanrum till perioder med olika flödestoppar efter att ha studerat säsongsvariationen för modellerade flöde från den hydrologiska modellen S-HYPE inhämtat från SMHI (2023b) för respektive vattendrag.

Tvårsnittsarean för vattendragen uppskattades vid varje manuellt mättillfälle (Figur 2). Manuellt djup mättes över 0.2 m breda sektioner över vattendragens bredd (Figur 3) och multiplicerades med bredden efter mittsektionsmetoden (Ekv. 1). På grund av vattendragens bredd mättes flödes hastigheten i 0.4 m breda sektioner där antal sektioner där matningar utfördes varierade med vattendjupet (Tabell 2) och den mekaniska gränsen för flygeln att kunna mäta flödet, dock i linje med i europeisk standard (SS-EN ISO 748-2021) Vattenflödet mättes med flygel OTT portabel flygel nr 82789 med trepunktsmetoden på 20 %, 60 % och 80 % av vattendjupet per sektion (Turnipseed & Sauer 2010) (Ekv. 1).

$$V_{medel} = (V_{0.2} + V_{0.8})/4 + (V_{0.6})/2 \quad [\text{Ekv. 1}]$$

(Turnipseed & Sauer 2010)

Där V_{medel} är medelflödet för hela tvårsnittsarean och $V_{0.2}$, $V_{0.6}$ och $V_{0.8}$ är flödet per respektive djup.



Figur 1. (A) Placering av de studerade avrinningsområdena 1. Tidån, 2. Enköpingsån-Örsundaån, 3. Saxån-Braån och 4. Loftaån-Gamlebyån, samt markanvändning och placering av flödesmätare (röd prick) inom respektive avrinningsområde. Sverigekartan i A är anpassad från (SMHI 2020c). Markanvändningskartor B1-B4 är från Malmquist et. al, Manuskript))

Vattenföringen i Loftaån, Braån och Örsundaån uppskattades indirekt genom att sätta upp en avbördningskurva för sambandet tvärsnittsarea-vattenflöde. Vid en bestämmande sektion är vattenföringen Q_i en funktion av den bestämmande sektionens tvärsnittsarea $A_{i,t}$, samt flödes hastigheten $v_{i,t}$ över distansen mellan $b_{i+1,t}$ och $b_{i-1,t}$ som är distansen från den initiala mätpunkten vid tvärsnittssektion i , efter mittsektionsmetoden (SS-EN ISO 748-2021). Tidssteget för hastigheten indikeras av t (Ekv. 2 till Ekv. 4).

$$A_{i,t} = d_{i,t} * W_{i,t} \quad [\text{Ekv. 2}]$$

$$Q_i = v_{i,t} * \left(\frac{b_{i+1,t} - b_{i-1,t}}{2} \right) * d_i \quad [\text{Ekv. 3}]$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^n (A_{i,t} * v_{i,t}) \quad [\text{Ekv. 4}]$$

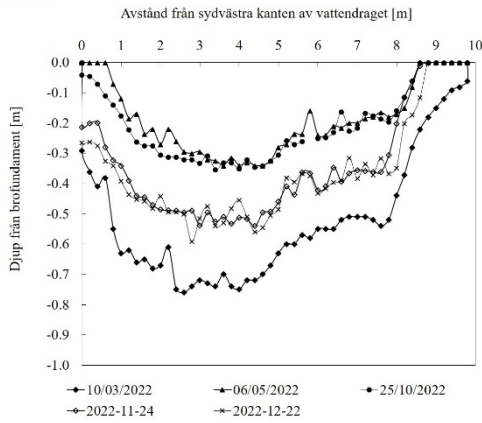
(Turnipseed & Sauer 2010, SS-EN ISO 748-2021)

Funktionerna för avbördningskurvor beräknades i RStudio (version 2023.06.01, R Studio Team 2023) genom regression av 2a gradens polynomfunktioner till de momentana manuella mätvärdena med vattenflöde som funktion av vattendjup.

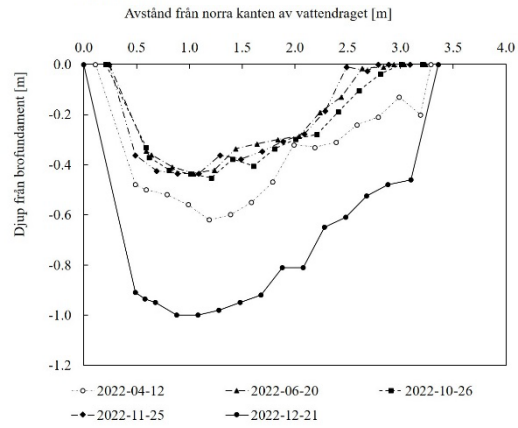
Tabell 2. Starttid- och datum, sluttid och-datum, tidsintervall för flödesmätningar per vattendrag och mätpunkt.

Lokal	Startdatum	Slutdatum	Tidsintervall mellan mätningar	Antal delsektioner för manuell vattenföring smätning	Mätning nr									
	datum, tid	datum, tid			n =	1	2	3	4	5	6	7	8	
Loftaån	2022-03-11, 00:00	2022-12-22, 12:30		16-23	2022-03-10	2022-06-09	2022-10-25	2022-11-24	2022-12-22					
Braån	2022-04-13, 00:00	2022-12-21, 13:10	10 minuter	9-15	2022-04-12	2022-06-20	2022-10-26	2022-11-25	2022-12-21					
Örsundaån	2022-03-30, 00:00	2022-11-23, 11:40*		17-19	2022-06-09	2022-07-21	2022-10-17	2022-11-23	2022-01-09	2023-03-15	2023-03-28	2023-04-11		
Ösan	2022-04-05, 15:00	2023-04-05, 19:00	15 minuter	-	2022-06-07	2022-10-28								

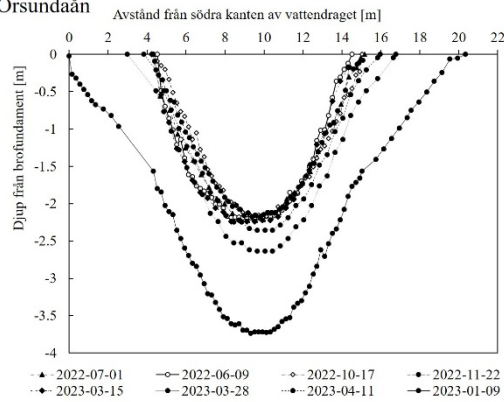
A. Loftaån



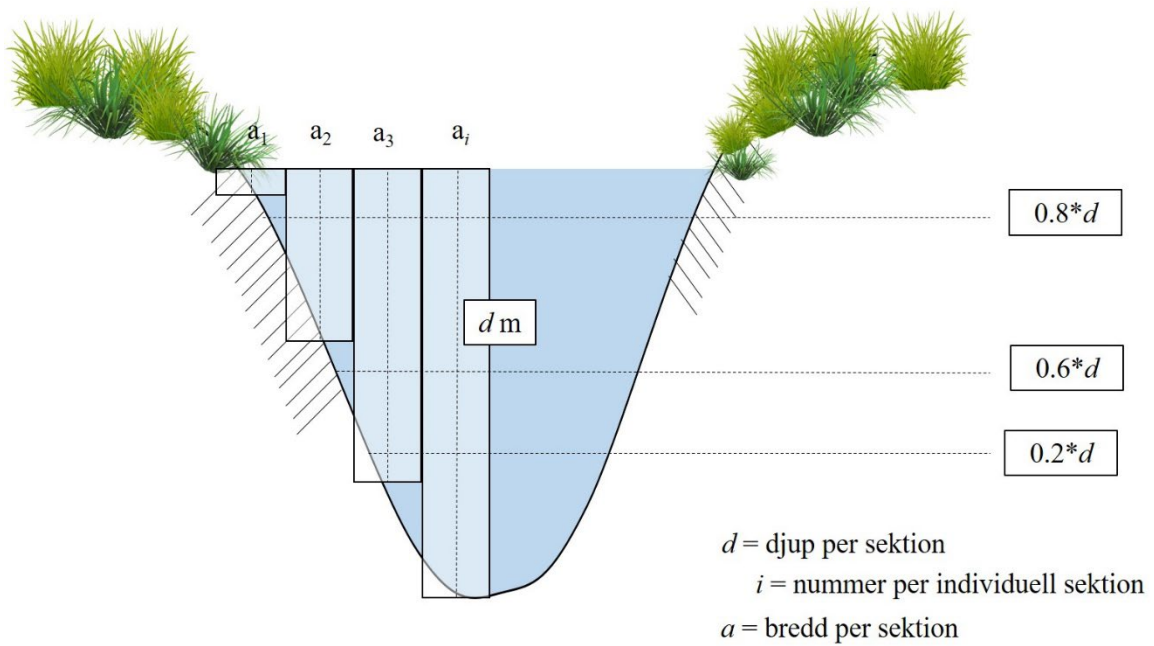
B. Saxån



C. Örsundaån



Figur 2. Tvärsnittssektioner av vattendragen Loftaån (A), Braån (B) och Örsundaån (C) per manuellt mätillfälle av vattenföring och vattendjup.



Figur 3. Schematisk bild över tvärsnittssektion och djup för att beräkna tvärsnittsarea och mätning av vattenflöde [$m s^{-1}$]

Relativ standardavvikelse i de manuella mätningarna med flygel i Loftaån, Braån och Örsundaån uppskattades utifrån definition i SS-EN ISO 748-2021, för area-hastighetsmetoden (Ekv. 5).

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^m (b_i * d_i * v_i)^2 * (u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right) * (u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2))}{\left(\sum_{i=1}^m (b_i * d_i * v_i)\right)^2} \quad [\text{Ekv. 5}]$$

(SS-EN ISO 748-2021)

Där $u(Q)$ är relativ standardavvikelse för vattenföringen, u_m är osäkerheten för antalet delsektioner använda för vattenföringsmätningar; u_s är osäkerheten för reaktiviteten i flygeln; b_i är bredden av den aktuella delsektionen i ; d_i är djupet per delsektion; u_b och u_d är relativ osäkerhet för bredd och djup per delsektion; u_p är osäkerheten för medelvattenflödet v_i ; u_c är osäkerheten i vattenflödet vid en specifik mätpunkt orsakad av flygeln. Sist, u_e är osäkerheten punktvattenföring.

2.2.2. Uppskattning av vattenföring genom videografi, Örsundaån

På grund av höga vattennivåer i Örsundaån vid besöken i november 2022 och januari 2023 (se sektion 4 *Diskussion*, Figur 8) begränsades användningen av flygeln för mätning av momentanflöde. Istället uppskattades vattenföringen vid tre tillfällen under avtagande höglöde vid tre tillfällen 2023-03-15, 2023-03-28 samt 2023-04-11 genom LSPIV teknik (Large-Scale Particle Image Velocimetry) av flödet och bearbetning i programvaran Fudaa-LSPIV version.1.9.2 (Hauet et al. 2022; Le Coz 2022). Videografi för att uppskatta vattenföring baseras på uppskattning av partikelförflyttning över en känd sträcka per begränsad tidsenhet. Metoden är en fördel vid större och djupa vattendrag för att undvika behov av vadning/vattentransport för att sätta ut- eller använda handhållen utrustning i fysisk kontakt med vattendraget. Partiklar översätts till pixlar i programvara och tidsförflyttningen per pixel [pix s^{-1}] över den förbestämda distansen i bildsekvensen översätts till motsvarande sträcka i vattendraget baserat på koordinater översätta till en flödes hastighet [m s^{-1}]. Flödes hastigheten multipliceras med den bestämda tvärsnittsarean i samband med videotagningen och vattenföringen erhålls (Hauet et al. 2022).

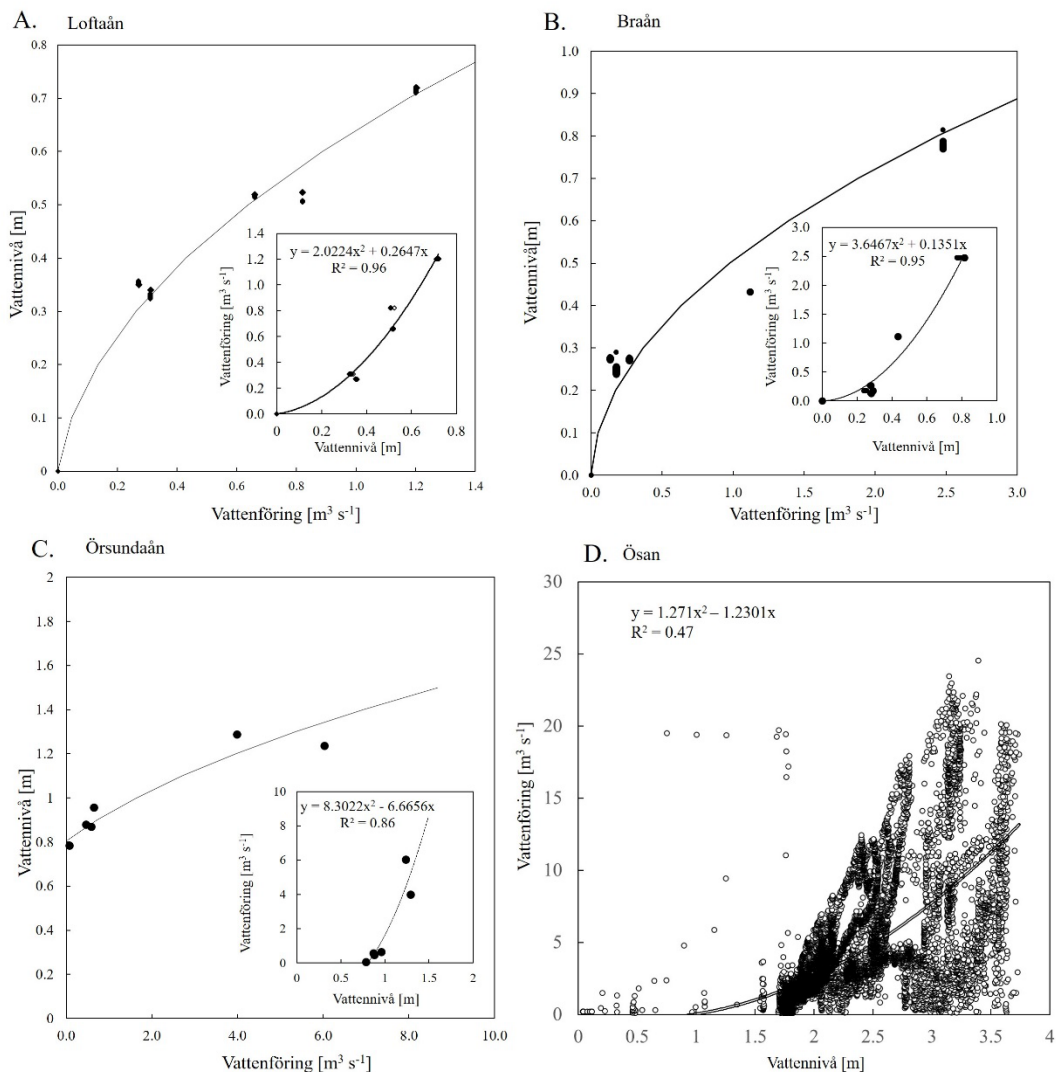
2.2.3. Mätning av vattenföring med akustisk dopplermätare – Ösan, Tidans avrinningsområde

Mätningar av vattenföring i Ösan utfördes automatiskt med akustisk mätare (SonTEK IQ + ,SonTek, n.d. a) mellan 2022-04-05 till 2022-04-05 var 15e minut. Väderparametrar temperatur, nederbörd, vindhastighet och lufttryck mättes vid temporärt uppfört station (Vaisala WXT536 (Vaisala n.d.) invid mätpunkten i vattendraget. Klimatparametrar mättes mellan 2022-04-05 till 2022-12-31. SonTEK IQ är en akustisk dopplermätare som avgör flödes hastigheten genom att mäta frekvensförändringar i ljudvågor som sänds ut från en sensor utplacerad i vattendragets flödesriktning och reflekteras av partiklar i vattnet, som antas ha samma hastighet som vattenflödet (Xylem 2012). Vattenflödet [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] beräknas från vattenflödet mot tvärsnittsarean, som beräknas genom en förbestämd tvärsnittssektion av vattendraget och detektering av varierande vattennivå genom reflektion av en ljudvåg mellan sensorn och vattenytan (Xylem 2012).

3. Resultat

3.1. Avbördningskurvor

Trots fåtal manuella mätningar av vattenföring visar avbördningskurvorna för Loftaån och Braån relativt bra samband, även om det observerade vattenföringsvärdet för Braån vid vattennivå (0.43 m) är lägre än avbördningskurvan och sambandet hade kunnat stärkas genom ytterligare en mätpunkt vid närliggande vattennivåer (Figur 4a, Figur 4b). Avbördningskurvan för Örsundaån gav ett gott samband. Emellertid är lågflöden med största sannolikhet underskattade och skulle behöva kompletterande mätningar för att förbättra sambandet (Figur 4c). Avbördningskurvan för Ösan visar en stor variation mellan vattennivåer för högflöden och motiverar således valet av akustisk mätning av vattenföringen då lokalen Herrgården ej är utformad så att ett direkt samband nivå-vattenföring uppstår (Niklas Strömbeck, pers. komm.) (Figur 4d).

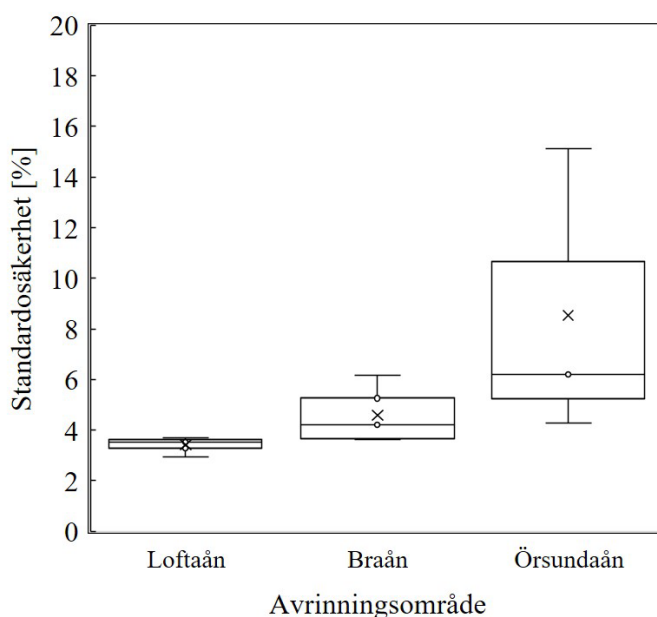


Figur 4. Avbördningskurvor för Loftaån (A), Braån (B) och Örsundaån (C). De större graferna visar observerade data med vattenföring på x-axel och vattennivå som beroende variabel på y-axeln, vilket visar på förhållandet som användes för att beräkna formler för att extrahera vattenföring från samtliga uppmätta nivåer med TD-Diver®. De mindre graferna visar de faktiska sambandet vattennivå-vattenföring. Figur D visar avbördningskurvan för Ösan (Tidans avrinningsområde) från mätningar med akustisk dopplermätare SonTEK IQ+. Notera att samtliga grafer har olika skala på y- och x-axel

Tillförlitligheten hos de manuellt uppmätta flödesresultaten visade på högst relativ standardavvikelse för Örsundaån (4.3 till 15.1 %), främst beroende på sämre mätresultat under lågflöde. Mätningarna i Loftaån resulterade i lägst relativ standardavvikelse (2.9 till 3.7 %) (Figur 5).

3.2. Vattenföring

I jämförelse med SMHI (<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>) modellerade data visar observerade data för Loftaån och Ösan lägre högflöden och högre lågflöden. För Örsundaån var lågflöden högre för SMHIs modellerade värden jämfört med observerade. För Braån å andra sidan var observerade data genomgående högre jämfört med modellerad vattenföring. Skillnaden mellan observerade data till SMHI modellerade data var som störst för Ösan med medelskillnad $+1.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ och median $-0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (maximal skillnad uppgick till $+26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Figur 6, Figur 7, Tabell 3).



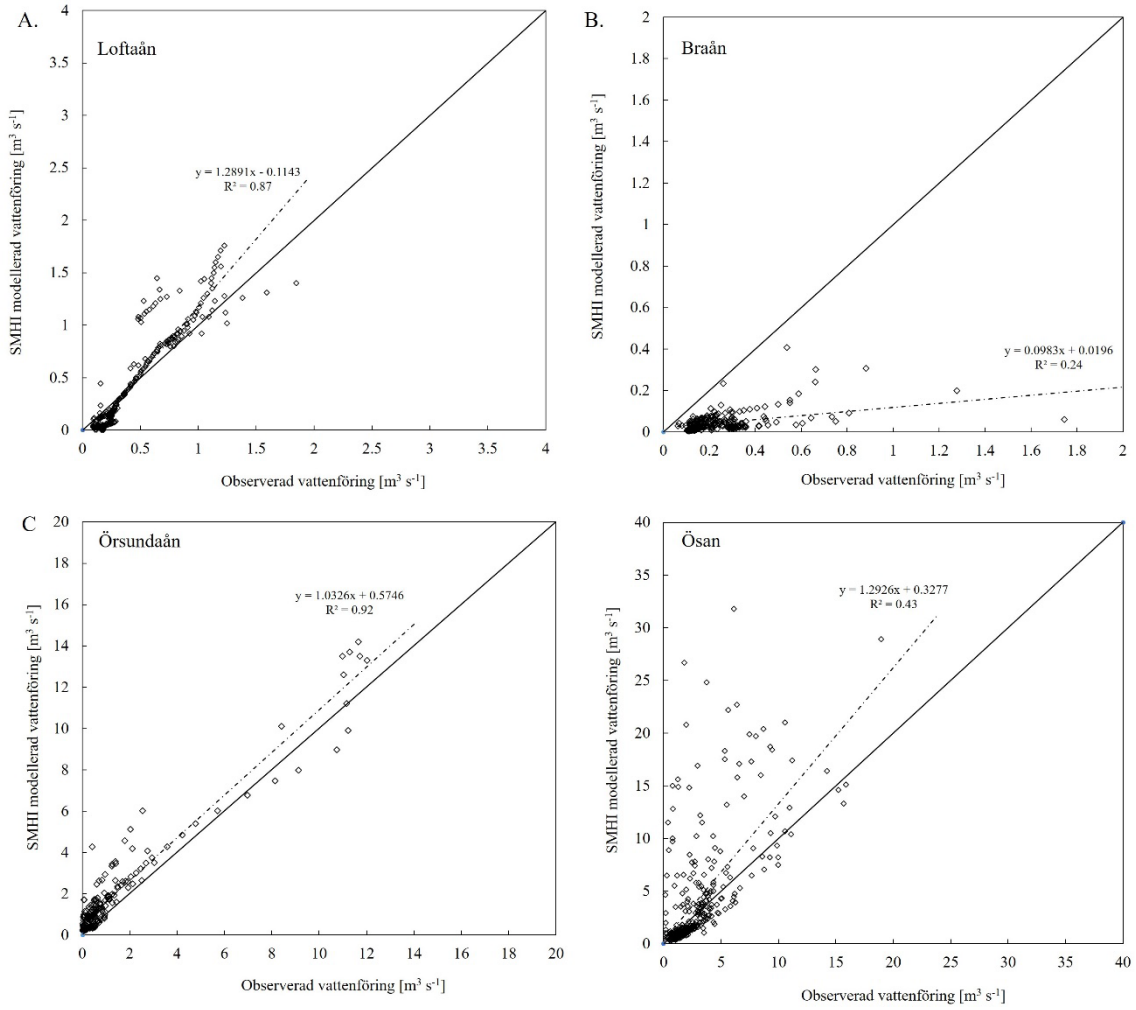
Figur 5. Relativ standardavvikelse [%] för manuella flödesmätningar i Loftaån, Braån och Örsundaån beräknad enligt SS-EN ISO 748-2021.

Vattenföringen över tid visar på ett klart säsongsbetonat flöde med högre flöde under mars-april månad vid början av mätningarna och avtar under sommarmånaderna. Flödet började åter öka i november - början av oktober. Flödet i Loftaån avtog under sommarmånaderna, till att uppnå minimum flöde i september - början av oktober. Braån och Ösan å andra sidan uppvisar flödestoppar i samband med regn under sommarmånaderna (Figur 7).

Per dygn uppmättes den största variationen i vattenföring i Ösan, med en största standardavvikelse av $4.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ den 27 mars 2023, den absoluta skillnaden mellan högsta- och lägsta vattenföring över ett dygn varierade mellan $0.69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Loftaån) till $14.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Ösan). För de andra avrinningsområdena nådde maximal standardavvikelse för ett dygn 0.2 (Loftaån), 1.4 (Braån) och $2.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Örsundaån). Samtidigt varierade mediandifferensen mellan max och minvattenföring per dygn mellan $0.03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ och $1.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabell 4)

Tabell 3. Statistiska mått för differensen mellan modellerade data från SMHI S-Hype (<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>) och observerade vattenföringsdata från Loftaån, Braån, Örsundaån och Ösan våren 2022 till 2023, beräknad på dygnsvattenföring

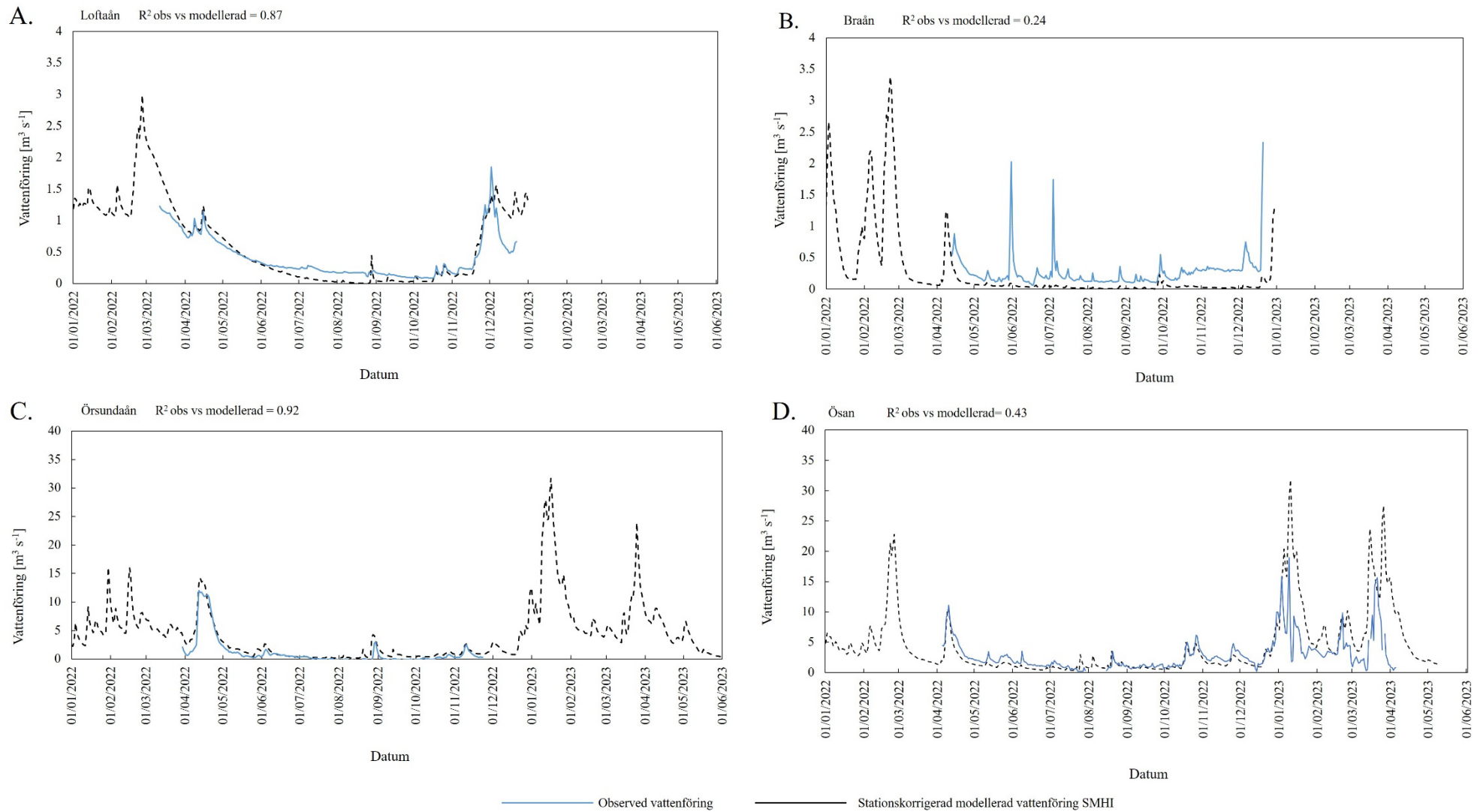
Statistiskt mått	Vattendrag			
	Loftaån	Braån	Örsundaån	Ösan
		Enhet	$\delta \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	
Medel	0.01	-0.22	0.61	1.18
Median	-0.05	-0.15	0.50	-0.39
Max	0.81	-0.03	3.87	25.69
Min	-0.45	-2.12	-1.78	-2.55
StDev	0.19	0.23	0.69	4.19



Figur 6. Observerad vattenföring för Loftaån (A), Braån (B), Örsundaån (C) och Ösan (D) plottad mot modellerad vattenföring från närmsta tillgängliga delavrinningsområde från SMHI, 2024a

Tabell 4. Statistiska mått för differensen mellan observerade max- och minvattenföring per dygn för vattendragen Loftaån, Braån, Örsundaån och Ösan våren 2022 till 2023.

Statistiskt mått	Vattendrag			
	Loftaån	Braån	Örsundaån	Ösan
	Enhet		$\delta \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	
Medel	0.05	0.2	0.5	1.9
Median	0.03	0.1	0.3	1.2
Max	0.7	4.5	9.7	14.8
Min	0.0	0.0	0.1	0.0



Figur 7. Observerad vattenföring samt modellerad vattenföring från SMHI (2024a) (primär y-axel) och nederbörd ((sekundär y-axel), från SMHI, (2024b) över tid under år 2022 och 2023 från Loftaån (A), Braån (B), Örsundaån (C) och Ösan (D). Medelosäkerhet för SMHI modellerade värden (<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>): Örsundaån 12 %, Loftaån 31%, Braån 33 %, Ösan 18 %

4. Diskussion

Osäkerheten i manuellt uppmätt vattenföring för Loftaån och Braån ligger i linje med generell intervall (mellan 5-7 %, (Le Coz et al. 2012) från beräkning av osäkerhet genom ekv. 5. Detsamma gäller för mätningarna från Örsundaån i oktober och november. Däremot den första mätningen i juni gav en osäkerhet på 15 % vilket är tre gånger så högt som det generella intervallet, vilket beror på svårigheter med mätaren under detta datum. Sannolikt var flödet högre under detta tillfälle än vad som uppmättes. Formeln som rekommenderas i SS-EN ISO 748-2021 och som här använts för att beräkna osäkerheten i vattenföringsmätningarna har bedömts ha vissa begränsningar. Till att börja med genom att inte inkludera osäkerhet från extrapolering av vattenflöde vid vattenytan, vattendragets botten och vid strömfårans kanter, samt en avsaknad av osäkerhet orsakad av potentiellt varierande vattenföring till följd av tiden mellan individuella mätningar (Le Coz et al. 2012). Därtill framhålls även att värden som anges som osäkerhet för vissa parametrar kommer från empiriska studier och är specifika för vissa omständigheter och instrument (Le Coz et al. 2012). Det är möjligt att osäkerheten i mätningarna här således har underskattats.

För de kompletterande mätningarna under våren 2023 för Örsundaån varierade kvalitén på filmerna som indata till programvaran Fudaa-LSPIV. Uppskattning av vattenföring genom LSPIV har bedömts underskatta vattenflöde jämfört med in-situ mätningar, samt beror tillförlitligheten i mätningarna på fördelning av spårbara partiklar, beroende av vindmönster, samt ljusförhållanden och reflektioner i vattnet (Tauro et al. 2017). Ortorektifiering som sker i programvaran före analys av vattenflödet kan medföra förvrängda pixlar som stör en tillförlitlig analys. Efter ortorektifieringen av videoklippen från Örsundaån extraherades emellertid de främst felaktiga pixlarna från vidare bearbetning. Vind och ljusförhållanden försvårade mätningarna i Örsundaån den 2023-04-11, vilket med största sannolikhet lett till underskattning av flödet.

Faktorer som påverkar mätning av vattenflödet i Ösan med SonTek IQ+ anges vara ljudhastighet och geometrin hur ljudvågorna sänds ut från sensorn. Det är en avsaknad av platsspecifik osäkerhet för Ösan, men efter produktspecificeringarna för SonTek IQ+ anges osäkerhet på grund av ljudhastighet vara försumbar (< 0.25 %) med korrekta inställningar för salthalt och ljudvågornas geometri är fixerad vid produktion av sensorn. Osäkerheten vid kalibrering av vattenflöde specificeras till 1 % av vattenflödet (Xylem 2012). Osäkerheten i vattenföring beror även på noggrannheten i bestämmande av vattendragets tvärsnittsarea och metoden för att relatera observerat vattenflöde med medelflöde, dock saknas en estimering av osäkerhet för naturliga vattendrag vilka är svårare att uppskatta teoretiskt flöde i (Xylem 2012).

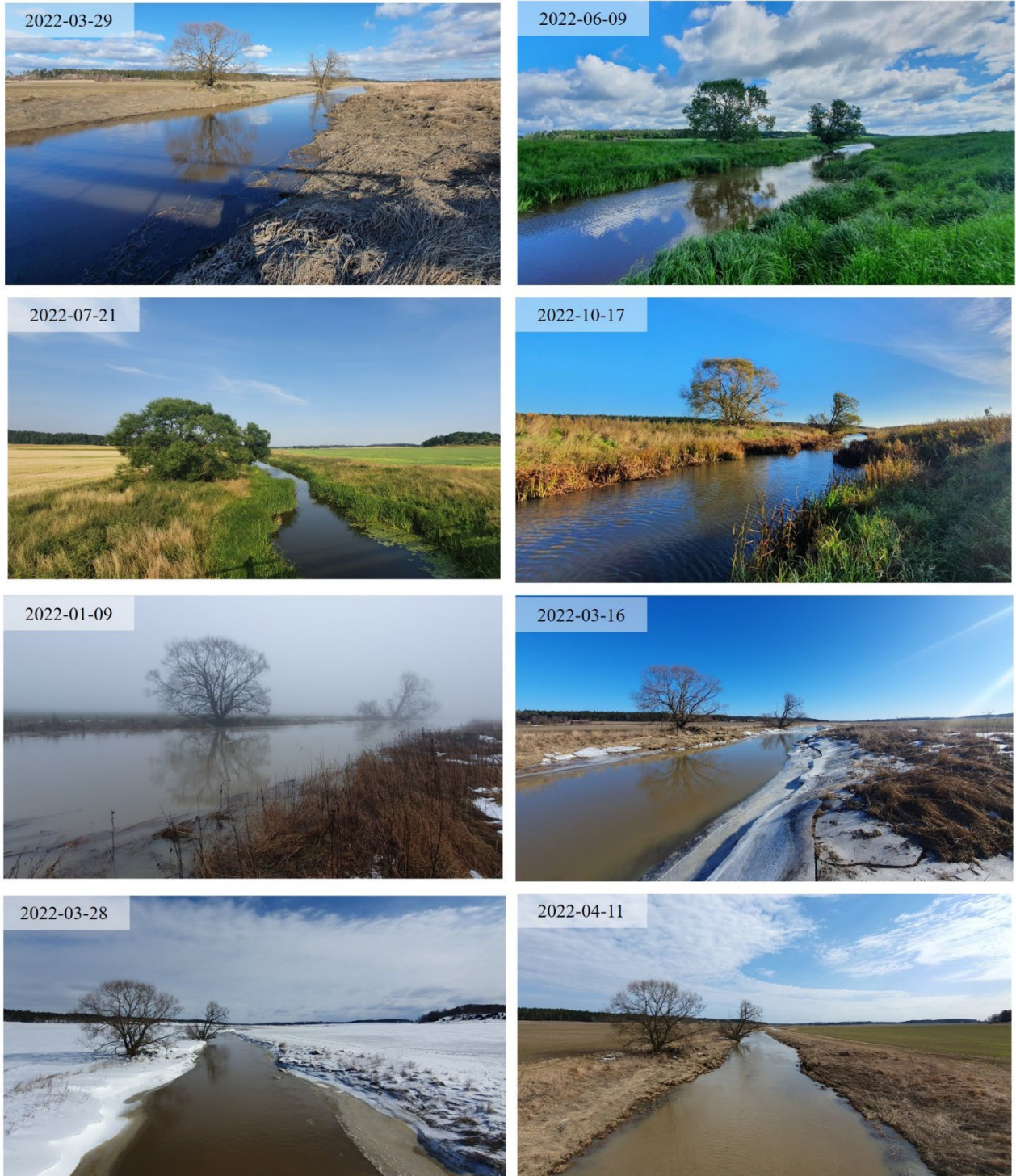
Medelosäkerheten i SMHI modellerade data för respektive lokal (Figur 6, Figur 7) varierar från 12 % (Örsundaån) till 33 % (Braån) där kalibrering gjorts mot 600 stationer och som en kompromiss mellan stationerna för att erhålla en nationellt verkande modell (SMHI 2023a). För Braån erhålls modellerade värden från delavrinningsområden ej direkt vid lokalen för manuell mätning, utan antingen nedströms vid Asmundtorp eller uppströms vid Teckomatorp. En jämförelse med modellerad vattenföring från uppströms avrinningsområden (data ej visat) ger en negligerbar skillnad i sambandet mellan observerad- och modellerat flöde och således påvisar samma överskattning av observerat flöde i modelldata. Med åtanke på att SMHIs modell är utvecklad för Sverige för genomsnittliga förhållanden är det inte helt överraskande att låg- och högflöden både underskattades och överskattades jämfört med observerade data. Därtill ska tilläggas att det är en högre osäkerhet i låg- och högflöden även i observerade data på grund av extrapolering av förhållandet mellan vattennivå och vattenföring i avbördningskurvorna (t.ex. Sikorska et al. 2013). Att flödet systematiskt underskattades i Braån är emellertid problematiskt då det är ett vattendrag med snabba flödes- och nivåförändringar som rinner genom tätbebyggda områden och till stor del jordbruksmarker, det vill säga där tillförlitlighet på analysdata för samhällsplanering och klimatanpassning är av stort behov.

Vattenföring är vidare en signifikant indikator av kväve- och fosforbelastning i svenska avrinningsområden (Kyllmar et al. 2006; Ezzati et al. 2023). Därtill har extrema vattenflöden förutsetts öka kvävebelastning i nordiska vattendrag som effekt av ökade extrema nederbördsevent (Øygarden et al. 2014). En överslagsräkning med de observerade vattenföringen från Loftaån för att beräkna fosforbelastning resulterade i en differens av + 13 %, - 6 % och -9 % jämfört med modellerade flöden från SMHI (Fremling 2023). Detta visar att direkta osäkerheter inkluderas vid beräkning av flödesviktad näringsbelastning i vattendrag om det är en över- eller underskattning av vattenföring. Extrapolerar vi effekter av osäkerheter i vattenföring till modellering av vattenkvalitetsparametrar medför en högre vattenföring en lägre näringskoncentration och vice versa med lägre vattenföring. Detta blir främst problematiskt om modellkalibrering sker mot enbart vattenföring. Under svenska förhållanden finns emellertid en större databas av vattenkvalitetsmätningar jämfört med vattenkvantitet (se t.ex. samlad data hos <https://miljodata.slu.se/MVM/> som datavärd för mark- vatten och miljödata i Sverige), varav tillgången för kalibrering mot vattenkvalitetsdata är god och kan minska osäkerheten i slutgiltig modell. Ett problem som eventuellt kan uppstå är högre parametrisk osäkerhet för de parametrar som kalibreras mot en osäker vattenföring (Gupta & Govindaraju 2023) varav modellen möjligtvis ger god representation för vattenkvalitetsdata, men med diskutabel parametersättning som kompenserar för sämre representation av vattenföring.

5. Slutsats

Vattenföringsmätningar utfördes i Braån, Loftaån, Örsundaån och Saxån för att få tillgång till data för kalibrering och validering av vattenföring inkluderande extrema hög och lågflöden. Mätningarna för Braån, Loftaån och Saxån resulterade i värden med mätosäkerhet som anges godtagbar enligt svensk standard för hydrologiska mätningar (SS-EN ISO 748:2021)

Osäkerheten i extrapolering av avbördningskurvorna till låg- och högflöden är en begränsning av observerad data för användning för kalibrering/validering av extrema väderförhållanden. Data ger en inblick i vattendragens fluktuation per dygn och representativt för året 2022-vår 2023 vilket kan ses som en hänvisning. Däremot bör en rimlighetsbedömning av flödesrespons göras vid modellutvärdering för resultat för andra tidsperioder samt komplettering med ytterligare material över vattennivåer och förändringar av vattendraget över tid, då avbördningskurvan förändras med förändringar i fysiska förhållanden i vattendraget. För en nationell överblick finns ett behov av ökad insamling av högupplöst data på både spatial och temporal data som fångar både hög- och lågflöden för att korrekt motivera och dimensionera åtgärder mot både översvänningsrisk och torka/vattenbrist i odlingslandskapet.



Figur 8. Säsongsbetonad nivåförändring av Örsundaån direkt söder om mätplatsen Nysätrabron (17.1714E, 59.7466N) per besökstillfälle från 2022-03-29 till 2022-04-11. Foto: Louise Malmquist

Referenser

- Andersson, R. (2022). Mail correspondence
- Dorigo, W., Dietrich, S., Aires, F., Brocca, L., Carter, S., Cretaux, J.-F., Dunkerley, D., Enomoto, H., Forsberg, R., Güntner, A., Hegglin, M.I., Hollmann, R., Hurst, D.F., Johannessen, J.A., Kummerow, C., Lee, T., Luoju, K., Looser, U., Miralles, D.G., Pellet, V., Recknagel, T., Vargas, C.R., Schneider, U., Schoeneich, P., Schröder, M., Tapper, N., Vuglinsky, V., Wagner, W., Yu, L., Zappa, L., Zemp, M. & Aich, V. (2021). Closing the Water Cycle from Observations across Scales: Where Do We Stand? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (10), E1897–E1935. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0316.1>
- Ezzati, G., Kyllmar, K. & Barron, J. (2023). Long-term water quality monitoring in agricultural catchments in Sweden: Impact of climatic drivers on diffuse nutrient loads. *Science of The Total Environment*, 864, 160978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160978>
- Fremling, A. (2023). *Analys av trender och effekter gällande näringsutlakning efter implementering av miljöskyddsåtgärder - En studie av kväve och fosfor för Västerviks kommun i Kalmar län*. Institutionen för vatten och miljö.
- Gupta, A. & Govindaraju, R.S. (2023). Uncertainty quantification in watershed hydrology: Which method to use? *Journal of Hydrology*, 616, 128749. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128749>
- Hallberg, L. (2021). Personlig kommunikation
- Hauet, A., Jodeau, M., Le Coz, J., Bodart, G., Faure, J.-B. & Marchand, B. (2022). *Fudaa-LSPIV Version 1.9.2 User Manual*. eDF, INRAE.
- Hoffmann, M., Redner, A., Törnquist, M., Thuillier, V., Lundkvist, L.-E., Johansson, C., Windfäll, E., Sundblad, F., Nordenskjöld, C. & Forssell, M. (2023). *Kostnader för jordbrukets gröna omställning.pdf*. LRF.
- Jordbruksverket (2019). *Långsiktiga effekter av torkan 2018 och hur jordbruket kan bli mer motståndskraftigt mot extremväder*. (2019:13). Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.21625ee16a16bf0cc0eed70/1555396324560/ra19_13.pdf [2020-12-03]
- Jordbruksverket (2023). *Skörd av spannmål, trindsäd och oljeväxter 2023. Preliminär statistik för län och riket*. [text]. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-12-13-skord-av-spannmal-trindsad-och-oljevaxter-2023.-preliminar-statistik-for-lan-och-riket> [2024-02-20]
- Kyllmar, K., Carlsson, C., Gustafson, A., Ulén, B. & Johnsson, H. (2006). Nutrient discharge from small agricultural catchments in Sweden: Characterisation and trends. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115 (1), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.004>
- Le Coz, J. (2022). *Fudaa-LSPIV Version 1.9.1 - Fudaa-LSPIV - La forge logicielle d'Irstea*. <https://forge.irstea.fr/attachments/download/3032/fudaa-lspiv-1.9.2-win-x64-setup.jar> [2023-12-14]
- Le Coz, J., Camenen, B., Peyrard, X. & Dramais, G. (2012). Uncertainty in open-channel discharges measured with the velocity–area method. *Flow Measurement and Instrumentation*, 26, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2012.05.001>
- Malmquist, L. (2021). *Karaktäristik över pilotområden in om projektet Lokalt engagemang för vatten (LEVA) - Första cykeln 2018-2021*. Sveriges lantbruksuniversitet: Institutionen för mark och miljö. https://pub.epsilon.slu.se/23742/1/malmquist_1_210524.pdf
- Malmquist, L. & Barron, J. (2023). Improving spatial resolution in soil and drainage data to combine natural and anthropogenic water functions at catchment scale in agricultural landscapes. *Agricultural Water Management*, 283, 108304. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108304>
- Marklund, H. & Westman, S.-E. (2008). *Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakning*. (Version 2: 1b:2008-10-23). Naturvårdsverket.
- Niklas Strömbeck (2021-09-08), pers. kommunikation
- Øygarden, L., Deelstra, J., Lagzdins, A., Bechmann, M., Greipsland, I., Kyllmar, K., Povilaitis, A. & Iital, A. (2014). Climate change and the potential effects on runoff and nitrogen

- losses in the Nordic–Baltic region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 198, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.025>
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 11 (5), 1633–1644
- R Studio Team (2023). *RStudio: Integrated Development for R* (2023.3.0.386). PBC. <https://posit.co/>
- Sikorska, A.E., Scheidegger, A., Banasik, K. & Rieckermann, J. (2013). Considering rating curve uncertainty in water level predictions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (11), 4415–4427. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4415-2013>
- SMHI (2020a). 2016 – Långsiktigt underskott och låga nivåer. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/2016-langsiktigt-underskott-och-laganivaer-1.150636?l=null&l=null> [2020-11-23]
- SMHI (2020b). 2018 – Stora variationer, snabbt upp och snabbt ned | SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/2018-stora-variationer-snabbt-upp-och-snabbt-ned-1.150649> [2020-11-23]
- SMHI (2023a). Kalibrering och utvärdering av S-HYPE. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb/om-data-i-vattenwebb/kalibrering-och-utvardering-av-s-hype-1.26735> [2024-02-23]
- SMHI (2023b). *Vattenwebb*. <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> [2023-05-10]
- SonTek (n.d.). *SonTek-IQ Series*. <https://www.ysi.com/sontek-iq-series> [2023-05-17]
- Svenska Institutet för Standarder (2021). *Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels – Velocity area methods using point velocity measurement*. (SS-EN ISO 748:2021)
- Tauro, F., Piscopia, R. & Grimaldi, S. (2017). Streamflow Observations From Cameras: Large-Scale Particle Image Velocimetry or Particle Tracking Velocimetry? *Water Resources Research*, 53 (12), 10374–10394. <https://doi.org/10.1002/2017WR020848>
- Turnipseed, D.P. & Sauer, V.B. (2010). Discharge Measurements at Gaging Stations. In: *Techniques and Methods book 3, chap. A8*. U.S. Geological Survey. 87. <http://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a8/>
- Vaisala (n.d.). *Weather Transmitter WXT530 Series*. Vaisala. <https://www.vaisala.com/en/products/weather-environmental-sensors/weather-transmitter-wxt530-series> [2023-05-17]
- Vattenmyndigheten Västerhavets vattendistrikt (2021). *Delförvaltningsplan med åtgärder mot vattenbrist och torka 2021–2027 Västerhavets vattendistrikt*. Vattenmyndigheterna. <https://www.vattenmyndigheterna.se/download/18.5df150191754f287d9176c9/1603982947562/F%C3%B6rslag%20till%20delf%C3%B6rvaltningsplan%20V%C3%A4sterhavet.pdf> [2021-09-10]
- Xylem (2012). *SonTek-IQ Series Principles of Operation*. <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/White%20Papers/sontek-iq-principles-of-operation.pdf> [2023-12-15]