



BETYDNING AF SKIFT I INSTRUMENT-TYPER TIL VANDFØRINGSMÅLING VED HYDROMETRISTATIONER I NOVANA

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 258

2023



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

BETYDNING AF SKIFT I INSTRUMENT-TYPER TIL VANDFØRINGSMÅLING VED HYDROMETRISTATIONER I NOVANA

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 258

2023

Niels Bering Ovesen
Brian Kronvang
Søren Erik Larsen
Peter Mejlhede Andersen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 258
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Betydning af skift i instrument-typer til vandføringsmåling ved hydrometristationer i NOVANA
Forfattere:	Niels Bering Ovesen, Brian Kronvang, Søren Erik Larsen, Peter Mejlhede Andersen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Februar 2023
Redaktion afsluttet:	2. februar 2023
Faglig kommentering:	Hans Thodsen
Kvalitetssikring, DCE:	Lars M. Svendsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/TR258_komm.pdf
Finansiell støtte:	Ingen ekstern finansiering
Bedes citeret:	Ovesen, N.B., Kronvang, B., Larsen, S.E. & Andersen, P.M. 2023. Betydning af skift i instrument-typer til vandføringsmåling ved hydrometristationer i NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 63 s. - Teknisk rapport nr. 258 http://dce2.au.dk/pub/TR258.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten belyser systematiske forskelle i vandføringsmålinger i vandløb, der skyldes anvendelse af forskellige typer af måleinstrumenter. Undersøgelsen omfatter propelstrømmåler (vingeinstrument), Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP og elektromagnetisk strømmåler.
Emneord:	Hydrometri, vandføring, måleinstrument, metodeskift, ADCP, elektromagnetisk strømmåler, vingeinstrument, homogenitetsbrud.
Layout:	Grafisk Værksted
Foto forside:	Skjern Å, Ahlergaarde. Niels Bering Ovesen
ISBN:	978-87-7156- 724-3
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	63
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/TR258.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	8
1 Baggrund og formål	10
2 Metode	12
2.1 Valg af målestationer	12
2.2 Instrumenter og måleprocedurer	13
2.3 Test af beregningsprogram og ekstrapolationsrutiner	14
2.4 Statistiske metoder	16
2.5 Litteraturgennemgang af internationale erfaringer med anvendelse af ADCP-instrumenter til måling af vand- føring	17
3 Resultater	18
3.1 Afvigelser i beregnet vandføring, middelhastigheder og tværsnitsarealer	18
3.2 Valg af ekstrapolationsrutiner	21
3.3 Målt andel af vandføringen i tværsnitsprofilen	22
3.4 Internationale erfaringer med anvendelse af ADCP- instrumenter til måling af vandføring	23
4 Diskussion og konklusioner	29
4.1 ADCP-StreamPro mod vinge-instrument	29
4.2 OTT-MFPro mod vingeinstrument	31
4.3 Analyse af homogenitetsbrud i hydrologiske data	31
4.4 Perspektiver og forslag til nye projekter	32
5 Referencer	34
Bilag 1. Statistiske resultater	36
Bilag 2. Måleprofiler, hastighedsfordelinger og fotos	43
Bilag 3. Vandføringsmålinger, resultater	53
Bilag 4. Litteratur	58

Forord

I Danmark er vandløbenes vandføring siden begyndelsen af 1900-tallet blevet målt med propel-strømmålere (vingeinstrumenter). I løbet af de senere år er der gradvis taget andre typer af instrumenter i brug, og i dag anvendes vingeinstrumenter kun i meget begrænset omfang til rutinemæssige vandføringsmålinger ved hydrometriske stationer i Danmark.

I forbindelse med målingerne er der en risiko for, at den anvendte instrumenttype ikke måler helt korrekt, og at der kan forekomme en systematisk afvigelse (bias), så måleresultaterne generelt giver lidt for meget eller for lidt i forhold til den sande værdi. Ved et skifte i instrumenttype er der således risiko for, at der opstår systematiske forskelle i vandføringsmålingerne før og efter skiftet, og deraf følgende homogenitetsbrud i afstrømnings-tidsserier hen over perioden.

Denne rapport indeholder resultaterne af målinger og analyser, der belyser systematiske forskelle i vandføringsmålinger, der er foretaget med tre forskellige typer af måleinstrumenter, der er anvendt i det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljøet og Naturen, NOVANA i perioden 2008-2020. De tre typer er: propel-strømmåler OTT C31 Universalflügel (vingeinstrument), Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP fra Teledyne-RD Instruments (ADCP-StreamPro) og elektromagnetisk strømmåler fra OTT (OTT-MFPro). Efter overgangen til ADCP-StreamPro instrumenter er der i løbet af de seneste par år også sket et skift i den herunder anvendte beregningssoftware. Dette skift medfører yderligere en risiko for homogenitetsbrud, og derfor er endvidere foretaget en sammenligning og vurdering af betydningen af skiftet fra den "gamle" til den "nye" beregningssoftware.

Denne undersøgelse er udført som et samarbejdsprojekt mellem DCE-Aarhus Universitet og Miljøstyrelsen, hvor størstedelen af målingerne er foretaget af Miljøstyrelsen, mens planlægning og en mindre del af målingerne samt alle analyser og selve rapporteringen er foretaget af DCE, Aarhus Universitet. DCE har finansieret AU's andel af projektet.

Sammenfatning

På basis af målekampanjer udført ved ni hydrometriske stationer i Danmark belyses eventuelle systematiske forskelle i vandføringsmålinger i vandløb, der foretages med forskellige typer af måleinstrumenter, og om der hermed er risiko for homogenitetsbrud i afstrømnings-tidsserier. Undersøgelsen omfatter propel-strømmåler OTT C31 Universalflügel (vingeinstrument), ADCP-Acoustic Doppler Current Profiler fra Teledyne-RD Instruments (ADCP-StreamPro) og elektromagnetisk strømmåler fra OTT (OTT-MFPro).

Analyserne viser, at der er tydelige statistisk signifikante forskelle på instrumenternes måleresultater. Forskellene mellem målingerne med de tre instrument-typer varierer på de enkelte stationer mellem -13,1 og +11,1 %. De overordnede tests, hvor samtlige måleresultater indgår, viser, at ADCP-StreamPro-instrumentet måler 2,6 % højere vandføring end vingeinstrumentet, mens OTT-MFPro måler 5,7 % mindre end vingeinstrumentet. Resultaterne viser desuden, at forskellene mellem OTT-MFPro og vingeinstrument opstår pga. forskellig registrering af hastigheden og ikke pga. forskel i tværsnitsarealet. Det samme gælder til dels for forskellen mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument, men her ikke helt så entydigt. Der er samtidig en tendens til, at de procentmæssige forskelle mellem alle tre typer instrumenter er størst ved de mindste vandføringsmålinger, og for forholdet mellem OTT-MFPro og vingeinstrument er der tilsvarende en tendens til, at forskellen i målt strømhastighed er størst ved de laveste hastigheder.

For ADCP-StreamPro-målingerne er betydningen af valg af ekstrapolationsrutiner til beregning af den umålte del af vandføringen ved bund og overflade blevet undersøgt. Konsekvent anvendelse af "power-power"-rutine, som var fast rutine frem til 2019, medfører vandføringsværdier, der i gennemsnit er 1,9 % højere end ved den nuværende procedure med individuel vurdering af bedst egnede beregningsrutine. Der er en tendens til, at instrumenternes forskelle i målt vandføring er mindre i de største vandløb, hvor der også er målt hastighed i en procentuel større andel af profilet end i de mindre vandløb.

I den internationale litteratur, med information om sammenlignende målinger med ADCP og vingeinstrument som reference, er der ikke påvist væsentlige forskelle mellem vandføring målt med de to instrument-typer. Langt de fleste af undersøgelserne er fra USA – og fra meget store floder. Denne undersøgelse er tilsyneladende den første, hvor der er gennemført en systematisk kontrol af ADCP mod vingeinstrument i mindre vandløb.

Indførelse af ADCP-StreamPro til måling af vandføring i større vandløb og OTT-MFPro i de mindre i stedet for de tidligere anvendte vingeinstrumenter har medført homogenitetsbrud i vandføringstidsserierne. MFPro-instrumentet måler med sikkerhed mindre strømhastigheder end de korrekte værdier i måleprofilet, men de specifikke årsager hertil er ikke fastlagt. Turbulens i måleprofilet er en mulig forklaring, der bør undersøges nærmere. Det kan ikke afgøres, om ADCP-StreamPro eller vingeinstrumentet måler den faktisk korrekte (sande) vandføring.

De konstaterede homogenitetsbrud i nedbør-afstrømningsrelationer omkring 2010/11 på en række NOVANA-stationer, der også er en anledning til denne undersøgelse, kan evt. i en vis udstrækning have sammenhæng med skift i måleinstrumenter og i ekstrapolationsrutiner ved vandføringsbestemmelse.

Det anbefales, om muligt, at foretage en genberegning af målestationer med ADCP-StreamPro-målinger fra før 2019 med anvendelse af ny software og nye beregningsrutiner. Endvidere anbefales det at etablere et nyt måleprojekt med et større antal mindre vandløb, hvor der måles med både lille vingeinstrument (klein-flügel) og OTT-MFPro. Muligheden for at korrigere målinger med OTT-MFPro bør herefter undersøges.

Summary

Measurement campaigns carried out at nine hydrometric stations are used to elucidate whether there are any systematic differences in water flow measured by different types of instruments and, thus, whether there is a risk of a homogeneity breach of runoff time series. The study includes propeller instrument OTT C31-Universalflügel (propeller-instrument), ADCP-Acoustic Doppler Current profiler from RD Instruments (ADCP-StreamPro) and electromagnetic velocimeter from OTT (OTT MFPro).

The statistical analyses show that there are clear and significant differences in the results of the measurement instruments. The differences between the measurements at the individual stations vary between -13.1 and +11.1%. The overall tests, where all measurement results are included, show that the ADCP-StreamPro instrument measures 2.6% more than the propeller instrument and that the OTT MFPro instrument measures 5.7% less than the propeller. The results also show that the differences between OTT-MFPro and propeller are caused by different registration of the velocity and not the cross-sectional area. The same partly applies to the relationship between ADCP-StreamPro and propeller, but not quite as clearly. At the same time, there is a tendency for the percentage differences between the instruments to be greatest for the smallest water flow measurements, and, correspondingly, for the relationship between OTT-MFPro and propeller, there is a tendency for the difference in the measured velocity to be highest at the lowest velocities.

For the ADCP-StreamPro measurements, the significance of the choice of extrapolation routines for the calculation of the unmeasured part of the water flow at the bottom and surface has been studied. Consistent use of the "power-power" routine, a regular routine up to 2019, leads to water flow values that are, on average, 1.9% higher than those using the current procedure with individual assessment of the most appropriate calculation routine. There is a tendency for the differences in measured water flow between the instruments to be lower in the largest streams where velocity is measured in a larger proportion of the profile.

In the international literature, with information on comparable measurements with ADCP and propeller instrument as reference, no significant differences between the water flow measured with the two instruments have been identified. The vast majority of the studies are from the USA – and from very large rivers. This study appears to be the first to conduct a systematic control of ADCP against propeller instruments in small streams.

Introduction of ADCP-StreamPro for the measurement of water flow in large streams and OTT MFPro in the smaller streams instead of the previously applied propeller instruments has resulted in a homogeneity breach of the water flow time series. The OTT-MFPro instrument undoubtedly measures a smaller water velocity than the 'true' one in the measurement profile, but the specific reason for this is not determined. Turbulence in the measurement profile is a possible explanation, which should be investigated further. It cannot be decided whether the ADCP-StreamPro or the propeller instrument measures 'true' or actually correct water flow.

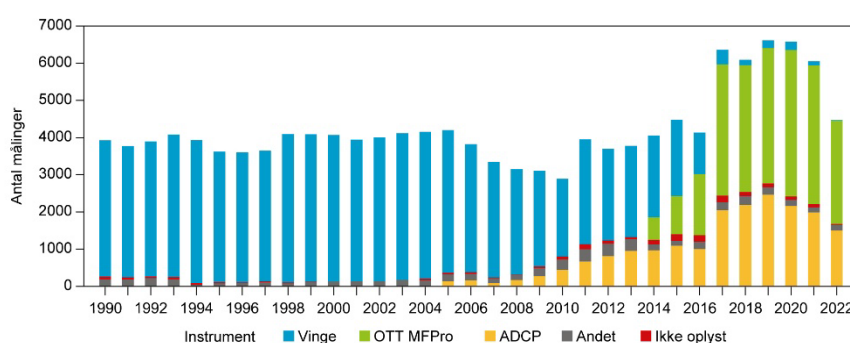
The observed homogeneity breach in precipitation-runoff relations around 2010/11 at a number of NOVANA measurement stations may, to a certain extent, be linked to changes in measurement instruments for water flow determination.

It is recommended, if possible, to recalculate results from stations with ADCP-StreamPro measurements from before 2019 using new software and new computational routines. In addition, it is recommended to establish a new measurement project including many small-sized streams using both propeller (Klein-Flügel) and OTT-MFPro. The possibility of correcting measurements with OTT-MFPro should then be examined.

1 Baggrund og formål

I Danmark er vandløbenes vandføring blevet målt med propel-strømmålere (vingeinstrumenter) siden de første målestationer blev etableret for mere end 100 år siden. I løbet af de senere årtier er denne praksis gradvis blevet ændret, og nye typer af instrumenter er taget i brug jf. figur 1.1. I begyndelsen af 2005 blev de første ADCP- (Acoustic Doppler Current Profiler) instrumenter taget i anvendelse i nogle af de største vandløb, og fra omkring 2010 er det den mest almindelig type i de fleste større vandløb. I de mindre vandløb er vingeinstrumenterne fra 2014 og fremad gradvis blevet erstattet med elektromagnetiske strømmålere (OTT MFPro). I dag anvendes vingeinstrumenter således kun i ringe omfang til rutinemæssige vandføringsmålinger ved hydrometriske stationer i Danmark.

Figur 1.1 Antal vandføringsmålinger ved samtlige hydrometriske stationer under NOVANA-programmet fra 1990 til 2022 med fordeling på de forskellige instrument typer. (Data for 2022 er ikke komplet).



Dette projekt har til formål at belyse eventuelle systematiske forskelle i vandføringsmålinger, der foretages med de tre forskellige typer af måleinstrumenter, herunder om der er risiko for heraf følgende homogenitetsbrud i afstrømnings-tidsserier i perioden, hvor der er skiftet instrumenter i NOVANA-perioden 2008-2020. Undersøgelsen skal ikke danne grundlag for eventuelle korrektioner i eksisterende dataserier, men såfremt der konstateres signifikante afvigelser, vil der evt. skulle foretages yderligere undersøgelser.

Undersøgelsen omfatter vingeinstrument af typen OTT C31 (Universalflügel), ADCP fra Teledyne-RD Instruments (ADCP-StreamPro) og elektromagnetisk strømmåler fra OTT (MFPro).

Efter overgangen til brug af ADCP-StreamPro-instrumenter er der i løbet af de seneste par år også sket et skift i den anvendte beregningssoftware. De forskellige beregningsrutiner har især betydning for den del af vandføringen, der opgøres ved ekstrapolation til de ikke-målte dele af tværprofilet i overfladen, ved bunden og ved bredderne. Dette skift medfører yderligere en risiko for homogenitetsbrud, og derfor er der desuden foretaget en sammenligning og vurdering af betydningen af skiftet fra den "gamle" til den "nye" beregningssoftware.

Overgangen fra mekaniske til akustiske og elektromagnetiske måleinstrumenter er i løbet af de seneste ca. 30 år sket i en stor del af verden, og i forbindelse med denne undersøgelse er der lavet en udredning af den eksisterende viden på området. Det er sket ved en gennemgang af relevante internationale artikler og opsamling af den eksisterende erfaring i Danmark.

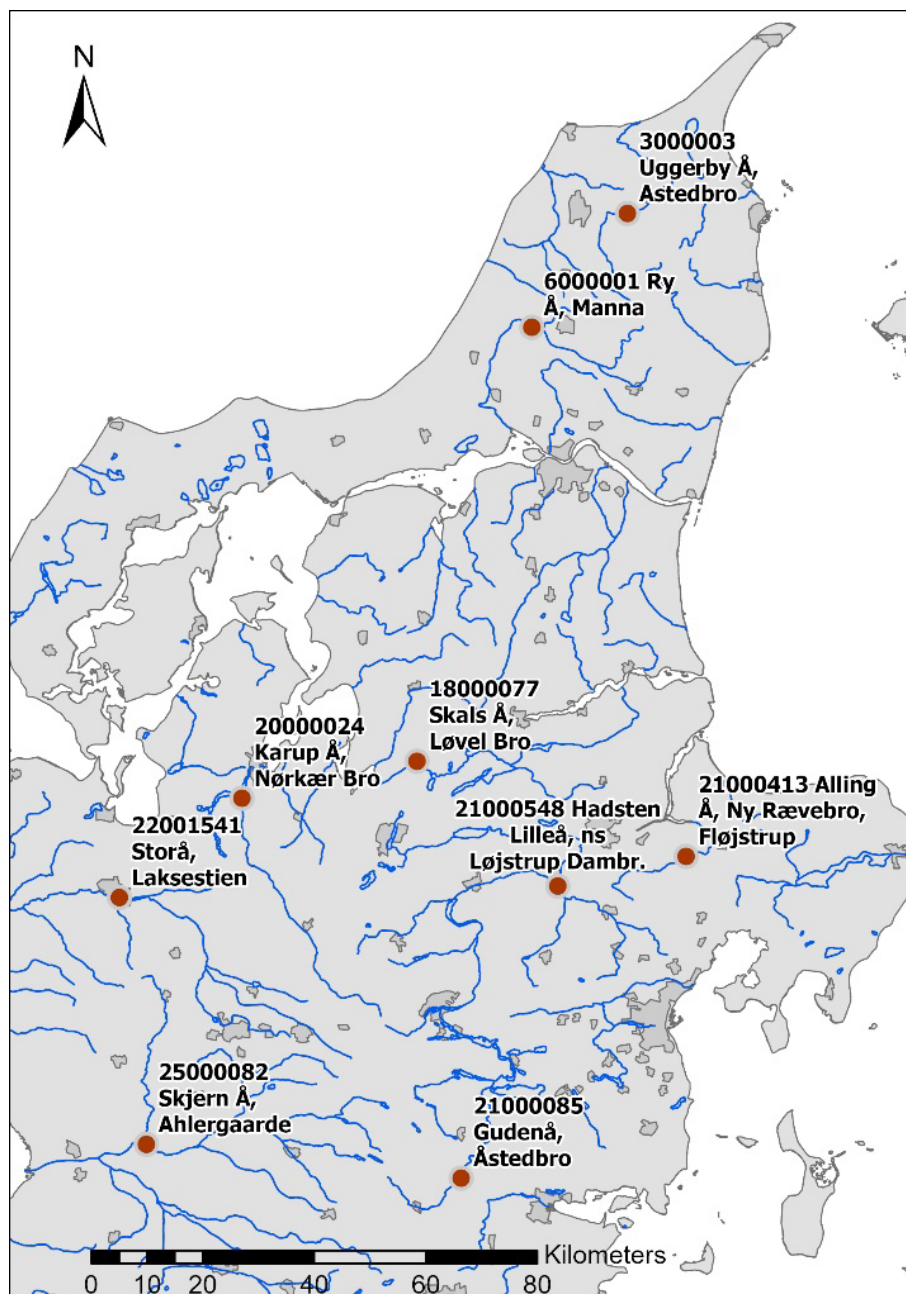
For en række oplande til NOVANA-målestationer er det påvist, at nedbør-afstrømnings-relationen i perioden efter 2010 er ændret i forhold til perioden før 2010, Svendsen og Jung-Madsen (2020). Denne ændring indikerer, at der er sket et homogenitetsbrud på enten nedbørs- og/eller afstrømningsbestemmelserne, og det forhold har været en væsentlig årsag til gennemførelsen af dette projekt.

2 Metode

2.1 Valg af målestationer

Der er udvalgt 9 målestationer, der repræsenterer store og middelstore danske vandløb. Stationernes placering fremgår af figur 2.1, middelvandføring og oplandsareal-størrelse fremgår af tabel 2.1, mens fotos fra stationerne findes i bilag 2.

Figur 2.1. Placering af de 9 test-målestationer.



De rutinemæssige vandføringsmålinger på de 9 stationer er, efter overgangen fra vingeinstrumenter, overvejende foretaget med ADCP-StreamPro-instrument, og således vil undersøgelsen give en direkte vurdering af betydningen af skiftet mellem disse to typer af instrumenter.

INOVANA-programmets opgørelser af vand- og stoftilførslerne til de danske farvande indgår primært data fra de store og mellemstore vandløb, og betydningen af eventuelle forskelle mellem instrumenttyperne repræsenteres således godt af de 9 udvalgte stationer.

Idet målingerne i denne undersøgelse er blevet foretaget af hhv. Miljøstyrelsens enheder i Øst- og Nordjylland samt af DCE, Aarhus Universitet, Silkeborg, er alle de udvalgte test-stationer af logistiske årsager beliggende i Midt- og Nordjylland.

Tabel 2.1. Målestationer med angivelse af årlig middelvandføring ved stationen og ansvarlig enhed for test-målingerne.

*Skals Å: Kun venstre brofag er målt. **ingen målinger med OTT-MFPro.

Stations-nummer	Vandløb, lokalitet	Oplandsareal, km ²	Årlig middel-vand-føring, l/sek.	Ansvarlig for målingerne
03000003	Uggerby Å, Astedbro	153	1.940	MST Nordjylland
06000001	Ry Å, Manna	285	3.700	MST Nordjylland
18000077	Skals Å, Løvel Bro*	556	5.140	MST Østjylland
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	597	7.700	MST Østjylland
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	238	1.920	MST Østjylland
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambr.	301	2.920	MST Østjylland
21000085	Gudenå, Åstedbro	189	2.840	MST Østjylland
22001541	Storå, Laksestien	718	11.500	DCE Silkeborg
25000082	Skjern Å, Ahlergaarde**	1055	17.650	DCE Silkeborg

2.2 Instrumenter og måleprocedurer

Der indgår test-målinger med følgende instrumenter:

- ADCP: StreamPro - RD Instruments, Teledyne:
 - <http://www.teledynemarine.com/streampro>
- Vingeinstrument: OTT C31 Universalflügel, komponentpropel A, 100 mm:
 - <https://www.ott.com/en-uk/products/water-flow-3/ott-c31-958/>
- Elektromagnetisk punkthastighedsmåler: OTT MFPro:
 - <https://www.ott.com/en-uk/products/water-flow-3/ott-mf-pro-water-flow-meter-968/>

Der er foretaget 3 målekampanjer med 3 gentagelser med hver af de 3 instrumenttyper ved hver af de 9 stationer, dog ingen målinger med OTT-MFPro i Skjern Å, - i alt 234 målinger. Målerunderne er fordelt hen over året, og herved er der opnået en vis variation i vandføringsniveau og i mængden af grøde i vandløbene. Resultater for samtlige målinger fremgår af bilag 3. For at sikre en nærværd konstant vandføring i løbet måledagene er alle målingerne udført efter perioder på ca. en uge, hvor der ikke er faldet nedbør i betydelige mængder.

Der er målt i det profil, der vurderes bedst på lokaliteten, og der er målt i samme profil ved alle målinger og ved alle målerunder. Profilet og strækningen nedstrøms herfor er dokumenteret med fotos (bilag 2). ADCP-StreamPro opspændes med trækwire i henhold til teknisk anvisning, fra Poulsen og Ovesen (2011). Vingeinstrument- og OTT-MFPro-målingerne er udført med stang ved at vade i vandløbet eller fra bro. Evt. grøde er fjernet i og omkring måleprofilet i henhold til den tekniske anvisning. Grødetal for strækningen bedømmes inden fjernelse af grøde.

Figur 2.2 De 3 instrumenttyper der indgår i testen. Øverst til venstre: OTT C31 Universalflygel (Vingeinstrument), øverst til højre: Elektromagnetisk punkthastighedsmåler (OTT-MFPro), nederst: ADCP-StreamPro.



Ved målerunderne er der målt i følgende rækkefølge:

- Instrument 1 – måling 1; Instrument 2 – måling 1; Instrument 3 – måling 1
- Instrument 1 – måling 2; Instrument 2 – måling 2; Instrument 3 – måling 2
- Instrument 1 – måling 3; Instrument 2 – måling 3; Instrument 3 – måling 3

ADCP-StreamPro-måling er ikke foretaget samtidig med evt. vademåling. Ved efterfølgende vademålinger er måling med instrument 2 først igangsat når måling 1 er nær ved fjerneste bred. Ved måling fra bro er måling med instrument 2 igangsat, når instrument 1 er i en afstand på mindst 2 meter.

Ved den enkelte målerunde er det tilstræbt at anvende præcis de samme vertikaler og målepunkter med hhv. vingeinstrument og OTT-MFPro. Antal og placering af vertikaler og målepunkter er fastsat i henhold til teknisk anvisning. Før og efter hver måling er vandstanden aflæst på vandstandsbræt suppleret med tommestok med en nøjagtighed på ca. 1 mm.

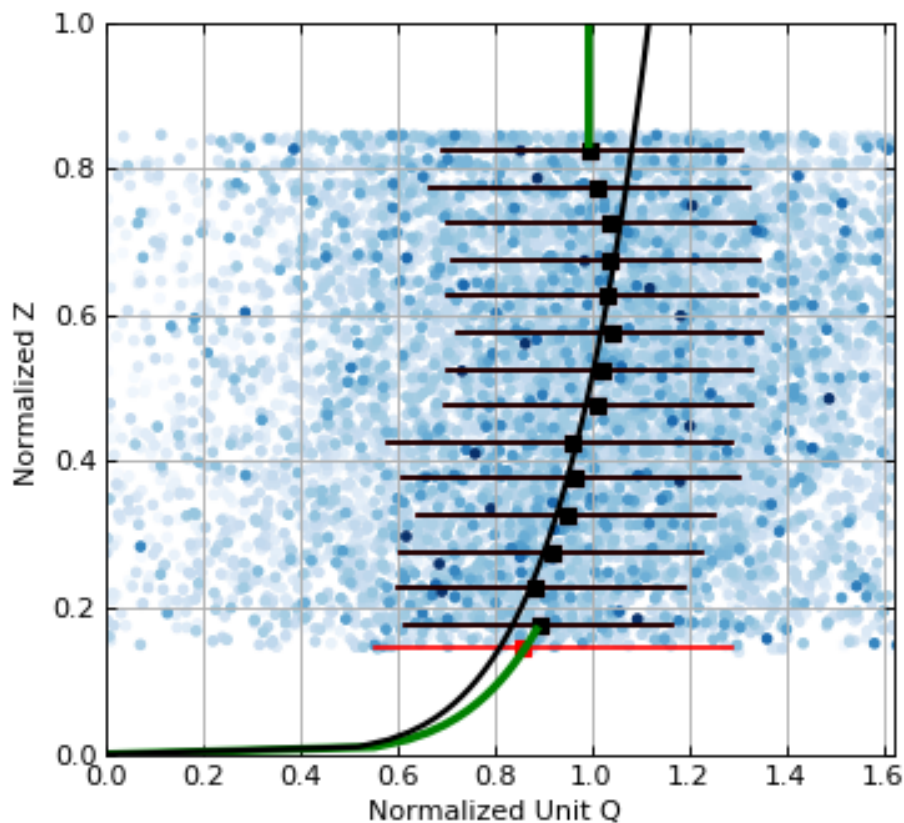
Alle målinger er overført til HYMER, der er det nationale fagsystem til arkivering og behandling af hydrometriske data. Til hver enkelt måling registreres alle relevante oplysninger bl.a. vandstand fra skalaaflysning og præcis angivelse af klokkeslæt jf. normal procedure. Alle målinger med vingeinstrument og OTT-MFPro er genberegnet med HYMERs beregningsrutiner, og det er resultaterne herfra, der er anvendt i analyserne. HYMERs beregninger er anvendt, idet det herved sikres, at forskellig software til instrumenterne ikke har indflydelse på resultaterne.

2.3 Test af beregningsprogram og ekstrapolationsrutiner

Ved måling, behandling og beregning af vandføring fra ADCP-StreamPro-målingerne anvendes producentens software og de dertil hørende beregningsrutiner. Herunder estimeres også vandføringen i de dele af profilet, der ikke er dækket af hastighedsregistreringerne. Det er områderne lige under overfladen i den såkaldte "blanking zone" (Teledyne RD Instruments. 2022), langs med bunden og nær ved bredderne. I disse zoner må hastighederne estimeres ved hjælp af ekstrapolationsrutiner ud fra de registrerede data, og der er flere muligheder for valg af metoder, hvilket også kan give forskelle i den beregnede vandføring.

Indtil 2018 anvendtes udelukkende producentens software "Winriver II" (Teledyne RD Instruments, 2021) til beregning af vandføringen fra ADCP-målinger med ADCP-StreamPro. Herunder er som standard udelukkende anvendt ekstrapolationsrutinen "power" både op mod overfladen og ned mod bunden ("power-power"). Principperne for de forskellige ekstrapolationsmetoder fremgår af eksempel i figur 2.3.

Figur 2.3. Eksempel på dybde (Z) og enheds-vandføring (Q) fra en ADCP- StreamPro måling med ved 21000548, Lille Å, normaliseret for hele målingen. Grøn kurve angiver de af QRev anbefalede ekstrapolationsrutiner og dermed den automatiske beregning, i dette tilfælde "constant-no-slip". Sort kurve angiver en valgt genberegning med alternativ ekstrapolationsrutine, i dette tilfælde "power-power". De changerende blå prikker er hver dybdecelle i målingen, hvor farven er vægtet efter vandføringen, så jo mørkere blå, des mere vandføring er der i ensemblet, der indeholder den celle. De sorte firkanter viser medianværdierne af den normaliserede vandføring ved den gennemsnitlige normaliserede dybde for alle data inden for en 5 procent forøgelse af den normaliseret dybde. Whiskers på de sorte firkanter viser spændet på 50 procent af dataene rundt om medianværdien. Et dybdesegment, som indeholder for få data til at indgå i beregningerne af ekstrapolationen, vises med rød firkant og røde whiskers. (plot fra QRev, USGS).



Fra 2019 og fremad er i stedet anvendt beregningsprogrammet "QRev", der er udviklet af USGS (USGS, 2020). I stedet for at anvende en fast default beregningsmetoder foretages en analyse af de målte hastighedspunkter, og på basis heraf anbefales de bedst egnede metoder til ekstrapolation mod hhv. overflade og bund af måleprofilen. I praksis har det vist sig, at de oftest anbefalede metoder er "constant" for beregning af det umålte areal under overfladen og "no slip" for beregning langs bunden. Afhængigt af hastighedsfordelingen i tværsnitsprofilen anbefaler den nye software i nogle tilfælde fortsat metoden "power". Beregningerne i denne undersøgelse er også foretaget i "QRev".

Det er iagttaget, at beregningerne efter anbefalingerne i den nye software, QRev, i de fleste tilfælde giver en mindre reduktion i den beregnede vandføring. Derfor er der i forbindelse med denne undersøgelse foretaget et sæt supplerende beregninger af samtlige målinger, hvor der udelukkende er anvendt "power"-metoderne i ekstrapoleringsrutinerne. Ved at sammenligne med resultaterne af beregningerne efter de nuværende procedurer er betydningen af dette skift i metode undersøgt og kvantificeret.

Samtidig med ændringen i beregningsrutinen er der også ændret i proceduren ved selve målingen, så der oftere er lavet test for evt. "moving bed". Moving bed betyder, at der er sedimenttransport langs vandløbsbunden, hvilket kan påvirke ADCP-StreamPro-målingen og medføre en negativ bias i den målte vandføring. Betydningen af denne ændring i procedure er ikke analyseret specifikt i denne undersøgelse.

2.4 Statistiske metoder

De målte vandføringer, strømhastigheder samt tværsnitsarealer er analyseret statistisk for, om de enkelte instrumenter/metoder giver forskellige værdier af de 3 variable.

Den statistiske analyse af de 3 nævnte variable gennemføres i en såkaldt mixed variansanalysemodel (Snedecor & Cochran, 1989). I sådan en model analyseres responsvariablen både med hensyn til faste og tilfældige designfaktorer. I denne statistiske analyse er den faste faktor instrument (3 forskellige instrumenter), og de tilfældige faktorer er station (9 forskellige) og dato for en given station (2 eller 3 forskellige datoer). Den faste faktor (instrument) har betydning for middelværdistrukturen i modellen, og de tilfældige faktorer relaterer sig til variansstrukturen i modellen. Modelvariansen deles op i 3 komponenter: mellem stationer, mellem datoer for en given station og endelig mellem observationer på samme dato for en given station. Med andre ord så antages det, at de 9 stationer er et tilfældigt udtag fra en større population af mulige stationer, at datoer er tilfældige (der går forholdsvis lang tid mellem målerunderne), samt at observationer på samme dato med samme instrument er stokastisk uafhængige. Der er en risiko for, at observationer på samme dato kan anskues som pseudoreplikater. Dette er i vid udstrækning forsøgt undgået, ved at instrumenterne roteres mellem de 9 målinger af responsvariablen. Derfor kan man med en vis sikkerhed antage, at målinger fra samme dato er ægte replikater.

Med den anvendte metode sikres det, at alle observationer inddrages i den statistiske analyse. Den statistiske analyse består dels af en analyse af, om de enkelte varianskomponenter bidrager signifikant til variansen i modellen, samt om instrumenter giver signifikant forskellige resultater. Det sidste er analyseret ved en fælles test af effekten af instrumenter samt en række parvise test mellem par af instrumenter (3 parvise test i alt). De parvise test er korigeret for P-værdien med Bonferronis metode (Snedecor & Cochran, 1989).

Samme statistiske analyse er også foretaget for hver station for sig. I disse analyser indgår varianskomponenten for variansen mellem stationer således ikke.

For at sikre, at antagelsen om normalfordeling er opfyldt, er data for vandføring og tværsnitsareal transformeret med den naturlige logaritme før den statistiske analyse.

I bilag 1 er resultaterne af de statistiske analyser givet i detaljer. For variabelen strømhastighed er den beregnede forskel mellem værdier for et par af instrumenterne lig den absolutte forskel; for de to logaritmetransformerede variable (vandføring og tværsnitsareal) er den beregnede forskel logaritmen til en relativ forskel.

2.5 Litteraturgennemgang af internationale erfaringer med anvendelse af ADCP-instrumenter til måling af vandføring

Der er gennemført et review af den internationale litteratur med henblik på at opsamle de erfaringer, som er indhentet med gennemførelse af test af instrumenter til måling af vandføring i vandløb. Der blev foretaget to søgninger i Web of Science med søgekriterierne:

1. 'Discharge & Measurements & Instruments': N = 338 titler
2. 'ADCP & Stream & Flow': N = 171 titler.

Efter en gennemlæsning af abstracts var der 38 artikler, som umiddelbart synes relevante for emnet i søgning 1, samt 20 artikler i søgning 2. Der var et stort overlap mellem de to resultater fra søgning 1 og 2. Efter en yderligere screening af artiklerne blev i alt 26 artikler og rapporter fundet relevante for projektet, og disse blev hentet hjem via link til deres udgivere på Aarhus Universitets offentlige adgang til publikationer. Enkelte rapporter blev hentet fra de institutioner, der var de ansvarlige udgivere.

De 26 artikler blev herefter læst igennem, og der blev fundet i alt 6 relevante artikler, som med anvendelse af forskellige metoder havde gennemført sammenlignende målinger af vandføring med forskellige instrumenter i vandløb og/eller strømrrender, samt tests af måleinstrumenter i det, som ofte kaldes en 'regatta'. En regatta gennemføres som en interkalibrering af både instrumenter og de udførende personer i forskellige måletværsnit af vandløb. De resterende artikler omhandlede primært anvendelse af forskellige typer af Doppler-instrumenter til måling af eksempelvis sediment-transport i vandløb samt test af måleinstrumenter i strømrrender.

3 Resultater

3.1 Afvigelser i beregnet vandføring, middelhastigheder og tværsnitsarealer

De 9 teststationer repræsenterer vandføringsværdier på mellem ca. 700 og 14.000 l/s og middel-strømhastigheder fra 0,2 til 0,7 m/s. Middeldybder mellem 0,55 og 1,27 m, bredder fra 6 til 19 m og vandspejlsfald fra 0,1 til 1,1 promille (tabel 3.1). Ved alle testmålingerne, bortset fra én af målerunderne i Storå, er vandføringen lavere end års-middelvandføringen ved målestationerne (tabel 2.1). Hastighedsprofiler og vertikalhastigheder findes i bilag 2 med eksempler fra én måling fra hver af stationerne.

Afvigelserne mellem vandføring målt med henholdsvis ADCP-StreamPro, vingeinstrument og OTT-MFPro strømmåler ved de 9 stationer ligger mellem -13,1 og +11,1 % jf. resultaterne af de statistiske analyser (tabel 3.2). Størst forskel er der mellem StreamPro og MFPro, hvor MFPro måler signifikant mindre værdier end StreamPro på samtlige stationer.

Tabel 3.1. Vandføring, middelhastighed, middeldybde, tværsnitsareal og bredde angivet som middelværdier for samtlige testmålinger samt vandspejlsfald, målt én gang på en ca. 200 m's strækning op- og nedstrøms for stationen.

Vandløb, lokalitet	Vand- føring, l/s	Middelha- stighed, m/s	Middel- dybde, m	Tværsnits- areal, m ²	Bredde,	Vandspejls- fald, 0/00
Uggerby Å, Åstedbro	1053	0,25	0,63	4,3	6,8	0,3
Ry Å, Manna	1780	0,37	0,55	4,7	8,5	0,5
Skals Å, Løvel Bro	2031	0,36	0,96	5,7	6,0	0,3
Karup Å, Nørkær Bro	6075	0,50	0,76	12,2	16,1	0,3
Gudenå, Åstedbro	1507	0,22	0,57	7,0	12,1	0,6
Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	720	0,21	0,56	3,9	6,8	0,1
Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	1334	0,32	0,68	4,2	6,2	1,1
Storå, Laksestien	9430	0,69	1,02	13,3	13,1	0,7
Skjern Å, Ahlergaarde	13650	0,58	1,27	23,9	19,0	0,4

Tabel 3.2. Afvigelser i målt vandføring, %. Middel for parvis sammenligning af samtlige målinger på hver af stationerne. Angivelse af signifikansniveau: Ingen angivelse: ikke signifikant; *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001.

Station nr.	Vandløb, lokalitet	(StreamPro-Vinge) /	(MFPro-Vinge) /	(MFPro-StreamPro) /
		Vinge, %	Vinge, %	StreamPro, %
3000003	Uggerby Å, Åstedbro	4,5**	-9,2***	-13,1***
6000001	Ry Å, Manna	1,9	-8,1***	-9,7***
18000077	Skals Å, Løvel Bro	11,1***	-2,6**	-12,4***
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	6,2***	-3,3**	-8,9***
21000085	Gudenå, Åstedbro	-6,6***	-9,3***	-2,9*
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	4,5	-4,9	-9,0***
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	1,3	-5,0*	-5,9**
22001541	Storå, Laksestien	0,7	-3,6***	-4,2***
25000082	Skjern Å, Ahlergaarde	0,8		

Den overordnede test, hvor resultater fra alle målinger er analyseret sammen, viser en gennemsnitlig forskel mellem OTT-MFPro og ADCP-StreamPro på 8,2 % (tabel 3.3). ADCP-StreamPro måler ved alle stationer, bortset fra Gudenå, Åstedbro, højere vandføring end vingeinstrument, og OTT-MFPro måler ved alle stationer mindre vandføring end vingeinstrument. I gennemsnit måler ADCP-StreamPro 2,6 % højere og OTT-MFPro 5,7 % mindre vandføring end vingeinstrumentet. Forskellene i de overordnede tests er tydeligt signifikante.

Tabel 3.3. Afvigelser i målt vandføring, %. Overordnet test af parvis sammenligning af samtlige målinger fra alle stationerne. Angivelse af signifikansniveau: *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001.

(StreamPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-StreamPro) / StreamPro, %
2,6***	-5,7***	-8,2***

De konstaterede forskelle i vandføringsmålingerne kan grundlæggende skyldes, at enten strømhastigheden eller profilets tværsnitsareal, eller begge, registreres forskelligt. Desuden kan afvigelserne skyldes forskellige beregnings- og ekstrapolationsrutiner i den tilhørende software.

Forskelle i hastigheden (tabel 3.4) udviser for de fleste af vandløbene samme mønster, som for vandføringen. Dette gælder især for forholdene mellem OTT-MFPro og vingeinstrumentet, hvor den overordnede test viser en gennemsnitlig forskel på 5,4 % (tabel 3.5). I forholdet mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrumentet er det ikke helt så entydigt, at forskelle i hastighedsregistrering svarer til forskelle i vandføring. Især Skals Å har en meget stor forskel (21,9 %).

For flere af stationerne er der en signifikant forskel fra 0,1 til 8,6 % i tværsnitsarealerne mellem ADCP-StreamPro og vinge (tabel 3.6). Den overordnede test viser dog, at der i gennemsnit kun er en forskel på 0,3 % (tabel 3.7). Forskellene i målt tværsnitsareal mellem OTT-MFPro og vingeinstrument er generelt meget ringe (0 til 1,3 %) og overordnet kun 0,3 % (tabel 3.7). Ved vingeinstrument- og OTT-MFPro målingerne er arealet bestemt på samme måde ved opmåling, og med ADCP-StreamPro er det målt med akustisk profilering.

Resultaterne for OTT-MFPro og vingeinstrument viser, at de observerede forskelle i vandføring har en direkte sammenhæng med tilsvarende forskelle i hastighedsregistreringen og ikke med forskelle i tværsnitsarealet. For forholdet mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument er der noget mere variation i forskellene, men overordnet set gælder det samme her.

Tabel 3.4. Afvigelser i målt middel-strømhastighed, %. Middel for parvis sammenligning af samtlige målinger på hver af stationerne. Angivelse af signifikansniveau: ingen angivelse: ikke signifikant; *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001.

Station nr.	Vandløb, lokalitet	(StreamPro-Vinge) /	(MFPro-Vinge) /	(MFPro-StreamPro) /
		Vinge, %	Vinge, %	StreamPro, %
3000003	Uggerby Å, Åstedbro	3,8*	-9,1***	-12,4***
6000001	Ry Å, Manna	1,7	-6,6***	-8,0***
18000077	Skals Å, Løvel Bro	21,9***	-2,4	-19,8***
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	2,7*	-3,4*	-5,9***
21000085	Gudenå, Åstedbro	-5,5***	-9,8***	-4,5**
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	-1,1	-4,5	-3,1
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	0,5	-4,2	-4,4
22001541	Storå, Laksestien	1,8	-2,9***	-4,9***

Tabel 3.5. Afvigelser i målt middel-strømhastighed, %. Overordnet test af parvis sammenligning af samtlige målinger fra alle stationerne. Angivelse af signifikansniveau: *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001

(StreamPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-StreamPro) / StreamPro, %
3,2***	-5,4***	-7,9***

Tabel 3.6. Afvigelser i målt tværsnitsareal, %. Middel for parvis sammenligning af samtlige målinger på hver af stationerne. An-givelse af signifikansniveau: Ingen angivelse: ikke signifikant; *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001.

Station nr.	Vandløb, lokalitet	(StreamPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-Vinge) / Vinge, %	(MFPro-StreamPro) / StreamPro, %
3000003	Uggerby Å, Astedbro	0,5	-0,5	-1,0
6000001	Ry Å, Manna	0,1	-1,3**	-1,4**
18000077	Skals Å, Løvel Bro	-8,6***	-0,2	9,3***
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	3,0***	-0,1	-3,1***
21000085	Gudenå, Åstedbro	-1,9***	0,0	1,9***
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	4,7***	-0,1	-4,5***
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	1,4***	0,1	-1,4***
22001541	Storå, Laksestien	-1,3*	-0,4	1,1

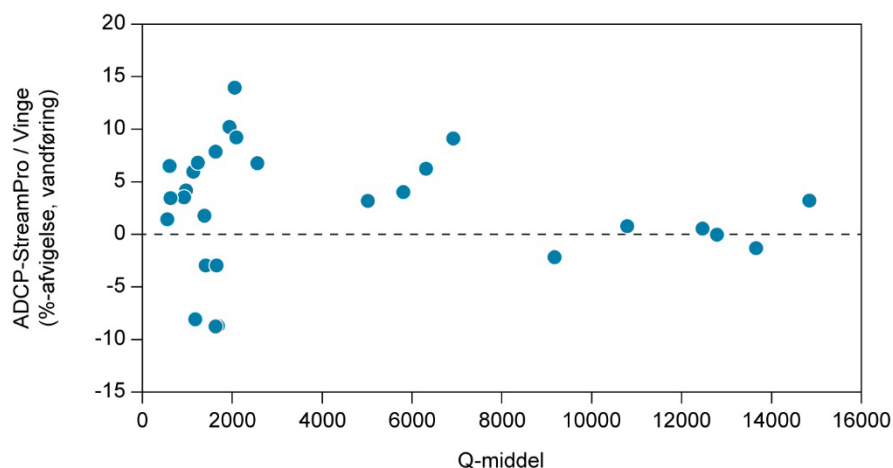
Tabel 3.7. Afvigelser i målt tværsnitsareal, %. Overordnet test af parvis sammenligning af samtlige målinger fra alle stationerne. Angivelse af signifikansniveau: Ingen angivelse: ikke signifikant; *: P<0,05; **: P<0,01; ***: P<0,001

(StreamPro - Vinge) / Vinge, %	(MFPro - Vinge) / Vinge, %	(MFPro - StreamPro) / StreamPro, %
-0,3	-0,3	0,1

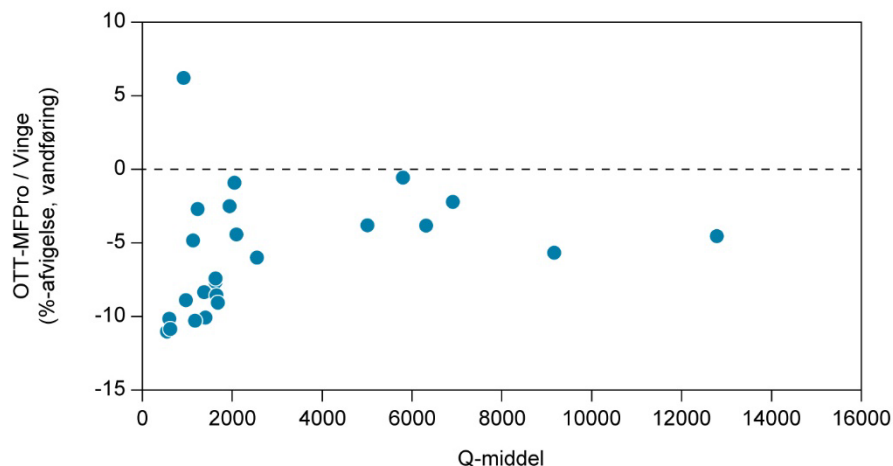
Der er en tendens til, at den procentmæssige forskel mellem instrumenterne er størst ved de laveste vandføringsmålinger (figur 3.1 og 3.2). Der er dog en del spredning i data, så det må antages, at lokale hydrauliske forhold i det enkelte vandløb har betydning for, hvor store forskelle målingerne giver. Der kan således ikke opstilles nogen specifik signifikant sammenhæng mellem de konstaterede forskelle i målt vandføring og vandføringen på måledagen, hvilket gælder for både ADCP-StreamPro og OTT-MFPro i forhold til vinge.

For forholdet mellem OTT-MFPro og vingeinstrumentet er der tilsvarende en tendens til, at forskellen i målt strømhastighed er størst ved de laveste hastigheder (figur 3.3). Også her er der en del spredning i data, hvilket igen må tilskrives de forskellige hydrauliske forhold på strækningerne omkring målestationerne.

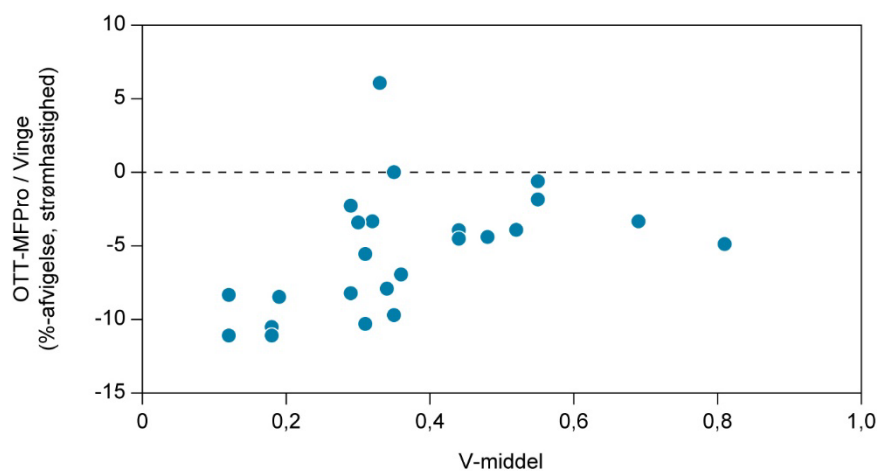
Figur 3.1. Relativ afvigelse i % mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument i forhold til målt vandføring, Q i l/sek. Data fra hver station med middel af 3 målinger fra hver målerunde.



Figur 3.2. Relativ afvigelse i % mellem OTT-MFPro og vingeinstrument i forhold til målt vandføring, Q i l/sek. Data fra hver station med middel af 3 målinger fra hver målerunde



Figur 3.3. Relativ afvigelse i % mellem OTT-MFPro og vingeinstrument i forhold til målt middelhastighed i tværprofil, V i m/sek. Data fra hver station med middel af 3 målinger fra hver målerunde.



3.2 Valg af ekstrapolationsrutiner

Alle målinger foretaget med ADCP-StreamPro er analyseret og beregnet i USGS-software, QRev, med anvendelse af de herved anbefalede ekstrapolationsrutiner, der svarer til nuværende praksis. Endvidere er alle målingerne re-beregnet udelukkende med anvendelse af "power-power"-beregningsmetoder, hvilket antages at svare til standardproceduren frem til 2019. Forskellene mellem de herved beregnede vandføringer er som middel for hver station angivet i tabel 3.8.

Forskellene i beregnet vandføring med anvendelse af hhv. gammel og ny standardprocedure ligger mellem -0,6 og +5,5 %. Konsekvent anvendelse af "power-power"-metoden giver således overvejende højere værdier, og afvigelsen mellem de forskellige standardprocedurer er som middel for alle ADCP-StreamPro-målingerne på de 9 stationer opgjort til 2,0 %.

Eksempler på vertikal-profiler med hhv. "constant-no-slip" og "power-power" fra hver af de 9 stationer fremgår af bilag 2. Heraf ses, at den vertikale hastighedsfordeling har stor betydning for, hvor betydelig forskellen i den beregnede vandføring bliver, afhængigt af hvilke ekstrapolationsmetoder der anvendes.

Tabel 3.8. Afvigelse i beregnet vandføring for ADCP-StreamPro-målingerne med anvendelse af forskellige standardprocedurer for valg af ekstrapolationsrutiner (gennemsnit for hver station). QRev: se tekst.

Station nr.	Vandløb, lokalitet	(power-power – QRev-anbefalet) / QRev-anbefalet, %
3000003	Uggerby Å, Åstedbro	2,5
6000001	Ry Å, Manna	3,5
18000077	Skals Å, Løvel Bro	2,0
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	-0,6
21000085	Gudenå, Åstedbro	1,3
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	2,5
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	0,5
22001541	Storå, Laksestien	5,5
25000082	Skjern Å, Ahlergaarde	-0,3

Hvis der er sediment i transport langs vandløbsbunden, såkaldt "moving bed", bliver ADCP-instrumentets positionering forstyrret. Hvis der ikke gennemføres en test for dette inden selve målingen, kan instrumentet ikke lave en korrektion herfor, og det vil medføre systematisk fejl (underestimering) af vandføringen.

"Moving bed" er i denne undersøgelse medtaget i beregningerne, hvor det er konstateret, hvilket det er ved nogle af målingerne i Skjern Å og i Karup Å. I sammenligningerne af betydningen af de forskellige interpolationsrutiner vil de målinger, hvor der er konstateret "moving bed", altså blive sammenlignet med beregninger af vandføringen med "power-power" uden "moving bed". Det betyder, at for de 2 pågældende stationer vil effekten af manglende korrektion for "moving bed" give et fejlagtigt billede af betydningen af de forskellige interpolationsrutiner. Den reelle forskel kan derfor antages at være større end angivet, og hvis resultaterne renses for "moving bed"-forskellen, er den gennemsnitlige betydning af interpolationsrutinerne for alle 9 stationer på 2,6 % imod de 2,0 %, hvor betydningen af manglende "moving bed"-test er inkluderet.

3.3 Målt andel af vandføringen i tværsnitsprofilen

For ADCP-StreamPro-målingerne ligger den målte andel af vandføringen i tværsnittet for de 9 stationer mellem 59 og 77 % (tabel 3.9). Den resterende andel er beregnet ved hjælp af ekstrapolering.

Ifølge udkast til ISO-standard (ISO 24578, 2019) kræves det, at for at måleforholdene kan karakteriseres som gode, skal forholdet ($Q_{\text{målt}}/Q_{\text{total}}$) være mindst 0,65. I den endelige version af standarden (ISO 24578, 2021) er dette afsnit dog ikke medtaget. Af tabel 3.9 ses det, at dette forhold ikke er opfyldt for 3 af teststationerne.

ISO 24578 er udkommet i ny version i 2021. I den tidligere tekniske rapport, ISO/TR 24578 fra 2012 blev der henvist til en anbefaling om, at ADCP'en skulle måle mindst 40 % af tværsnitsarealet for at opnå god kvalitet.

Der kan ikke umiddelbart konstateres sammenhæng mellem målt andel og forskel i vandføring mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument. Der er dog det resultat, at de to største vandløb også har den mindste forskel i sammenligningen af måleresultaterne mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument.

Tabel 3.9. Målt andel af vandføring, Q i tværprofil for ADCP-StreamPro-målingerne (gennemsnit for hver station)

Station nr.	Vandløb, lokalitet	Målt andel af Q i profil, %
3000003	Uggerby Å, Åstedbro	63,3
6000001	Ry Å, Manna	59,0
18000077	Skals Å, Løvel Bro	66,6
20000024	Karup Å, Nørkær Bro	67,4
21000085	Gudenå, Åstedbro	67,2
21000413	Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup	61,8
21000548	Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug	65,9
22001541	Storå, Laksestien	77,0
25000082	Skjern Å, Ahlergaarde	75,4

3.4 Internationale erfaringer med anvendelse af ADCP-instrumenter til måling af vandføring

Morlock (1996) har i en rapport fra US Geological Survey udført en sammenlignende undersøgelse af vandføringsmålinger med Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP RD instruments) (600-1200 kHz) under feltforhold med konventionelle metoder, som her er beregning af vandføring ud fra en etableret Q/H-relation og/eller måling med et mekanisk vingeinstrument. Målinger blev udført ved 12 målestationer i 1994. De 12 målestationer omfattede vandløb i 9 stater i USA. Vandløbene var alle store vandløb (floder) med en mindste bredde på 43 m og op til 1097 m (tabel 3.10).

I forbindelse med undersøgelsen blev vandføringen målt med et vingeinstrument for at kontrollere Q/H-relationen (baseret på vingemålinger) på måledagen ved 7 af målestationerne. Ved disse blev rating curve (QH-kurve) justeret for måledagen ved 2 målestationer, da afvigelse mellem vingeinstrument og rating curve var større end 5%. Alle resultater fra målinger med ADCP blev herefter sammenholdt med beregning fra rating curve ved aflæsning af vandstanden (H) på et vandstandsbræt under hver ADCP-måling. Hver ADCP-måling af vandføring bestod af 4 eller 6 træk på tværs af vandløbet. Der blev i hvert tværsnit ved målestationerne målt med ADCP ved 1200 kHz, der typisk giver celledybder på 25 cm.

Ved en måling med ADCP er der ret store områder, hvor instrumentet anvendt i denne undersøgelse ikke kan måle hastighederne. Det drejer sig om den øvre del af profilet nær overfladen, nær bunden og i de to sider. I disse områder anvendes et instrument- og en målerafhængig metode til at interpolere hastighederne. I denne undersøgelse er der blevet anvendt "power law"-ekstrapolation med 1/6 eksponent i både de umålte top og bundsektioner i alle vandløb undtagen Illinois River. I denne blev en konstant hastighed fra den sidst målte celle anvendt i den øvre umålte del. I alle vandløb undtagen et blev der i tværprofilets afslutninger mod vandløbet sider (brinker) anvendt trekantsmetoden, hvor hastigheden i den sidst målte sektion blev multipliceret med en faktor 0,707. I Oswego River var der lodrette kanter, så her blev der anvendt en multiplikation med 0,91 af sidst målte sektion.

Tabel 3.10. Oversigt over de væsentligste resultater fra Morlock (1996) test af 3n 1200 kHz ADCP-målinger fra båd i 12 vandløb i USA udført ved 2 gentagne målinger. Gennemsnitlig forskel er ADCP-vandføring minus vandføring beregnet ud fra den faste Q/H-relation ved stationen.

Vandløbsnavn	Bredde (m)	Gennemsnits dybde (m)	Gennemsnitlig andel af målt vandføring ift. beregnet vandføring (%)	Gennemsnitlig forskel i målt vandføring (ADCP minus konventionel) (%)
Brazos River	49	2,1	30	-2,2
Clark Fork	113	1,5	26	-3,2
Kootenai River	110	2,7	36	-1,5
Willamette River	183	2,4	50	-1,1
Snohomish Rivers	137	3,0	57	1,3
Susquehanna River	591	3,7	57	1,0
Oswego River	134	4,6	46	7,1
Connecticut River	180	7,6	73	-7,3
St. Joseph River	50	3,0	44	0,2
Kankakee River	43	2,4	38	-1,7
Illinois River	177	3,7	61	2,9

Mulige fejl ved måling med ADCP er i artiklen opsummeret til at stamme fra: i) hastighedsmålefejl; ii) fejl ved ekstrapolation af hastighed til de umålte top, bund og sider; iii) naturlige hastighedsvariationer i profilet, som f.eks. turbulens.

De forholdsvis store afvigelser i Oswego River og Connecticut River kan delvis forklares ved en mindre fejl i den anvendte Q/H-relation på dagen da en udført vingemåling viste en lille forskel. Forfatteren konkluderer, at ADCP-målinger af vandføring i vandløb er i god overensstemmelse med traditionelle målinger, i hvert fald når de er udført i denne type vandløb (store floder).

Oberg and Mueller (2007) har i deres artikel beskrevet et studie hvor de både i strømrrende og felten tester ADCP'er til måling af vandføring i vandløb sammenlignet med traditionelle metoder som vingearm og faste Q/H-relationer. De skriver, at tests i strømrrender er standard for kalibrering af instrumenter, men at der her hersker optimale forhold og derfor begrænsninger ift. naturlige forhold. I strømrrender med træk af slæder findes der ingen turbulens, plan bund, ingen baggrundsstøj, ingen hastighedsgradienter i målefeltet mv. Artiklen beskriver et større feltforsøg gennemført i 2001 med deltagelse fra USA, Canada, Holland og Sverige.

I en større strømrrende i Florida (363 m lang, 15,5 m bred og 3-6,7 m dyb) blev tre forskellige typer af dengang anvendte ADCP'er til feltmålinger i vandløb testet ved trækning gennem bassinet med kendte hastigheder. De tre testede ADCP'er var en 3000 kHz SonTek/YSI ADCP, en 600 kHz TRDI Rio Grande og en 1200 kHz TRDI Broadband. Generelt var der en god sammenhæng mellem måling af strømhastighed i vandet med ADCP sammenlignet med hastighed i trækket. Der blev dog konstateret en mindre bias (underestimering) af strømhastighed med ADCP sammenlignet med trækket ved strømhastigheder mindre end 40 cm/s (1-5 %).

I felttestene blev ADCP'er fra TRDI og SonTek/YSI testet ved i alt 22 stationer i vandløb (tabel 3.11). Der blev gennemført flere træk med ADCP (ofte 12), og samtidig blev vandføring målt med et vingearm (price AA) og beregnet med anvendelse af fast Q/H-relation (USA og Canada). I Sverige blev der målt vandføring med saltfortyndingsmetoden og i Holland med en fast installeret Doppler (4 bånd). Bottom tracking, der er instrumentets interne metode

til positionsfastsættelse i måleprofilen, blev anvendt ved alle målinger, og en række parametre, der var vigtige for senere evaluering af resultaterne, blev registreret. Alle ADCP-målinger blev analyseret i WinRiver software version 10.06. Ekstrapolationsmetoder blev valgt optimalt i software. I toppen blev konstant metode anvendt, og i bunden blev 1/6 power law-metoden anvendt i de fleste tilfælde.

Test af Water Mode 1 (WM1) blev gennemført for TRDI ADCP, da denne mode typisk anvendes i tilfælde af vanddybder større end 1 m og strømhastigheder større end 1 m/s. Resultatet af de gennemførte tests ses i tabel 3.11, og det blev konkluderet, at der ikke var bias i test af ADCP mod reference i denne måle mode.

Test af ADCP i water mode 5 og 11 (WM5-11) anvendes typisk i vandløb med strømhastigheder < 1 m/s og < 4 m's dybde. Resultaterne af de gennemførte tests ses i tabel 3.11. Forfatterne konkluderer, at der ikke var bias i test af ADCP mod reference i denne måle-mode.

Endelig blev ADCP testet i water mode 12, der har en høj ping rate og dermed kan mindre cellestørrelser opløses i lavvandede vandløb. Resultaterne af de gennemførte målinger ses i tabel 3.11. Forfatterne konkluderer også her, at der ikke er signifikant forskel mellem ADCP-resultater og referencen.

Tabel 3.11. Målesteder i vandløb med test af ADCP mod konventionel metode (reference som er enten vingemåling eller Q/H-relation bestemt vandføring). Forskel er beregnet som ADCP minus reference. I parentes er angivet antallet af forsøg i det enkelte vandløb med en given ADCP-mode. Fra Oberg and Mueller (2007). WM=water mode.

Vandløb	Land	Oplandsareal (km ²)	Bredde (m)	Forskel mellem ADCP og reference ved WM1 (%)	Forskel mellem ADCP og reference ved WM5-11 (%)	Forskel mellem ADCP og reference ved WM12 (%)
Älgån River	Sverige		7		-1,7 (1)	
Fox River	Ill. USA	3,630	40		7,1 (1)	5,1 (8)
Jacks Fork	Mo. USA	772	23			-0,7 (2)
Neosho River	Kan. USA	7,880	37	-0,4 (3)		2,5 (5)
Mississippi River	Ill. USA	1,840,000	490	-1,6 (4)		
Wabash River	Ind. USA	21,300	125			7,0 (2)
Lower River Rhine	Holland	185,000	111	0,7 (2)		
Kankakee River	Ind. USA	3,500	29	1,5 (1)	3,4 (2)	
Jacks Fork	Mo. USA	1,030	26			2,2 (6)
St. Francis River	Mo. USA	3,550	15			2,1 (2)
Elkhorn Creek	Ky. USA	1,230	34		-0,6 (2)	-6,8 (5)
Missouri River	Mont. USA	64,100	134	3,4 (4)		-0,4 (4)
Illinois River	Ill. USA	21,400	120	2,2 (2)		
Fox River	Ill. USA	4,490	70		-3,1 (3)	-5,7 (10)
Sauble River	Canada	927	37			-9,1 (1)
Knakakee River	Ind. USA	4,610	40	-0,5 (1)	-0,9 (2)	
Yellowstone River	Mont. USA	179,000	170	0,6 (1)		-2,1 (2)
Wabash River	Ind. USA	31,800	172			8,3 (2)
Missouri River	Mont. USA	89,000	159	-3,3 (1)		2,4 (2)
Welland Supply Canal	Canada	-	39	0,4 (7)		1,7 (1)
Willet Bridge	Mont. USA	-	20	-0,2 (1)		-1,7 (3)
Missouri River	Mont. USA	213,000	131			0,7 (3)

Forfatterne tester også måletid og antal transektmålinger og finder i deres konklusion, at måletid er vigtigere end antallet af transektmålinger. Ud fra deres indsamlede data konkluderer de, at der skal måles i 720 sek. og at der minimum skal være 2 transektmålinger for at opnå en tilstrækkelig sikkerhed på målingen.

Boldt and Oberg (2015) tester to ADCP-typer mod konventionelle målemetoder. Disse referencer kan bestå både af måling med vingeinstrument, beregning ved anvendelse af en fast Q/H-relation og faste installerede Dopplermålere. De to ADCP-instrumenter, som testes, er RiverSurveyor M9 ADCP og TRDI RiverRay ADCP. Test gennemføres med nyeste version af software til instrumenterne. M9 ADCP-målinger blev processeret i SonTek's RiverSurveyor Live software og RiverRay (RR) ADCP i WinRiver II (ver2.08) software. I alt 128 målinger blev anvendt i de sammenlignende analyser fra 93 forskellige målesteder i USA. Målestederne dækkede et bredt span af oplandsstørrelser fra 10 km² til 1.800.000 km².

Analyserne af 56 målinger fra tests med RR ADCP udviste ingen bias og havde generelt en lille forskel mellem ADCP-målingen og referencemålingen (tabel 3.12). Der er dog en større spredning i forskel mellem ADCP-vandføring og reference vandføring med faldende vanddybde. Dette er ikke uventet, skriver forfatterne, da andelen af umålt areal stiger med faldende dybde og bredde af vandløbet.

Analyserne af målinger med SonTek M9 ADCP'en med forskelligt udstyr til positionering udviste heller ingen bias. Men igen er der en stigende spredning på forskellen mellem ADCP-måling og reference måling med faldende dybde og bredde af vandløbet. Dette skyldes som ovenfor beskrevet den stigende andel af umålt areal i tværsnitsprofilen.

Tabel 3.12. Forskelle i målinger med forskellige ADCP'er og tracking udstyr sammenholdt med konventionelt udstyr og/eller beregnet vandføring fra 93 forskellige vandløb i USA. Fra Boldt and Oberg, (2015)

Instrumenttype	Positionerings metode	Antal målinger (n)	Gennemsnitlig forskel (ADCP minus reference) (%)	Standard afvigelse på forskellen (%)
RR ADCP	Bottom tracking	56	0,7	3,4
SonTek R9	Bottom tracking	68	-0,4	2,7
SonTek R9	GPS-position based	47	-0,7	3,5
SonTek R9	GPS-vector based	49	-0,6	3,7

I et upubliceret studie af Poulsen et al. blev der foretaget en sammenligning mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument i 2 danske vandløb (Holtum Å: opland 114 km²) og Skjern Å, Ahlergårde (opland: 1055 km²). Afvigelsen mellem ADCP-vandføringen og referencevandføringen målt på to dage med målinger i Holtum Å var på henholdsvis 1% og 2%, mens der blev fundet en noget større forskel (6 %) i Skjern Å. Målingerne er udført før skiftet i ekstrapolationsrutiner og brugen af "moving-bed"-test. Resultaterne fra Skjern Å, Ahlergårde kan derfor ikke umiddelbart sammenlignes med resultaterne i denne rapport.

Stone and Hotchkiss (2007) målte strømhastigheder med anvendelse af et vingeinstrument (Price pygmy current meter), en ADCP (1200 kHz Rio Grande RD) og en micro ADV-Acoustic Doppler Velocimeter (Sontek/YSI) i totalt 9 transekter i fire tværprofiler i to vandløb i Idaho, USA. Målingerne blev gennemført med de 3 instrumenttyper i samme transekter først med ADCP, der var

fastholdt i transekten med wirer fra begge brinker, så vingeinstrument og til slut ADV-instrumentet. Strømhastighed med vingeinstrumentet blev målt i $0,2 \times H$ (vanddybden), $0,4 \times H$ og $0,8 \times H$. Målinger blev sammenlignet med ADV som reference måling. Både ADCP og vingeinstrument målte generelt lavere hastigheder end referencemålingen med ADV i transektet. Den gennemsnitlige dybde var på 91 cm (65-113 cm), og den gennemsnitlige strømhastighed var på 79 cm/s (71-85 cm/s) (ADV) i de 9 profiler. Den gennemsnitlige afgivelse over de 9 målte transekter var -4,9% (-17,6 - 0 %) for ADCP'en og -6,4% (-12,8 - -3,5 %) for vingeinstrumentet. Derfor målte ADCP'en i gennemsnit en lidt højere strømhastighed end vingeinstrumentet i de 9 transekter.

Despax et al. (2019) gennemførte en inter-laboratorie-undersøgelse, i form af en ADCP-regatta, i et vandløb nedstrøms et reservoir i Taurion-floden i det sydvestlige Frankrig den 8-10. november 2016. Regattaen bestod af 48 hold fra 8 lande, hvor hvert hold havde deres eget ADCP-udstyr. Fire modeller af ADCP'er var involveret, 18 M9 og 1 S5 (SonTek) samt 25 StreamPro og 4 RiverPro fra Teledyne RDI. Den tilhørende software til modellerne var WinRiver II (Teledyne RD 2019) og 3,6 RiverSurveyorLive (SonTek 2018). En kendt vandmængde blev hver måledag frigivet fra reservoiret til vandløbet, der var opdelt i 24 tværprofiler til målingerne over en strækning på 500 m, der startede ca. 200 m nedstrøms for dæmningen. To faste ADCP-stationer målte vandføringen kontinuert nedstrøms reservoiret, og der var 3 målestationer, hvor vandstanden kontinuert blev registreret nedstrøms reservoiret. Vandføringen i de 24 tværprofiler var således kendt hver dag under forsøget. I hvert tværprofil var der opsat wirer til træk af både med monterede ADCP'er. Hvert af de 24 hold skulle i alt måle 12 tværprofiler fordelt med 4 på hver af de 3 måledage. Der blev i hvert tværprofil gennemført 6 træk med ADCP'en. De forskellige ADCP-fabrikater var fordelt, så hvert tværprofil blev målt lige mange gange med ADCP-modeller fra de to firmaer (Teledyne og SonTek).

Bredden af tværprofilerne var omkring 35 m. Gennemsnitsdybden var i de 4 tværprofiler tættest på reservoiret på 1,2 m og samme dybde i de mest nedstrøms tværprofiler. Enkelte tværprofiler i midten af strækningen havde en gennemsnitsdybde på 0,6 m. Alle hold skulle anvende "bottom tracking" i målingerne. Alle tværprofiler blev kontrolleret for "moving bed", som ikke blev konstateret på strækningen. De 48 hold blev delt i to grupper, som hver fik til opgave at måle 12 tværprofiler.

Holdene valgte selv opsætning af deres ADCP (f.eks. målemode) og ekstrapolations rutine til bund og top. Alle hold på nær to valgte $1/6$ "power-power"-beregning som foreslået af deres software. Kun to hold anvendte QRev til at justere eksponenten efter målingerne. I en senere beregningsøvelse blev der gennemført en analyse af optimalt valg af eksponent, og her blev en gennemsnitlig eksponent på 0,29 fundet med variation fra 0,15 som laveste i et tværprofil og op til 0,37 i et andet som højeste. Den målte del af tværprofilets vandføring ($Q_{ADCP\text{målt}}$ divideret med Q_{total}) varierede mellem de 24 transekter. Den var under 40% i fire tværprofiler, mellem 40-50% i andre 4 tværprofiler, mellem 50-60% i 16 tværprofiler.

Via en ANOVA-analyse havde regattaen til formål at undersøge usikkerheden på vandføringsmålingen, der stammede fra holdene, og den del der stammede fra tværprofilerne. Hovedresultatet af målingerne er vist i tabel 3.13. I gennemsnit for alle de udførte målinger i tværprofilerne målte ADCP-instrumenterne en lidt højere vandføring end referencevandføringen under målesessionerne (0,3-2,9 %). Der kunne generelt ikke erkendes en sammenhæng mellem andelen

af målt vandføring og over- og underestimering af vandføringen målt med ADCP. Undersøgelsen viste, at usikkerheden ved måling forøges med en faldende andel af målt vandføring med ADCP fra 4,9% (95 %-konfidensinterval) i et tværprofil med en høj andel af målt vandføring med ADCP (ca. 55%) til 9,9 % i et tværprofil med ca. 35% målt vandføring med ADCP.

Inter-laboratorieusikkerheden ved måling (hold og tværprofil) var på tværs af alle data 2,1 %, med næsten samme usikkerhed for de to grupper af hold (hold 1: 2,2%; hold 2: 2,0%). I tværprofiler bedømt gode af holdene var usikkerheden på 1,8%, stigende til 2,9% i dårlige tværprofiler. Generelt var usikkerheden fra måling i tværprofiler større end den, der kan tilskrives de forskellige hold. Der blev også testet for forskel mellem de to hovedtyper af ADCP'er (Streampro og M9), og der kunne her ikke konstateres nogen forskel i usikkerhed i målingerne med de to instrumenter (henholdsvis 6,7 % og 6,8 % som 95 %-konfidensinterval).

Tabel 3.13. Resultatet fra målingerne i 24 tværprofiler af 48 hold fordelt på tre målesessioner over tre dage med kendt vandføring på strækningen. Hver dag gennemførte hvert hold 4 målinger med 6 træk i hvert tværprofil (N=192). (fra Despax et al., 2019).

	Måle-session 1 (dag 1)	Måle-session 2 (dag 2)	Måle-session 3 (dag 3)
Vandføring bestemt på strækningen	14,81 m ³ /s	15,40 m ³ /s	13,43 m ³ /s
Gennemsnit af alle målinger (standardafvigelse)	14,86 m ³ /s (±0,41 m ³ /s)	15,63 m ³ /s (±0,42 m ³ /s)	13,82 m ³ /s (±0,37 m ³ /s)
Afvigelse fra referencen	0,3% (±2,8%)	1,5% (±2,7%)	2,9% (±2,8%)

4 Diskussion og konklusioner

4.1 ADCP-StreamPro mod vinge-instrument

Indførelse af ADCP-StreamPro til måling af vandføring i større vandløb i stedet for det tidligere vingeinstrument (universal flügel) har medført et homogenitetsbrud i vandføringstidsserierne. Homogenitetsbruddet er sket over perioden med indfasning af ADCP-instrumentet - dvs. i årene 2005-2013. I dag måles der vandføring med ADCP i omkring 250 vandløb.

Homogenitetsbruddet skyldes to elementer:

- Det første element er konsekvent anvendelse af en generel ekstrapolationsmetode ("power-power") ved beregning af vandføring i de umålte dele af tværprofilet, hvor ADCP-StreamPro ikke kan måle strømhastigheden (mod top og bund). Denne ekstrapolationsrutine er foretaget fra tidspunktet, hvor ADCP blev taget i brug, frem til 2019, hvor beregningsrutinen blev ændret. I de 9 vandløb, som er undersøgt i denne rapport, har det medført en for høj beregnet vandføring. Beregningsfejlen ændrer vandføringen på de 9 vandløbsstationer med intervallet -0,6 % - 5,5 % (gennemsnit: 1,9 %).
- Det andet element er påvist fra vores synkronmålinger i de 9 vandløb med 3 gentagne målinger med både ADCP-StreamPro og vinge-instrument (som reference) på samme dag og i samme tværsnitsprofiler. Undersøgelsen har påvist, at ADCP-instrumentet generelt måler en signifikant højere vandføring end vingeinstrumentet (gennemsnit 2,6 %). Der er dog meget store variationer i de konstaterede forskelle mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument i de enkelte vandløb. Signifikante forskelle med > 5 % højere målt vandføring med ADCP-StreamPro end vingeinstrumentet er konstateret i 2 af de 9 vandløb. Kun i et enkelt vandløb er det konstateret, at ADCP'en måler mindre vandføring end vingeinstrumentet (Gudenåen, Åstedbro). Denne forskel kan eventuelt skyldes, at der i dette vandløb er meget turbulens med betydelige og atypiske variationer i hastighedsprofilerne i transekterne.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har også konstateret homogenitetsbrud ved anvendelse af deres ADCP-instrumenter med anvendelse af software, der kun beregner med "power-power"-funktion i de umålte top og bundarealer. Her er forskellen konstateret til at være -3,7 % mellem anvendelse af "power-power" og "constant-no-slip"-metoden, hvor sidstnævnte blev indført fra 2012 og frem (Floorvag-Dybvik, 2022). I vores udvalg af vandløb er den største forskel mellem de to interpolationsmetoder på -5,5 % konstateret i Storåen ved laksestien. Dette vandløb har også meget store strømhastigheder, hvilket kan formodes at ligne de norske forhold.

En gennemgang af den eksisterende internationale litteratur med information om sammenlignende målinger med ADCP og vingeinstrument som reference har ikke påvist væsentlige forskelle mellem vandføring målt med de to instrumenter. Det skal dog bemærkes, at næsten alle de undersøgelser vi har fundet i litteraturen, er fra USA - og fra meget store floder. Det er her meget sandsynligt, at ADCP ved målingerne har en mindre andel af umålt tværsnitsareal og dermed en stor andel af målt vandføring, end i de meget mindre vandløb, som er med i denne undersøgelse. Derfor har vi i vores undersøgelse for første

gang gennemført en systematisk kontrol af ADCP mod vingeinstrument i en sådan størrelse af vandløb.

Det er svært at afgøre, om ADCP-StreamPro eller vingeinstrumentet måler den "sande" eller korrekte vandføring. I en fransk undersøgelse blev der gennemført en større målekampagne (regatta) med 48 ADCP-instrumenter i samme vandløb med en "kendt" vandføring. Her var langt de fleste af ADCP-målingerne tæt på den "sande" vandføring.

Det har ikke været muligt for os at opstille en sikker forklaringsmodel for, hvorfor ADCP-instrumentet generelt måler en højere vandføring end vingeinstrumentet. Men undersøgelsen i de 9 vandløb har påvist, at følgende elementer spiller en rolle:

- Den målte andel af vandføringen i tværprofilen - det vil sige reciprokt andel af umålt areal - skal maksimeres, da ekstrapolationen især mod top og bund selvfølgelig er behæftet med større usikkerhed end det målte areal. I en god måling skal der derfor helst målrettes mod at måle mere end 65 % af vandføringen på måletidspunktet. Dette er ikke indført i de gældende internationale standarder, men bør tilstræbes i de fremtidige vandføringsmålinger.
- Udførelse af "moving bed" måling er en uundværlig del af en ADCP-måling i de fleste danske større vandløb, hvor der ofte er en sandbund i bevægelse. "Moving bed" målingerne blev introduceret og anvendt i vandføringsmålingerne fra efteråret 2018. Hvis der er "moving bed" og den ikke konstateres, vil den målte vandføring typisk blive for lille. "Moving bed" er i nærværende undersøgelse medtaget i beregningerne, hvor den er konstateret. I sammenligningerne vil de målinger, hvor der er konstateret "moving bed", altså blive sammenlignet med beregninger af vandføringen med power-power uden "moving bed". Det betyder, at for 2 ud af de 9 målte stationer vil effekten af "moving bed" give et fejlagtigt billede af homogenitetsbruddets størrelse. Den reelle forskel kan derfor antages at være større end angivet i resultatafsnittet.

Som en delkonklusion skal der gennemføres en genberegning af alle ADCP-StreamPro-målinger fra før 2019 med den nye software for at minimere fejlen fra interpolation mod top og bund i de gamle vandføringsberegninger i HYMER. En sådan genberegning vil være med til at lukke en del af homogenitetsbruddet.

Ligeledes anbefales det, at der laves en gennemgang af alle målestationer med ADCP-målinger for at udskille dem, der har meget stor forskel i vandføringsmålingen ved skifte fra vingeinstrument til ADCP-StreamPro. Dette kan ske ved at lave en analyse af sammenhænge mellem nedbør og afstrømning på alle målestationer med ADCP. Stationer, der findes at afvige med mere end f.eks. 3 %, bør efterfølgende korrigeres ud fra en stationsspecifik korrektionsformel etableret ud fra samtidige målinger med ADCP-StreamPro og vingeinstrument under forskellige vandføringer.

Det er ved alle vandføringsmålinger vigtigt at følge den tekniske anvisning og optimalt at anvende samme tværprofil ved stationen som ved tidligere målinger.

4.2 OTT-MFPro mod vingeinstrument

I undersøgelsen blev der i otte vandløb også gennemført en test af OTT-MFPro instrumentet mod vingeinstrumentet som reference. OTT-MFPro-instrumentet anvendes i alle mindre vandløb til måling af vandføring i NOVANA samt i en del tilfælde også som supplement i større vandløb om sommeren. OTT-MFPro-instrumentet blev taget i brug i NOVANA i 2014 og var fuldt indfaset ved alle målestationer i 2018. Undersøgelsen har vist, at OTT-MFPro-instrumentet generelt måler mindre vandføring end både vingeinstrumentet og ADCP'en. I gennemsnit er forskellen i vandføring ift. de to instrumenter signifikant og på henholdsvis -5,7 % (forskel til vingeinstrumentet) og -8,2 % (forskel til ADCP). Igen varierer den konstaterede forskel mellem vandløbene og er for 3 ud af 8 vandløb over 5 % ift. vingeinstrumentet og for 6 vandløb over 5 % ift. ADCP med ét vandløb på 13 %'s forskel.

Alle målinger, på nær for en dag i Storå, er foretaget ved vandføringsniveauer, der ligger noget lavere end årsmiddel for de enkelte stationer. Resultaterne udviser tendenser til, at forskellene generelt bliver mindre ved højere hastigheder og højere vandføringer. På den baggrund kan man antage, at iagttagede forskellene ville have været mindre, hvis der var blevet målt ved højere vandføringsniveauer. Dette gælder for både OTT-MFPro og ADCP-StreamPro i forhold til vingeinstrument.

Vi kan ikke ud fra de i dette projekt konstaterede forskelle mellem OTT-MFPro instrumentet og de to andre instrumenter fastslå, om det samme forhold kan overføres til de mange målinger, der gennemføres med OTT-MFPro i de omkring 250 mindre vandløb i NOVANA-programmet. Det må dog antages, at problemet i et vist omfang også findes der.

OTT-MFPro-instrumentet måler med sikkerhed en mindre strømhastighed, end den "sande" i måleprofilen, når strømhastigheden er mindre end ca. 0,5 m/s. Dette er eftervist ved testmålinger i 5 europæiske kalibreringsanlæg herunder ved Bundesamt für Wasserwirtschaft i Wien, der endvidere har udviklet standardkalibreringsformler for instrumentet. (Kainz, 2021). Vi har i vores målinger med instrumentet også konstateret, at OTT-MFPro måler for lave strømhastigheder sammenholdt med både vingeinstrumentet og ADCP-StreamPro. I forbindelse med projektet har vi afkræftet en del elementer, såsom påvirkning fra højspænding og vandets ledningsevne (ionstyrke). Vi har følgende forslag til, hvilke elementer, der kan spille en rolle:

- Måleinstrumentets placering og måleretning kan påvirke strømhastighedsmålingen.
- Turbulens i profilet kan påvirke strømhastighedsmålingen.

Indtil der findes en nærmere afklaring af OTT-MFPro instrumentet foreslår vi, at instrumentet ikke anvendes til måling i større vandløb.

4.3 Analyse af homogenitetsbrud i hydrologiske data

I Svendsen og Jung-Madsen (2020) er der vist eksempler på nedbør-afstrømnings relationer for en række NOVANA-målestationer i vandløb for perioden før 2010 og efter 2010.

Fem af disse målestationer har været med i denne undersøgelse med test af skiftet i instrumenter til måling af vandføring. I fire af de fem vandløb viser skiftet fra vingeinstrument til ADCP-StreamPro, at den fundne stations bias

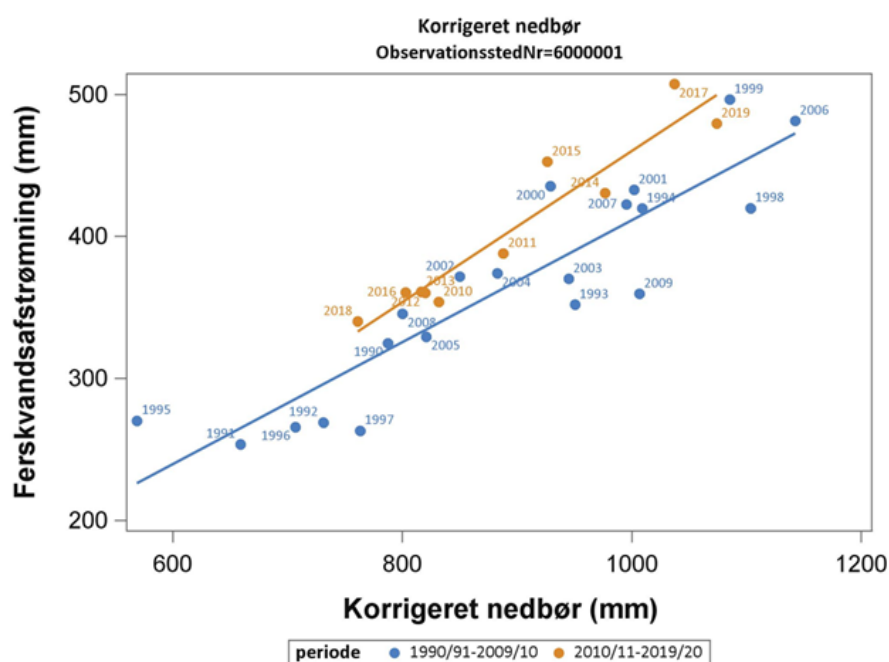
mellem vingeinstrument og ADCP-StreamPro i de enkelte vandløb flytter relationen mellem nedbør og afstrømning i den rigtige retning, dvs. mod den relation, der kan opstilles mellem nedbør og afstrømningen for perioden før 2010. Et eksempel herpå er stationen Rya, Manna, hvor relationerne fremgår af figur 4.1.

I alle fem blev det i Svendsen og Jung-Madsen (2020) påvist, at nedbør-afstrømnings-relationen i perioden efter 2010 lå højere end i perioden før 2010 – dvs. at der er sket et homogenitetsbrud på enten nedbørs- og/eller afstrømningsbestemmelsen.

En del af forklaringen på homogenitetsbrud skyldes således også skiftet i måleinstrument til bestemmelse af vandføringen i vandløb. Yderligere analyser af nedbør-afstrømnings-relationer i perioder før og efter instrumentskift er derfor en solid metode, der kan bidrage til at undersøge eventuelle homogenitetsbrud i dataserier.

I forbindelse med undersøgelsen er der i HYMER fundet eksempler på målestationer, hvor der er sket store skift i vandføring ved instrumentskift fra vingemåler til ADCP-StreamPro, og disse kan henføres til, at målingerne er udført på eller under grænsen for, hvor et ADCP-instrument er egnet til måling af vandføring i forhold til den tekniske anvisning.

Figur 4.1. Målt afstrømning i forhold til korigeret nedbør med angivelse af relation for hhv. 1990/91 til 2009/10 og 2010/11 til 2019/20. (fra: Svendsen og Jung-Madsen, 2020).



4.4 Perspektiver og forslag til nye projekter

Homogenitetsbruddet ved skiftet til anvendelse af ADCPStreamPro til måling af vandføring i perioden 2005-2013, hvor instrumentet var mere eller mindre fuldt indfaset i større vandløb, påvirker flere elementer i NOVANA overvågningen. Vigtige elementer, som påvirkes, er:

- Opgørelser af vandafstrømning og transport af næringsstoffer.
- Analyser af trends i afstrømning og vandføringsvægtede næringsstofkoncentrationer og transport hen over skiftet.
- Kalibrering og validering af hydrologiske modeller hen over homogenitetsbruddet.

Homogenitetsbruddet i forhold til indfasning af OTT-MFPro til måling af vandføring skete først fra 2014 og fremefter, da instrumentet først var fuldt indfaset fra 2018. Da instrumentet generelt måler en for lille vandføring, har det konstaterede mulige homogenitetsbrud modsat rettede konsekvenser, men for de samme emner som nævnt ovenfor.

DCE anbefaler, at der snarest muligt gennemføres følgende undersøgelser og evt. genopretninger:

- En hurtig analyse af residualer fra model med nedbør og afstrømning i alle vandløb i NOVANA for at undersøge, ved hvilke målestationer der ser ud til evt. at kunne forekomme væsentlige homogenitetsbrud. Herefter gennemføre en målrettet kampagne med måling af vandføring med ADCP-StreamPro og vingeinstrument (universal-flügel) i et antal stikprøver fra stationer, der dækker hele landet. Herved kan stationer med størst afvigelse mellem ADCP-StreamPro og vingeinstrument forhåbentligt korrigeres for en del homogenitetsbrud i tidsserien. Vurderingerne vanskeliggøres dog af, at der også antages at være homogenitetsbrud i nedbørsdata (Svendsen & Jung-Madsen, 2020).
- En undersøgelse af muligheden for en reberegning af vandføring målt med ADCP-StreamPro med ny ekstrapolationsmetode bagud i tid for at fjerne fejlberegninger ved de vandløbsstationer, hvor påvirkningen har været stor (delvis afhjælpning af homogenitetsbruddet).
- Etablering af et nyt måleprojekt med et større antal mindre vandløb, hvor der måles samme dag (uden nedbør) med både vingeinstrument (klein-flügel) og OTT-MFPro. Denne undersøgelse er et skridt på vejen til at finde en korrektionsmetode for homogenitetsbruddet ved indførelse af OTT-MFPro-instrumentet.
- Gennemførelse af en korrektion af OTT-MFPro-målinger.

5 Referencer

Kainz, S. 2021. Ringversuch eines magnetisch-induktiven Fließ-geschwindigkeitsmessgeräts und daraus gewonnene Erkenntnisse für die hydrologische Praxis. Österr Wasser- und Abfallw · 73:210-219

<https://doi.org/10.1007/s00506-021-00755-3>

Boldt, J.A. & Oberg, K.A. 2015. Validation of streamflow measurements made with M9 and RiverRay acoustic Doppler current profilers. Journal of Hydraulic Engineering 04015054-15.

Despax, A., Le Coz, J., Hauet, A., Mueller, D.S., engel, F.L., Blanquart, B., Renard, B. & Oberg, K.A. 2019. Decomposition of uncertainty sources in acoustic doppler current profiler streamflow measurements using repeated experiments. Water Resources Research, AGU 55: 7520-7540.

Florvaag-Dybvik, K. 2022. Climate change or just new software? The impact of Extrap software on ADCP discharge measurements in Norway, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23-27 May 2022, EGU22-5037, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-5037>, 2022.

ISO 24578: 2021 International Standard. Hydrometry — Acoustic Doppler profiler — Method and application for measurement of flow in open channels from a moving boat.

ISO 24578: 2019. Draft international Standard: Hydrometry — Acoustic Doppler profiler — Method and application for measurement of flow in open channels.

ISO/TR 24578: 2012. Hydrometry — Acoustic Doppler profiler — Method and application for measurement of flow in open channels.

Poulsen, J. B. og Ovesen N. B. 2011. Vandføringsmåling med akustisk Doppler instrument (ADCP). Teknisk anvisning. DCE-Nationalt center for miljø og energi, Aarhus Universitet.

Morlock, S.E. 1996. Evaluation of acoustic doppler current profiler measurements of river discharge. US Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 95-4218.

Oberg, K. & Mueller, D.S. 2007. Validation of streamflow measurements made with acoustic doppler current profilers. J. Hydraul. Eng. 133(12): 1421-1432.

Poulsen, J.R, Rasmussen, K.R & Ovesen, N.B. (Unpublished). The use of acoustic doppler current profilers for discharge measurements.

Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. 1989. Statistical Methods. Iowa State University Press, Ames.

Stone, M.C. & Hotchkiss, R.H. 2007. Evaluating velocity measurement techniques in shallow streams. Journal of Hydraulic Research 45(6): 752-762.

Svendsen, L.M. & Jung-Madsen, S. (red.) 2020. Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata. Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. – Fagligt notat nr. 2020|51 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_51.pdf

Teledyne RD Instruments. 2022. STREAMPRO ADCP GUIDE StreamPro ADCP Guide (teledynemarine.com)

Teledyne RD Instruments. 2021. WinRiver II Software User's Guide. <http://www.teledynemarine.com/>

U.S. Geological Survey (USGS) 2020. QRev User's Manual. https://hydroacoustics.usgs.gov/software/QRev_Users.pdf

Bilag 1. Statistiske resultater

Hermed et kort sammendrag af resultaterne af de statistiske analyser af hhv. vandføring, strømhastighed og tværsnitsareal.

Data er analyseret statistisk med hensyn til afsøgning af, om der forefindes statistiske signifikante forskelle mellem de anvendte instrumenter/metoder til måling af vandføring, strømhastighed (middelhastighed i vandføringsmåling) og tværsnitsareal.

Der er en risiko for, at målinger foretaget med samme instrument på den samme dag må betragtes som pseudoreplikater og derfor ikke stokastisk uafhængige data. Dette er i vid udstrækning forsøgt undgået, ved at instrumenterne roteres mellem de 9 målinger af responsvariablen. Derfor kan man med en vis sikkerhed antage, at målinger fra samme dato er ægte replikater. Dog vil vi anskue målinger på samme vandløbsstation men på forskellige dage som stokastisk uafhængige. Data er ln-transformet i disse analyser for vandføring og strømhastighed.

Analyse af rå data:

Alle observationer inddrages i analysen, uden at beregne gennemsnitsværdier. Stationsnummer anses for at være en tilfældig faktor, således at man opfatter de stationer som indgår i projektet som et tilfældigt udtag af alle mulige stationer som kunne have været med i projektet. Datoen anses ligeledes for en tilfældig faktor. Så datoen er altså et tilfældigt udtag fra alle mulige datoer hvor man kunne gennemføre prøvetagninger.

$F_{f1,f2}$ angiver værdien af en teststørrelse i en F-test med $f1$ og $f2$ frihedsgrader. I tabellerne nedenfor er vinge= vingeinstrument, mfpro = OTT-MFPro, og adcp= ADCP StreamPro.

Resultater, vandføring:

Test af forskel mellem instrumenter, overordnet test:

$F_{2,208}=120,67$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi Frihedsgrader=208	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,02451	-4,64	<0,0001
Vinge-mfpro	0,06184	10,94	<0,0001
Adcp-mfpro	0,08634	15,27	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Analyser pr. station med dato som tilfældig faktor:

Station 03000003 Uggerby Å, Astedbro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=87,51$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,04370	-4,04	0,0016
Vinge-mfpro	0,09619	8,89	<0,0001
Adcp-mfpro	0,1399	12,93	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 06000001 Ry Å, Manna

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=53,09$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,01761	-1,65	0,3372
Vinge-mfpro	0,08497	7,98	<0,0001
Adcp-mfpro	0,1026	9,63	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 18000077 Skals Å, Løvel Bro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=171,86$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,1054	-14,01	<0,0001
Vinge-mfpro	0,02648	-3,52	0,0058
Adcp-mfpro	0,1319	17,52	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 20000024 Karup Å, Nørkær Bro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,21}=50,22$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,05988	-6,56	<0,0001
Vinge-mfpro	0,03262	3,46	0,0071
Adcp-mfpro	0,09249	9,80	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000085 Gudenå, Åstedbro
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=42,54$, $P<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,06857	6,30	<0,0001
Vinge-mfpro	0,09775	8,98	<0,0001
Adcp-mfpro	0,02918	2,68	0,041

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000413 Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=9,49$, $P=0,0011$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,04363	-1,95	0,19
Vinge-mfpro	0,05382	2,40	0,076
Adcp-mfpro	0,09746	4,35	0,0008

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000548 Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=6,99$, $P=0,0045$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,01071	0,60	1,0000
Vinge-mfpro	0,05144	2,90	0,025
Adcp-mfpro	0,06215	3,50	0,0061

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 22001541 Storå, Laksestien
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,26}=18,30$, $P=<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,006270	-1,00	0,98
Vinge-mfpro	0,03599	4,95	<0,0001
Adcp-mfpro	0,04226	5,81	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 25000082 Skjern Å, Ahlergaarde
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{1,4}=1,23$, $P=0,29$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,007983	-1,11	0,29

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Resultater, strømhastighed:

Test af forskel mellem instrumenter, overordnet test:
 $F_{2,193}=60,24$, $P<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Frihedsgrader=193			
Vinge-adcp	-0,01187	-4,68	<0,0001
Vinge-mfpro	0,01658	6,38	<0,0001
Adcp-mfpro	0,02844	10,95	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Analyser pr. station med dato som tilfældig faktor:
 Station 03000003 Uggerby Å, Astedbro
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=37,05$, $P<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,01000	-2,71	0,0384
Vinge-mfpro	0,02111	5,72	<0,0001
Adcp-mfpro	0,03111	8,43	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 06000001 Ry Å, Manna
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=25,48$, $P<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,007778	-1,71	0,3014
Vinge-mfpro	0,02333	5,14	<0,0001
Adcp-mfpro	0,03111	6,86	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 18000077 Skals Å, Løvel Bro
 Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=205,03$, $P<0,0001$
 Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,07222	-16,44	<0,0001
Vinge-mfpro	0,00889	-2,02	0,17
Adcp-mfpro	0,08111	18,46	<0,0001

Station 20000024 Karup Å, Nørkær Bro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,21}=15,12$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T te-tværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,01444	-2,67	0,0427
Vinge-mfpro	0,01627	-2,91	0,0249
Adcp-mfpro	0,03072	5,50	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000085 Gudenå, Åstedbro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=29,78$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,01333	4,40	0,0007
Vinge-mfpro	0,02333	7,69	<0,0001
Adcp-mfpro	0,01000	3,30	0,0099

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000413 Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=0,29$, $P=0,75$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,00444	0,74	1,0000
Vinge-mfpro	0,00333	0,55	1,0000
Adcp-mfpro	0,00111	0,18	1,0000

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000548 Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=3,93$, $P=0,0349$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,00111	0,19	1,0000
Vinge-mfpro	0,01444	2,52	0,0588
Adcp-mfpro	0,01333	2,32	0,0893

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 22001541 Storå, Laksestien

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,26}=22,28$, $P=<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,01000	2,42	0,0685
Vinge-mfpro	0,02186	5,57	0,0003
Adcp-mfpro	0,03186	6,66	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Resultater, tværsnitsareal:

Test af forskel mellem instrumenter, overordnet test:

$F_{2,193}=0,61$, $P=0,55$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Frihedsgrader=193			
Vinge-adcp	0,00367	1,01	0,9349
Vinge-mfpro	0,00323	0,87	1
Adcp-mfpro	-0,00044	-0,12	1

Analyser pr. station med dato som tilfældig faktor:

Station 03000003 Uggerby Å, Astedbro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=1,46$, $P=0,2535$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,004382	-0,76	1
Vinge-mfpro	0,00548	0,95	1
Adcp-mfpro	0,009860	1,71	0,3061

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 06000001 Ry Å, Manna

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=8,73$, $P=0,0016$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,001321	0,35	1
Vinge-mfpro	0,01278	3,43	0,0072
Adcp-mfpro	0,01410	3,78	0,0031

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 18000077 Skals Å, Løvel Bro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,22}=65,35$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,08857	9,81	<0,0001
Vinge-mfpro	0,00160	0,18	1
Adcp-mfpro	-0,08857	-9,81	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 20000024 Karup Å, Nørkær Bro

Test af forskel mellem instrumenter:

$F_{2,21}=43,64$, $P<0,0001$

Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,02970	-7,96	<0,0001
Vinge-mfpro	0,00163	0,42	1
Adcp-mfpro	0,03133	8,13	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000085 Gudenå, Åstedbro
Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=22,15$, $P<0,0001$
Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,01883	5,84	<0,0001
Vinge-mfpro	0,00049	0,15	1
Adcp-mfpro	-0,01834	-5,69	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000413 Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup
Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=31,37$ $P<0,0001$
Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,04560	-6,91	<0,0001
Vinge-mfpro	0,00068	0,10	1
Adcp-mfpro	0,04628	6,91	<0,0001

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 21000548 Hadsten Lilleå, ns Løjstrup Dambrug
Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,22}=16,75$, $P<0,0001$
Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	-0,01428	-5,10	0,0001
Vinge-mfpro	-0,000498	-0,18	1
Adcp-mfpro	0,012378	4,92	0,0002

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Station 22001541 Storå, Laksestien
Test af forskel mellem instrumenter:
 $F_{2,26}=3,95$, $P=0,0318$
Parvise sammenligninger

Par	Gnms forskel	T testværdi	P testsandsynlighed
Vinge-adcp	0,01268	2,72	0,0342
Vinge-mfpro	0,00294	0,55	1
Adcp-mfpro	-0,00973	-1,81	0,2480

Korrektion for multiple tests foretaget med Bonferroni.

Bilag 2. Måleprofiler, hastighedsfordelinger og fotos

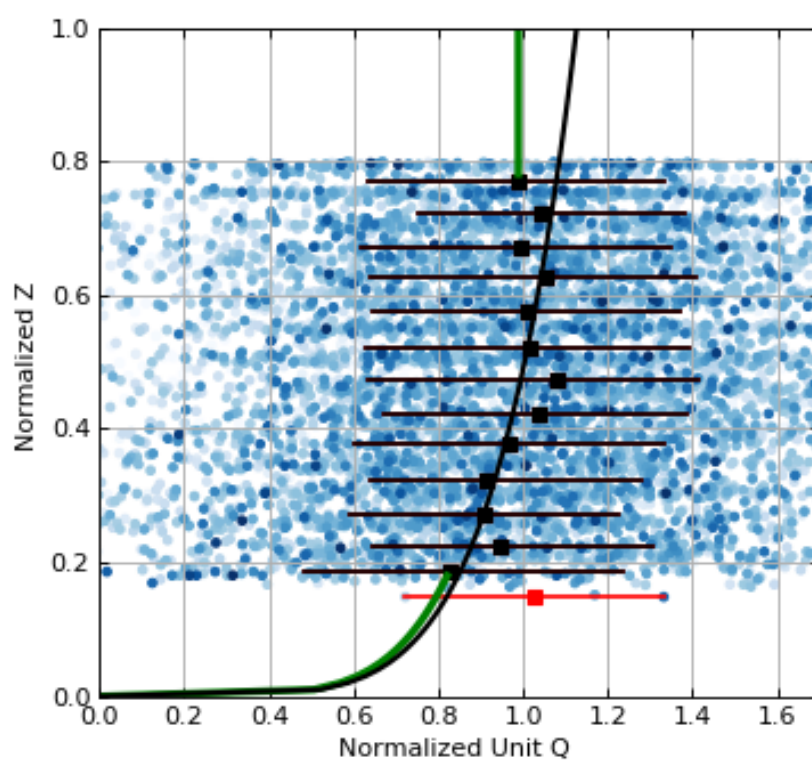
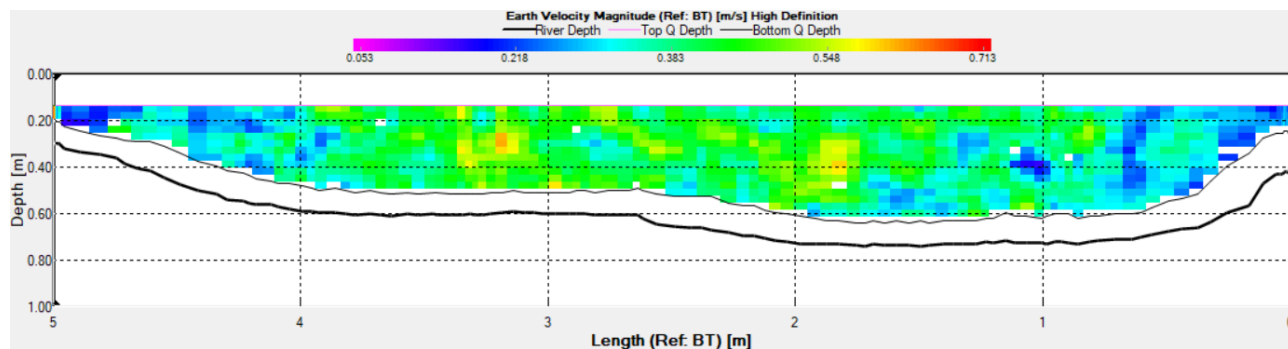
Eksempler fra en måling fra hver af de 9 målelokaliteter, visende:

Øverst: Hastighedsprofil fra ADCP-StreamPro måling. (Plot fra WinRiver). Farveskala angiver hastighed i måleceller, m/s. X-aksen angiver længden af den målte del af profilet, meter i forhold til start af instrumentets "bottom tracking" (BT).

Midt: Dybde og enheds-vandføring fra en ADCP- StreamPro måling, normaliseret for hele målingen. Grøn kurve angiver de af QRev anbefalede ekstrapolationsrutiner og dermed den automatiske beregning, i de fleste tilfælde "constant-no-slip". Sort kurve angiver en valgt genberegning med alternativ ekstrapolationsrutine, i de fleste tilfælde "power-power". De changerende blå prikker er hver dybdecelle i målingen, hvor farven er vægtet efter vandføringen, så jo mørkere blå, des mere vandføring er der i ensemblet, der indeholder den celle. De sorte firkanter viser medianværdierne af den normaliserede vandføring ved den gennemsnitlige normaliserede dybde for alle data inden for en 5 procent forøgelse af den normaliseret dybde. Whiskers på de sorte firkanter viser spændet på 50 procent af dataene rundt om medianværdien. Et dybdesegment, som indeholder for få data til at indgå i beregningerne af ekstrapolationen, vises med rød firkant og røde whiskers. (plot fra QRev, USGS).

Nederst: Fotos af måleprofil og strækning.

Station 03000003, Uggerby Å, Astedbro - Måling 22/4 2021

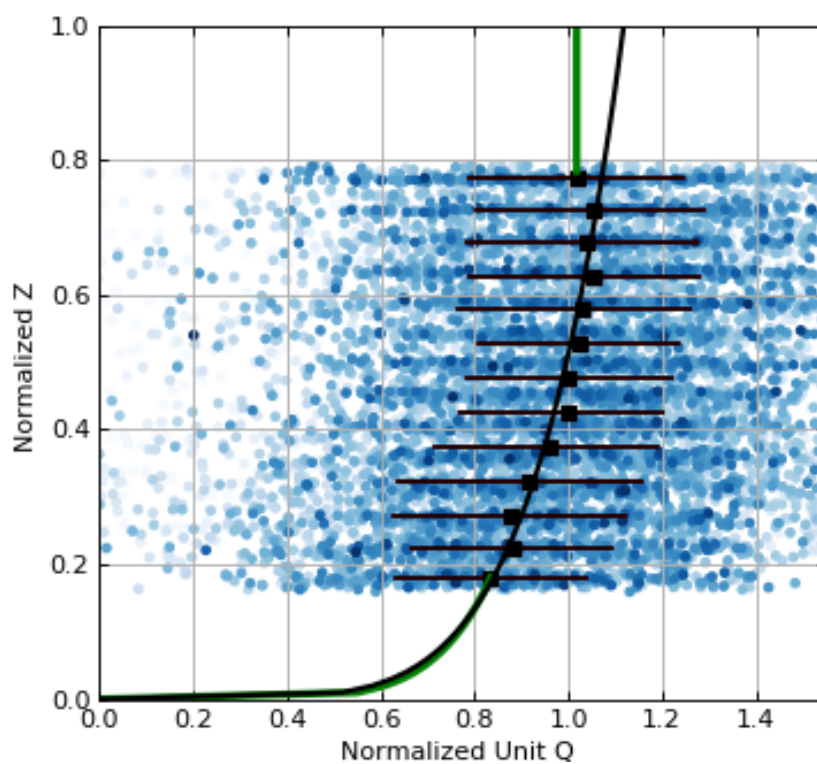
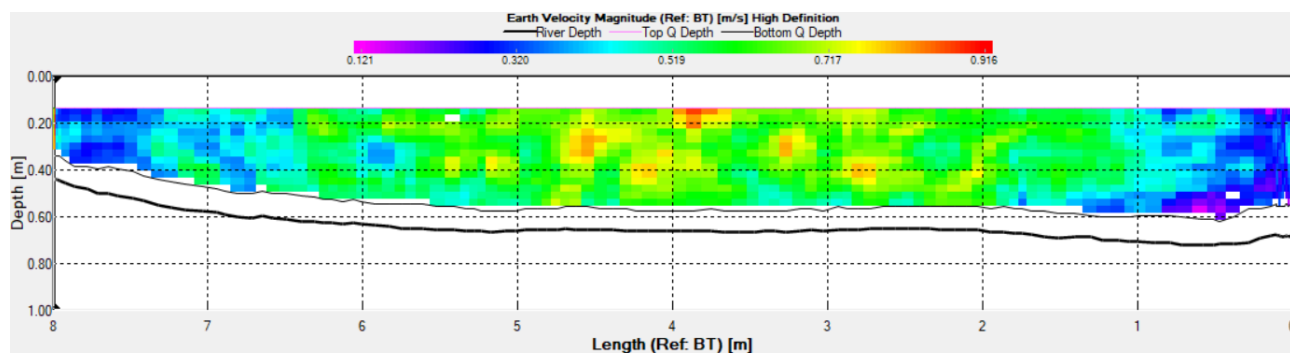


Måleprofil, broudløb



Strækning nedstrøms

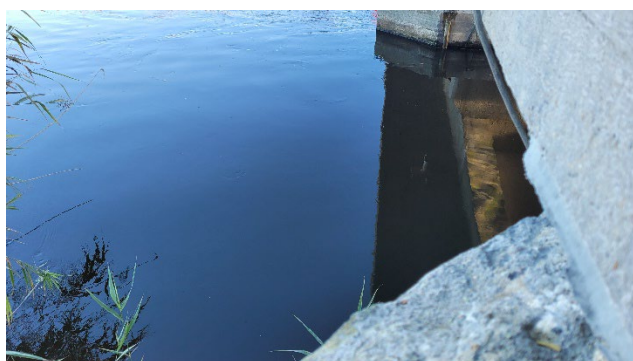
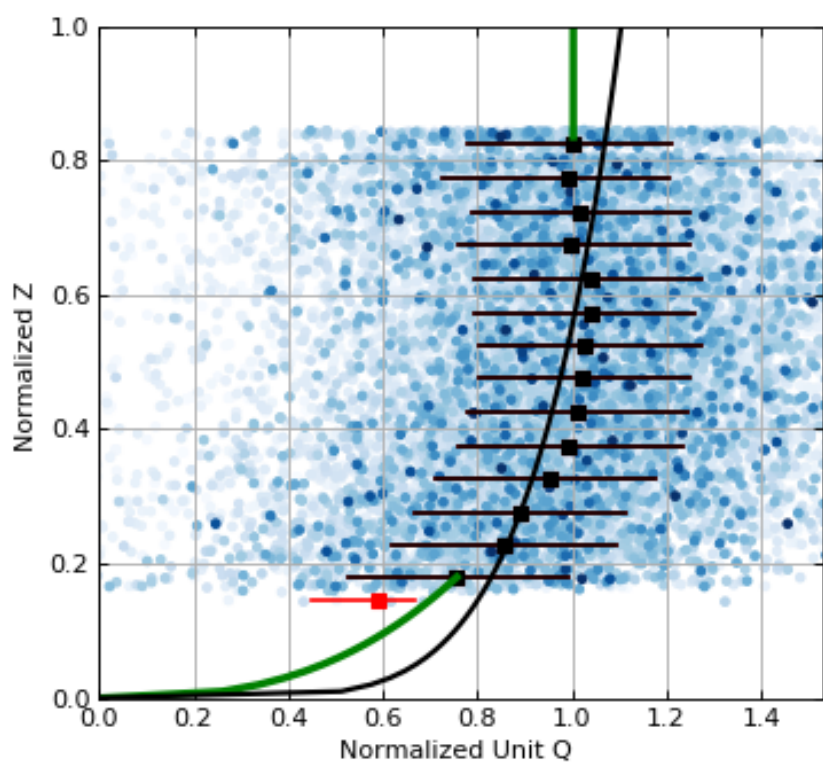
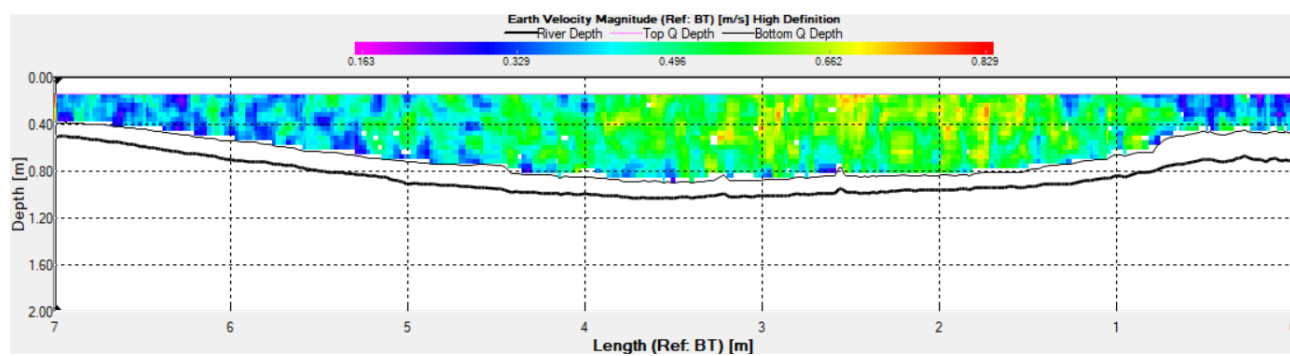
Station 06000001, Ry Å, Manna - Måling 15/4 2021



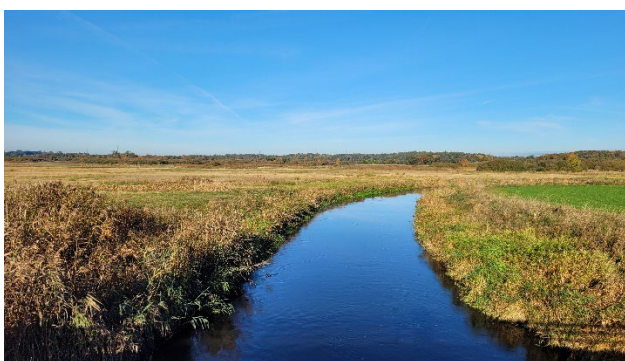
Strækning nedstrøms, måleprofil under bro.



Station 18000077, Skals Å, Løvel Bro-. Måling 15/4 2021

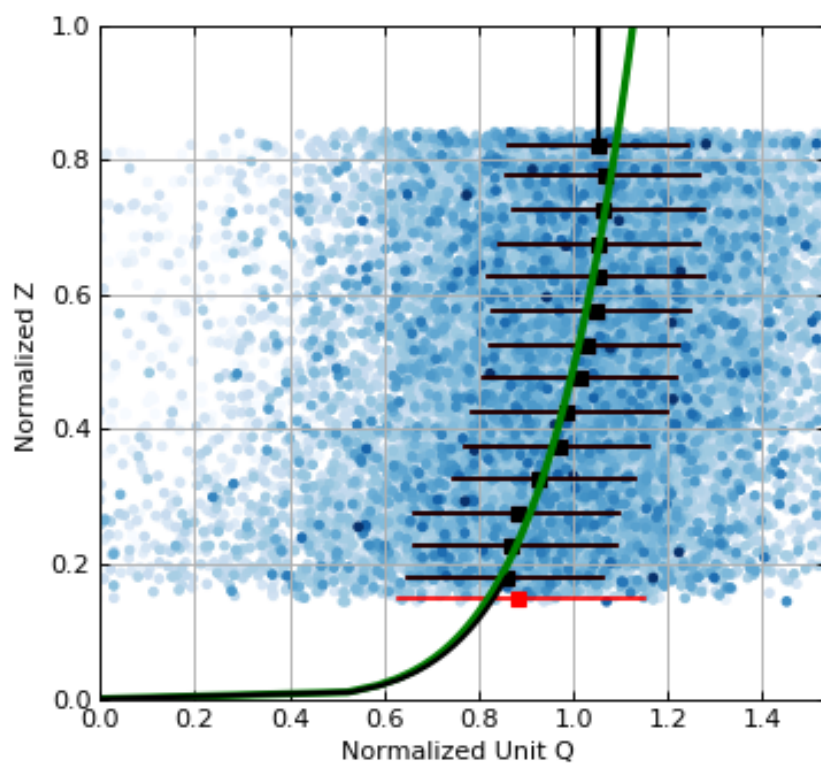
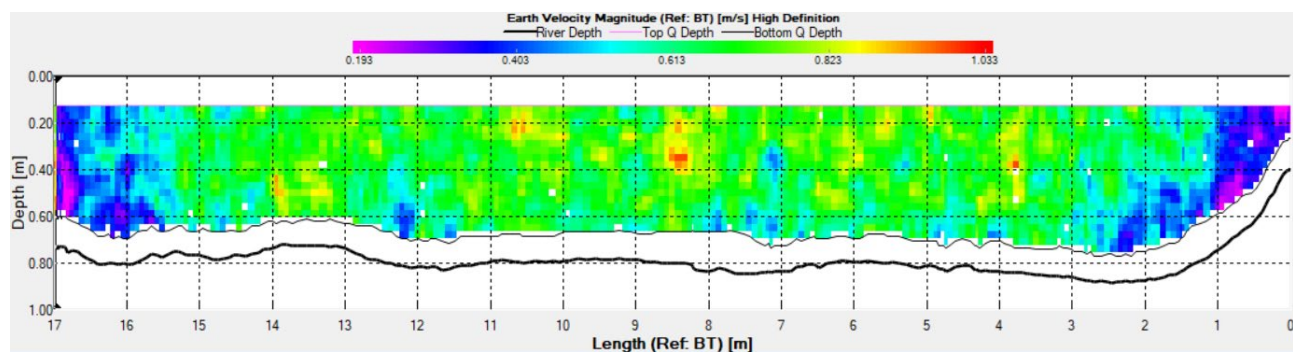


Måleprofil, broudløb



Strækning nedstrøms

Station 20000024, Karup Å, Nørkær Bro - Måling 16/4 2021

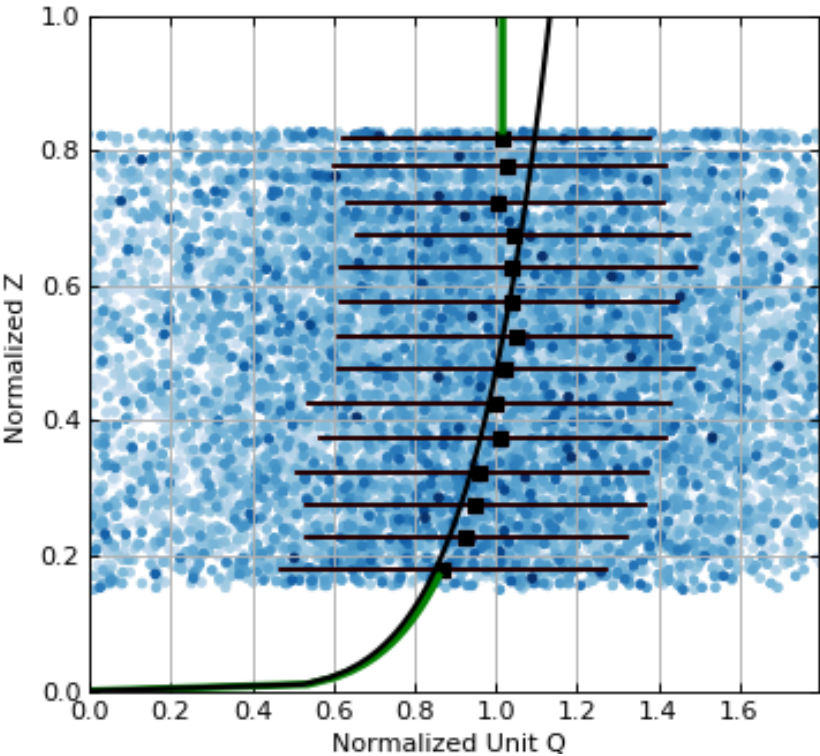
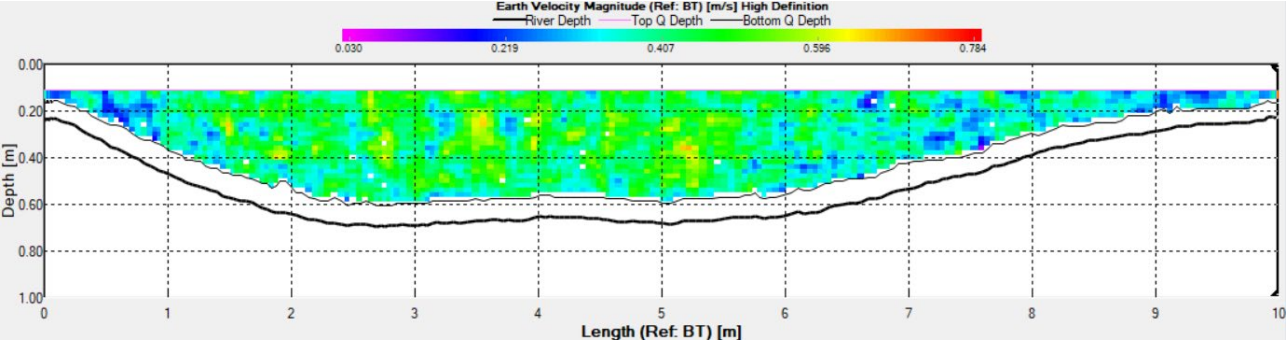


Måleprofil, broudløb



Strækning nedstrøms

Station 21000085, Gudenå, Åstedbro - Måling 29/4 2021

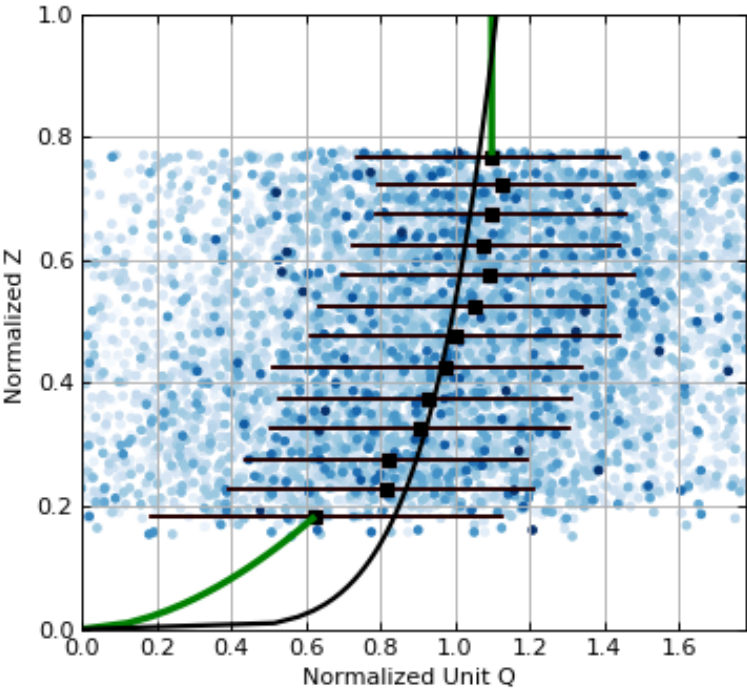
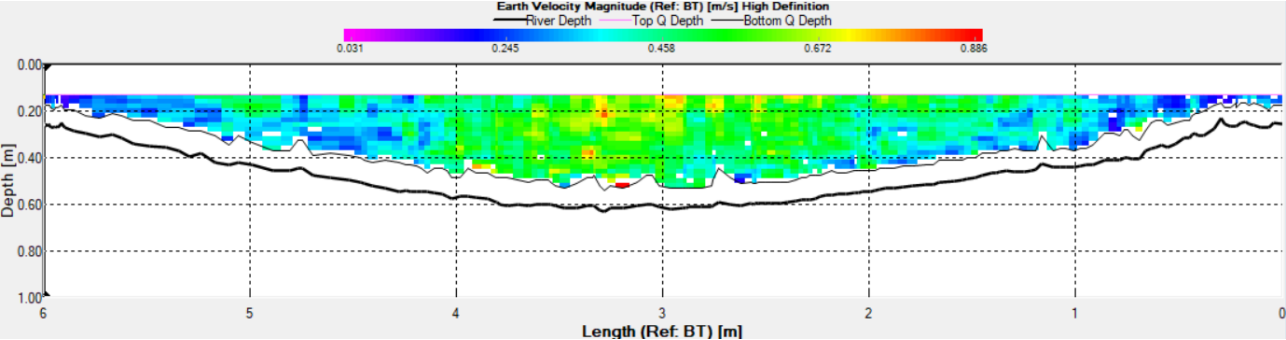


Måleprofil



Strækning op- og nedstrøms

Station 21000413, Alling Å, Ny Rævebro, Fløjstrup - Måling 22/4 2021

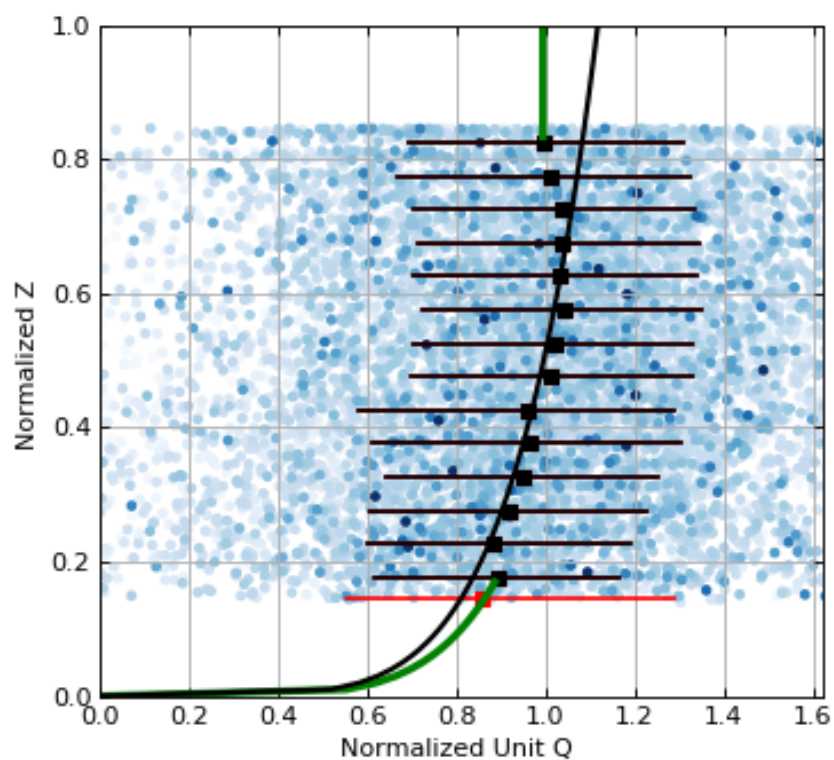
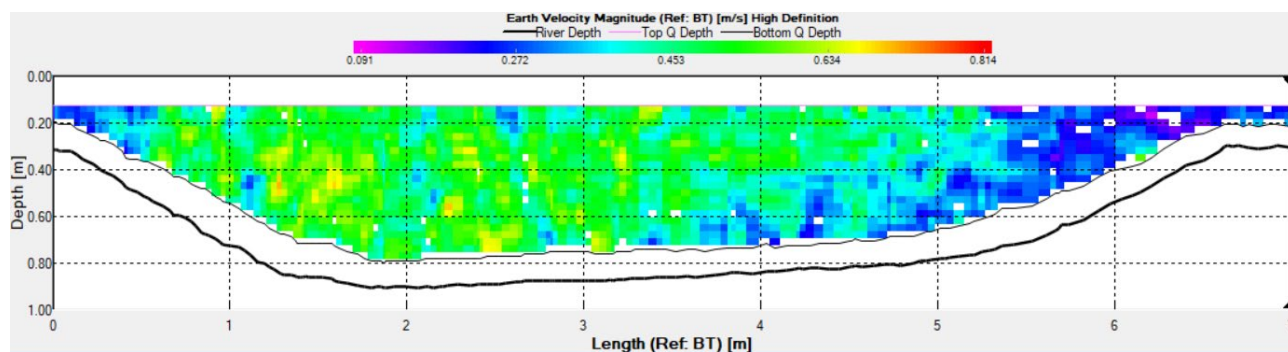


Måleprofil



Strækning nedstrøms

Station 21000548, Lille Å, ns. Løjstrup Dambrug - Måling 21/4 2021

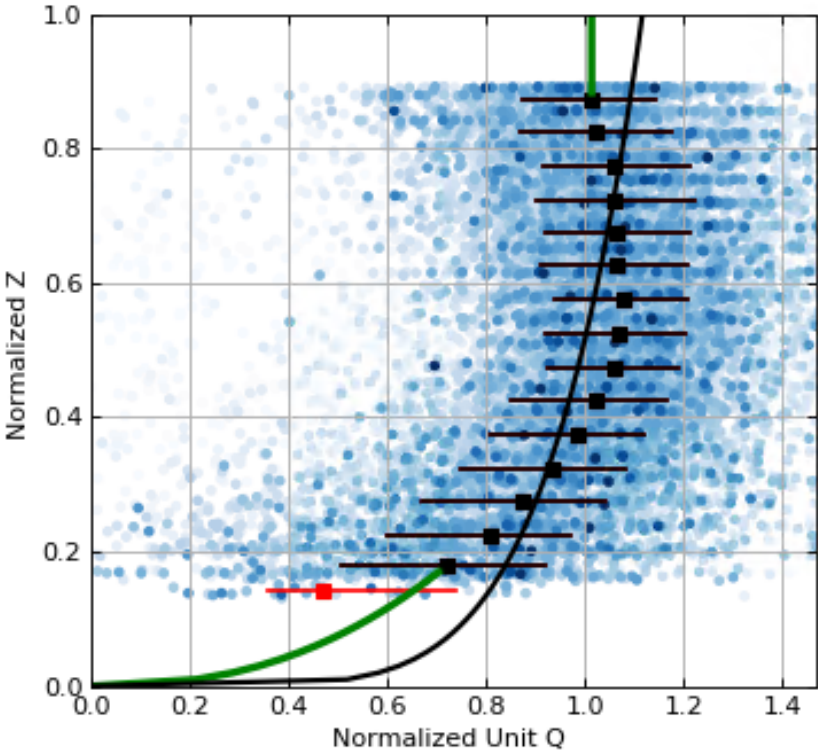
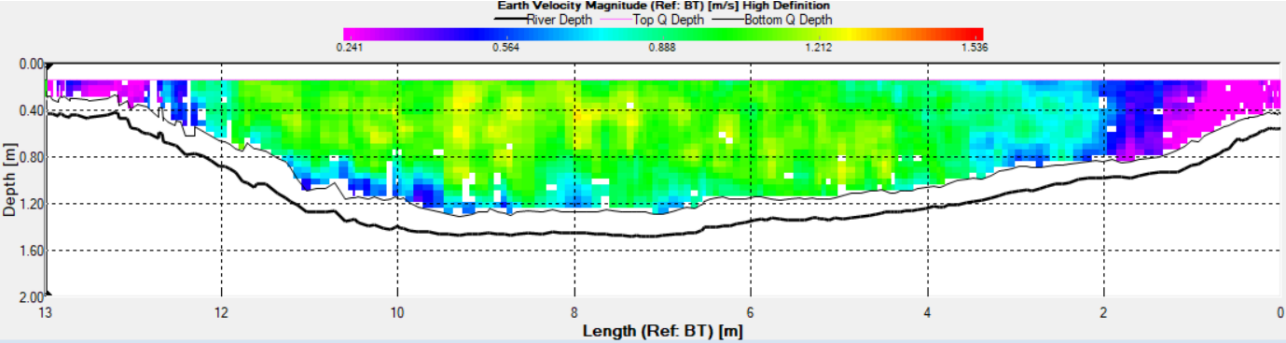


Måleprofil



Måleprofil og strækning nedstrøms

Station 22001541, Storå, Laksestien - Måling 17/5 2021

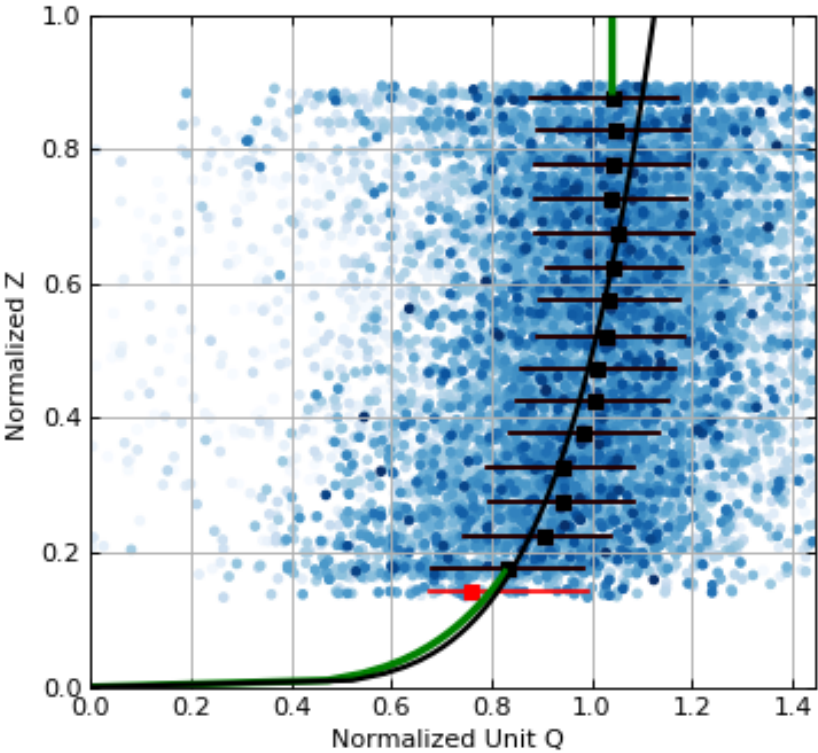
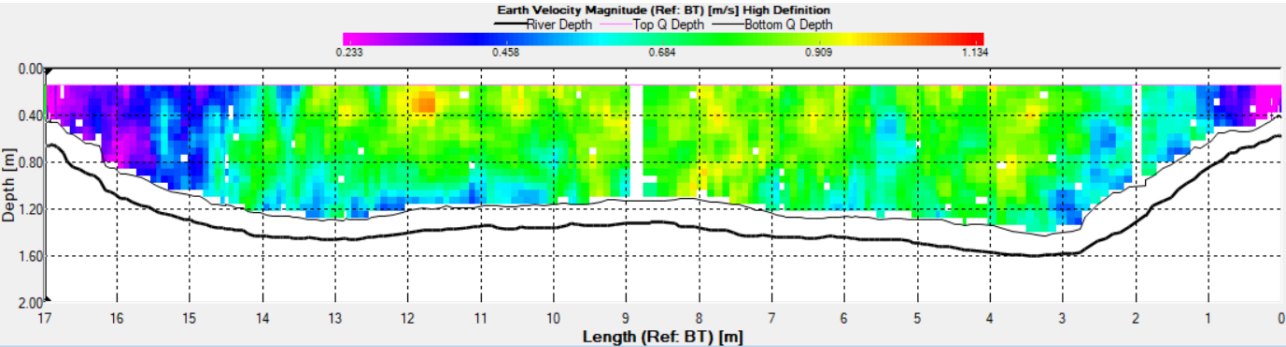


Måleprofil



Måleprofil og del af strækning

Station 25000082, Skjern Å, Ahlergaarde - Måling 27/4 2021



Måleprofil, ADCP



Måleprofil, MFPro og strækning nedstrøms

Bilag 3. Vandføringsmålinger, resultater

Vandløb, lokalitet	Instrument	Dato, tid	Vandføring (l/s)	Bredde (m)	Middel- dybde (m)	Middel-ha- stighed (m/s)	Tværsnit- areal (m2)
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	16.11.2021 08:55	1442	7,00	0,66	0,31	4,62
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	16.11.2021 10:12	1500	7,00	0,67	0,32	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	16.11.2021 11:07	1673	6,94	0,68	0,35	4,75
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	16.11.2021 12:07	1452	7,00	0,66	0,31	4,65
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	16.11.2021 12:29	1595	7,00	0,67	0,34	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	16.11.2021 13:23	1707	6,94	0,69	0,36	4,78
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	16.11.2021 14:22	1461	7,00	0,67	0,31	4,69
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	16.11.2021 14:33	1620	7,00	0,67	0,35	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	16.11.2021 15:28	1706	6,96	0,70	0,35	4,84
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	22.04.2021 08:11	876	6,25	0,54	0,26	3,36
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	22.04.2021 08:13	960	6,25	0,54	0,28	3,37
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	22.04.2021 09:30	1011	6,36	0,54	0,29	3,44
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	22.04.2021 10:34	879	6,25	0,53	0,26	3,33
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	22.04.2021 10:51	954	6,25	0,54	0,28	3,37
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	22.04.2021 11:31	995	6,29	0,53	0,30	3,36
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	22.04.2021 12:24	873	6,25	0,53	0,26	3,32
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	22.04.2021 12:42	970	6,25	0,54	0,29	3,37
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	22.04.2021 14:05	998	6,19	0,55	0,29	3,40
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	29.06.2021 07:41	561	7,00	0,67	0,12	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	29.06.2021 07:45	489	7,00	0,66	0,11	4,62
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	29.06.2021 08:59	549	6,78	0,67	0,12	4,56
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	29.06.2021 10:02	483	7,00	0,66	0,10	4,62
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	29.06.2021 10:14	547	7,00	0,67	0,12	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	29.06.2021 11:06	587	6,78	0,67	0,13	4,55
Uggerby Å, Åstedbro	OTT MFPro	29.06.2021 12:05	502	7,00	0,67	0,11	4,67
Uggerby Å, Åstedbro	Vingebinstrument	29.06.2021 12:21	549	7,00	0,67	0,12	4,66
Uggerby Å, Åstedbro	ADCP StreamPro	29.06.2021 13:04	544	6,74	0,67	0,12	4,55
Ryå, Manna	Vingebinstrument	15.04.2021 08:13	2459	8,50	0,65	0,45	5,52
Ryå, Manna	OTT MFPro	15.04.2021 08:32	2312	8,50	0,63	0,43	5,40
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	15.04.2021 10:28	2658	8,65	0,64	0,48	5,50
Ryå, Manna	OTT MFPro	15.04.2021 11:32	2316	8,50	0,63	0,43	5,39
Ryå, Manna	Vingebinstrument	15.04.2021 11:38	2475	8,50	0,64	0,45	5,48
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	15.04.2021 12:46	2669	8,62	0,64	0,49	5,48
Ryå, Manna	OTT MFPro	15.04.2021 13:56	2360	8,50	0,64	0,44	5,42
Ryå, Manna	Vingebinstrument	15.04.2021 14:10	2498	8,50	0,64	0,46	5,43
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	15.04.2021 15:26	2608	8,61	0,63	0,48	5,45
Ryå, Manna	OTT MFPro	24.08.2021 23:00	1228	8,55	0,51	0,28	4,37
Ryå, Manna	OTT MFPro	25.08.2021 08:02	1245	8,55	0,51	0,29	4,36
Ryå, Manna	Vingebinstrument	25.08.2021 08:07	1355	8,53	0,53	0,30	4,51
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	25.08.2021 09:20	1334	8,72	0,52	0,30	4,51
Ryå, Manna	OTT MFPro	25.08.2021 10:13	1269	8,55	0,53	0,28	4,49
Ryå, Manna	Vingebinstrument	25.08.2021 10:36	1365	8,53	0,53	0,30	4,51
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	25.08.2021 11:06	1415	8,72	0,52	0,31	4,52
Ryå, Manna	Vingebinstrument	25.08.2021 12:21	1362	8,53	0,53	0,30	4,51
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	25.08.2021 12:55	1406	8,69	0,52	0,31	4,50
Ryå, Manna	Vingebinstrument	28.06.2021 07:36	1419	8,45	0,49	0,34	4,17
Ryå, Manna	OTT MFPro	28.06.2021 07:41	1299	8,45	0,50	0,31	4,18

Ryå, Manna	ADCP StreamPro	28.06.2021 08:56	1418	8,71	0,49	0,33	4,24
Ryå, Manna	OTT MFPro	28.06.2021 09:54	1288	8,45	0,49	0,31	4,16
Ryå, Manna	Vingeinstrument	28.06.2021 10:13	1455	8,45	0,49	0,35	4,18
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	28.06.2021 10:51	1373	8,64	0,48	0,33	4,17
Ryå, Manna	OTT MFPro	28.06.2021 11:40	1281	8,45	0,49	0,31	4,16
Ryå, Manna	Vingeinstrument	28.06.2021 12:05	1426	8,45	0,49	0,34	4,17
Ryå, Manna	ADCP StreamPro	28.06.2021 12:44	1382	8,63	0,48	0,33	4,16
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	08.06.2021 07:20	1830	6,35	1,00	0,29	6,35
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	08.06.2021 10:00	1924	6,35	1,00	0,30	6,34
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	08.06.2021 10:13	2121	5,60	1,06	0,36	5,91
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	08.06.2021 10:37	1852	6,35	1,00	0,29	6,34
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	08.06.2021 12:12	1879	6,35	1,00	0,30	6,34
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	08.06.2021 12:17	2039	5,58	1,02	0,36	5,68
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	08.06.2021 13:13	1860	6,35	1,00	0,29	6,35
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	08.06.2021 14:43	1880	6,35	1,00	0,30	6,34
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	08.06.2021 14:45	2104	5,59	1,07	0,35	5,98
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	15.04.2021 08:13	1959	6,19	0,79	0,40	4,86
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	15.04.2021 11:06	2108	6,20	0,79	0,43	4,87
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	15.04.2021 11:35	2275	5,63	0,82	0,49	4,61
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	15.04.2021 12:03	1981	6,20	0,78	0,41	4,84
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	15.04.2021 14:17	2057	6,20	0,79	0,42	4,87
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	15.04.2021 14:18	2222	5,59	0,82	0,48	4,61
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	15.04.2021 14:58	1977	6,20	0,78	0,41	4,85
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	15.04.2021 16:58	2026	6,20	0,79	0,42	4,88
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	15.04.2021 16:59	2265	5,58	0,82	0,49	4,59
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	27.10.2021 07:30	1957	6,20	1,05	0,30	6,49
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	27.10.2021 10:12	2242	5,12	1,11	0,40	5,66
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	27.10.2021 10:13	1946	6,20	1,04	0,30	6,46
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	27.10.2021 10:37	1912	6,20	1,04	0,30	6,46
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	27.10.2021 12:04	1957	6,20	1,04	0,30	6,46
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	27.10.2021 12:24	2232	5,11	1,11	0,40	5,65
Skals Å, Løvel Bro	OTT MFPro	27.10.2021 12:48	1985	6,20	1,03	0,31	6,41
Skals Å, Løvel Bro	Vingeinstrument	27.10.2021 14:17	2003	6,20	1,04	0,31	6,46
Skals Å, Løvel Bro	ADCP StreamPro	27.10.2021 14:19	2257	5,08	1,11	0,40	5,64
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	08.09.2021 08:30	4822	15,70	0,72	0,42	11,37
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	08.09.2021 10:41	4950	15,70	0,72	0,44	11,36
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	08.09.2021 10:46	5229	15,78	0,75	0,44	11,91
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	08.09.2021 11:50	4820	15,70	0,72	0,42	11,36
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	08.09.2021 13:02	5007	15,70	0,72	0,44	11,36
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	08.09.2021 13:30	5134	15,85	0,75	0,43	11,85
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	08.09.2021 14:06	4863	15,70	0,72	0,43	11,37
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	08.09.2021 15:16	5120	15,70	0,72	0,45	11,36
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	08.09.2021 15:29	5197	15,79	0,75	0,44	11,84
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	15.06.2021 07:22	6033	16,00	0,76	0,49	12,20
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	15.06.2021 10:06	6353	16,00	0,76	0,52	12,19
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	15.06.2021 10:21	6765	16,64	0,75	0,54	12,46
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	15.06.2021 10:50	5953	16,00	0,76	0,49	12,19
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	15.06.2021 12:35	6266	16,00	0,76	0,51	12,19
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	15.06.2021 13:03	6579	16,11	0,78	0,52	12,55
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	15.06.2021 15:34	6072	16,00	0,76	0,50	12,19
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	15.06.2021 16:07	6516	16,03	0,78	0,52	12,58
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	16.04.2021 08:42	6616	16,30	0,78	0,52	12,71
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	16.04.2021 11:40	6918	16,30	0,78	0,55	12,67
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	16.04.2021 11:51	7468	16,58	0,78	0,58	12,87
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	16.04.2021 12:26	6537	16,30	0,76	0,53	12,37

Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	16.04.2021 13:47	6804	16,30	0,78	0,54	12,65
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	16.04.2021 14:05	7469	16,79	0,78	0,57	13,02
Karup Å, Nørkær Bro	OTT MFPro	16.04.2021 14:50	6685	16,30	0,78	0,53	12,71
Karup Å, Nørkær Bro	Vingeinstrument	16.04.2021 16:18	6565	16,30	0,78	0,52	12,66
Karup Å, Nørkær Bro	ADCP StreamPro	16.04.2021 16:41	7200	16,53	0,77	0,56	12,78
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	01.09.2021 06:13	1121	11,75	0,54	0,18	6,36
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	01.09.2021 08:25	1216	11,58	0,53	0,20	6,17
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	01.09.2021 08:33	1239	11,75	0,54	0,19	6,37
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	01.09.2021 09:12	1122	11,75	0,54	0,18	6,35
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	01.09.2021 10:31	1263	11,75	0,54	0,20	6,39
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	01.09.2021 10:44	1129	11,53	0,53	0,18	6,17
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	01.09.2021 11:18	1138	11,75	0,54	0,18	6,34
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	01.09.2021 12:30	1120	11,45	0,54	0,18	6,15
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	01.09.2021 12:36	1268	11,75	0,54	0,20	6,38
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	09.06.2021 08:00	1589	13,00	0,71	0,17	9,21
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	09.06.2021 11:03	1731	13,00	0,71	0,19	9,21
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	09.06.2021 11:12	1675	13,00	0,71	0,18	9,20
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	09.06.2021 11:39	1564	13,00	0,71	0,17	9,19
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	09.06.2021 13:05	1710	13,00	0,71	0,19	9,20
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	09.06.2021 13:17	1666	12,99	0,71	0,18	9,20
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	09.06.2021 14:30	1569	13,00	0,71	0,17	9,20
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	09.06.2021 15:52	1724	13,00	0,71	0,19	9,20
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	09.06.2021 16:09	1671	12,79	0,71	0,18	9,09
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	20.04.2021 06:38	1590	11,70	0,48	0,28	5,58
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	20.04.2021 09:10	1766	11,70	0,47	0,32	5,55
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	20.04.2021 09:16	1668	11,70	0,46	0,31	5,43
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	20.04.2021 09:45	1612	11,70	0,48	0,29	5,57
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	20.04.2021 10:58	1794	11,70	0,47	0,32	5,55
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	20.04.2021 11:13	1609	11,70	0,47	0,30	5,44
Gudenå, Åstedbro	OTT MFPro	20.04.2021 12:40	1685	11,70	0,48	0,30	5,56
Gudenå, Åstedbro	Vingeinstrument	20.04.2021 13:44	1815	11,70	0,47	0,33	5,55
Gudenå, Åstedbro	ADCP StreamPro	20.04.2021 14:01	1630	11,75	0,47	0,30	5,49
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	18.06.2021 07:10	551	7,50	0,68	0,11	5,11
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	18.06.2021 09:03	649	7,43	0,71	0,12	5,29
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	18.06.2021 09:17	613	7,50	0,68	0,12	5,11
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	18.06.2021 09:41	559	7,50	0,68	0,11	5,07
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	18.06.2021 11:06	624	7,50	0,68	0,12	5,11
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	18.06.2021 11:22	652	7,48	0,71	0,12	5,33
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	18.06.2021 11:50	544	7,50	0,68	0,11	5,10
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	18.06.2021 13:11	659	7,49	0,72	0,12	5,37
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	18.06.2021 13:14	603	7,50	0,68	0,12	5,11
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	22.04.2021 07:38	954	6,65	0,41	0,35	2,73
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	22.04.2021 09:09	901	6,65	0,41	0,33	2,72
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	22.04.2021 09:13	926	6,69	0,44	0,31	2,95
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	22.04.2021 09:36	954	6,65	0,41	0,35	2,73
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	22.04.2021 10:56	895	6,70	0,44	0,30	2,95
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	22.04.2021 11:06	896	6,65	0,41	0,33	2,73
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	22.04.2021 11:43	952	6,65	0,41	0,35	2,73
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	22.04.2021 12:56	967	6,64	0,44	0,33	2,96
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	22.04.2021 13:11	896	6,65	0,41	0,33	2,73
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	31.08.2021 07:29	580	6,25	0,57	0,16	3,57
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	31.08.2021 09:44	669	6,22	0,59	0,18	3,65
Alling Å, Fløjstrup	Vingeinstrument	31.08.2021 09:50	640	6,25	0,57	0,18	3,57
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFPro	31.08.2021 10:06	577	6,25	0,57	0,16	3,57
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	31.08.2021 11:22	645	6,13	0,59	0,18	3,60

Alling Å, Fløjstrup	Vingebestemmer	31.08.2021 11:30	650	6,25	0,57	0,18	3,57
Alling Å, Fløjstrup	OTT MFP	31.08.2021 12:25	567	6,25	0,57	0,16	3,57
Alling Å, Fløjstrup	ADCP StreamPro	31.08.2021 13:35	686	6,11	0,59	0,19	3,62
Alling Å, Fløjstrup	Vingebestemmer	31.08.2021 13:46	643	6,25	0,57	0,18	3,57
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	02.09.2021 07:23	1064	5,60	0,68	0,28	3,84
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	02.09.2021 09:31	1195	5,58	0,70	0,31	3,89
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	02.09.2021 09:35	1125	5,60	0,68	0,29	3,83
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	02.09.2021 10:05	1061	5,60	0,68	0,28	3,83
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	02.09.2021 11:17	1188	5,61	0,70	0,30	3,92
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	02.09.2021 11:18	1120	5,60	0,68	0,29	3,83
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	02.09.2021 12:01	1097	5,60	0,68	0,29	3,83
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	02.09.2021 13:09	1204	5,63	0,70	0,31	3,93
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	02.09.2021 13:16	1140	5,60	0,68	0,30	3,83
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	17.06.2021 06:37	1159	6,20	0,67	0,28	4,15
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	17.06.2021 08:23	1298	6,12	0,69	0,31	4,22
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	17.06.2021 08:35	1215	6,20	0,67	0,29	4,15
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	17.06.2021 08:49	1170	6,20	0,67	0,28	4,14
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	17.06.2021 10:07	1296	5,95	0,71	0,31	4,21
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	17.06.2021 10:09	1227	6,20	0,67	0,30	4,15
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	17.06.2021 11:07	1227	6,20	0,67	0,30	4,14
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	17.06.2021 12:30	1212	6,20	0,67	0,29	4,15
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	17.06.2021 12:31	1309	6,11	0,70	0,31	4,26
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	21.04.2021 07:23	1636	6,70	0,67	0,36	4,49
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	21.04.2021 09:29	1751	6,70	0,66	0,39	4,45
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	21.04.2021 09:34	1610	6,67	0,67	0,36	4,46
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	21.04.2021 10:02	1561	6,70	0,66	0,35	4,45
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	21.04.2021 11:30	1542	6,67	0,67	0,34	4,50
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	21.04.2021 11:33	1717	6,70	0,67	0,38	4,48
Hadsten Lilleå, Løjstrup	OTT MFP	21.04.2021 12:15	1600	6,70	0,67	0,36	4,48
Hadsten Lilleå, Løjstrup	ADCP StreamPro	21.04.2021 13:49	1575	6,66	0,67	0,35	4,46
Hadsten Lilleå, Løjstrup	Vingebestemmer	21.04.2021 13:51	1713	6,70	0,67	0,38	4,46
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	01.06.2021 09:08	12925	13,90	1,14	0,82	15,80
Storå, Laksestien	OTT MFP	01.06.2021 09:24	12521	13,90	1,14	0,79	15,85
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	01.06.2021 10:05	13107	13,90	1,14	0,83	15,82
Storå, Laksestien	OTT MFP	01.06.2021 10:55	12182	13,90	1,14	0,77	15,83
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	01.06.2021 11:07	12690	13,57	1,15	0,81	15,66
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	01.06.2021 11:51	13000	13,87	1,14	0,82	15,81
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	01.06.2021 12:27	13114	14,01	1,14	0,82	15,96
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	01.06.2021 14:51	12781	13,90	1,13	0,81	15,72
Storå, Laksestien	OTT MFP	14.10.2021 07:38	8805	13,15	0,99	0,68	13,03
Storå, Laksestien	OTT MFP	14.10.2021 08:50	8946	13,15	1,00	0,68	13,18
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	14.10.2021 09:05	9480	13,15	1,03	0,70	13,60
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	14.10.2021 09:34	9257	12,13	1,07	0,71	13,01
Storå, Laksestien	OTT MFP	14.10.2021 10:01	8896	13,15	1,03	0,66	13,48
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	14.10.2021 10:10	9425	13,15	1,02	0,70	13,42
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	14.10.2021 10:31	9221	12,47	1,06	0,70	13,19
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	14.10.2021 11:11	9344	13,15	1,03	0,69	13,51
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	14.10.2021 11:22	9161	12,57	1,06	0,69	13,32
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	17.05.2021 09:19	10760	13,50	1,05	0,76	14,23
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	17.05.2021 10:30	10759	13,50	1,05	0,76	14,20
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	17.05.2021 11:30	10897	13,43	1,06	0,77	14,21
Storå, Laksestien	Vingebestemmer	17.05.2021 11:35	10731	13,50	1,05	0,76	14,18
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	17.05.2021 12:20	10797	13,18	1,07	0,77	14,06
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	17.05.2021 13:17	10808	13,23	1,07	0,76	14,17
Storå, Laksestien	OTT MFP	21.09.2021 08:59	5585	12,50	0,85	0,53	10,62

Storå, Laksestien	OTT MFPro	21.09.2021 10:10	5731	12,50	0,85	0,54	10,68
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	21.09.2021 10:31	5942	11,71	0,89	0,57	10,44
Storå, Laksestien	Vingeinstrument	21.09.2021 10:48	5725	12,55	0,86	0,53	10,83
Storå, Laksestien	OTT MFPro	21.09.2021 11:12	5812	12,50	0,87	0,53	10,92
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	21.09.2021 11:19	5949	11,66	0,89	0,57	10,40
Storå, Laksestien	Vingeinstrument	21.09.2021 11:40	5710	12,55	0,85	0,54	10,61
Storå, Laksestien	Vingeinstrument	21.09.2021 12:38	5787	12,55	0,85	0,54	10,65
Storå, Laksestien	ADCP StreamPro	21.09.2021 12:44	6024	11,91	0,88	0,57	10,51
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	19.05.2021 09:08	15088	16,39	1,39	0,66	22,87
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	19.05.2021 09:45	14505	21,85	1,28	0,52	27,86
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	19.05.2021 10:23	14772	16,44	1,41	0,64	23,12
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	19.05.2021 11:03	14696	21,85	1,28	0,53	27,90
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	19.05.2021 12:16	15391	16,75	1,42	0,65	23,83
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	19.05.2021 12:38	14634	21,95	1,27	0,53	27,86
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	27.04.2021 09:35	13761	21,60	1,20	0,53	25,96
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	27.04.2021 11:54	13759	16,54	1,29	0,64	21,38
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	27.04.2021 12:35	13866	21,60	1,20	0,53	26,00
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	27.04.2021 12:38	13517	16,75	1,29	0,63	21,56
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	27.04.2021 13:01	13426	16,45	1,30	0,63	21,34
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	27.04.2021 14:06	13616	21,60	1,20	0,53	25,90
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	30.09.2021 08:33	12472	16,58	1,24	0,61	20,51
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	30.09.2021 08:56	12590	21,20	1,17	0,51	24,79
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	30.09.2021 10:02	12586	15,99	1,22	0,65	19,46
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	30.09.2021 10:41	12327	21,25	1,16	0,50	24,59
Skjern Å, Ahlergaarde	Vingeinstrument	30.09.2021 11:46	12379	21,00	1,17	0,50	24,55
Skjern Å, Ahlergaarde	ADCP StreamPro	30.09.2021 12:05	12445	16,11	1,28	0,60	20,58

Bilag 4. Litteratur

Oversigt over relevante artikler og rapporter ved søgning i WoS ud af i alt 309 fundne med søgeordene: ' Discharge AND Measurements AND Instruments' i februar 2021. I alt 38 artikler blev nærmere udvalgt, som værende muligt relevante.

Authors	Year	Editors	Title	Journal	Vol.	DOI
Kumar, A; Saini, RP; Gandhi, BK; Srivastava, RK; Chandra, P; Dubey, AK	2019		Experiences in discharge measurements at Small Hydropower Stations in India	FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION	69	10.1016.flowme-asinst.2019.101605
Despax, A; Le Coz, J; Hauet, A; Mueller, DS; Engel, FL; Blanquart, B; Renard, B; Oberg, KA	2019				55	10.1029/2019WR025296
Dal Sasso, SF; Pizarro, A; Samela, C; Mita, L; Manfreda, S	2018		Exploring the optimal experimental setup for surface flow velocity measurements using PTV	ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT	190	10.1007/s10661-018-6848-3
Oubanas, H; Gejadze, I; Malaterre, PO; Durand, M; Wei, R; Frasson, RPM; Domeneghetti, A	2018		Discharge Estimation in Ungauged Basins Through Variational Data Assimilation: The Potential of the SWOT Mission	WATER RESOURCES RESEARCH	54	10.1002/2017WR021735
Kastner, K; Hoitink, AJF; Torfs, PJJF; Vermeulen, B; Ningsih, NS; Pramulya, M	2018		Prerequisites for Accurate Monitoring of River Discharge Based on Fixed-Location Velocity Measurements	WATER RESOURCES RESEARCH	54	10.1002/2017WR020990
Thollet, F; Le Coz, J; Dramais, G; Nord, G; Le Boursicaud, R; Jacob, E; Buffet, A	2017		Streamflow monitoring at stage / velocity radar stations using the index velocity method	HOUILLE BLANCHE-REVUE INTERNATIONALE DE L EAU		10.1051/lhb/2017038

Hong, JH; Guo, WD; Wang, HW; Yeh, PH	2017		Estimating discharge in gravel-bed river us- ing non-contact ground-penetrating and surface-velocity radars	RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS	33	10.1002/rra.3168
Jesson, M; Sterling, M; Baker, D	2017		Application of ISO4359 for discharge calculation in a narrow flume	FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTA- TION	54	10.1016/j.flowme- asinst.2016.06.015
Moore, SA; Jamieson, EC; Rainville, F; Rennie, CD; Mueller, DS	2017		Monte Carlo Ap- proach for Uncertainty Analysis of Acoustic Doppler Current Pro- filer Discharge Meas- urement by Moving Boat	JOURNAL OF HYDRAU- LIC ENGINEERING	143	10.1061/(ASCE)HY.1943- 7900.0001249
Almeida, AS; de Souza, VCB	2017		An alternative method for measuring veloci- ties in open-channel flows: performance evaluation of a Pitot tube compared to an acoustic meter	RBRH-REVISTA BRASI- LEIRA DE RECURSOS HIDRICOS	22	10.1590/2318-0331.011716099
Pike, RG; Redding, TE; Schwarz, CJ	2016		Development and test- ing of a modified transparent velocity- head rod for stream discharge measure- ments	CANADIAN WATER RE- SOURCES JOURNAL	41	10.1080/07011784.2015.1127776
Boldt, JA; Oberg, KA	2016		Validation of Stream- flow Measurements Made with M9 and Ri- verRay Acoustic Dop- pler Current Profilers	JOURNAL OF HYDRAU- LIC ENGINEERING	142	10.1061/(ASCE)HY.1943- 7900.0001087

Minea, G; Adler, MJ; Patru, G	2016	Ioja, IC; Co-manescu, L; Dumitrich, L; Nedelea, A; Nita, MR	A hydrometric and hydrological approach test at microscale	ECOSMART - ENVIRONMENT AT CROSSROADS: SMART APPROACHES FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT	32	10.1016/j.proenv.2016.03.032
Armstrong, B; Fulford, J; Thibodeaux, K	2015		Quality Assurance Testing of Acoustic Doppler Current Profiler Transform Matrices	2015 IEEE/OES 11TH CURRENT, WAVES AND TURBULENCE MEASUREMENT (CWTM)		
Kastner, K; Hoitink, AJF; Vermeulen, B; Hidayat; Sassi, MG; Pramulya, M; Ningsih, NS	2015	Mynett, A	COMPARISON OF DISCHARGE ESTIMATES FROM A RATING CURVE AND ADCP MEASUREMENTS	PROCEEDINGS OF THE 36TH IAHR WORLD CONGRESS: DELTAS OF THE FUTURE AND WHAT HAPPENS UPSTREAM		
Lee, K; Ho, HC; Marian, M; Wu, CH	2014		Uncertainty in open channel discharge measurements acquired with StreamPro ADCP	JOURNAL OF HYDROLOGY	509	10.1016/j.jhydrol.2013.11.031
Nord, G; Gallart, F; Gratiot, N; Soler, M; Reid, I; Vachtman, D; Latron, J; Martin-Vide, JP; Laronne, JB	2014		Applicability of acoustic Doppler devices for flow velocity measurements and discharge estimation in flows with sediment transport	JOURNAL OF HYDROLOGY	509	10.1016/j.jhydrol.2013.11.020
Haught, DW; Venditti, JG; Church, M	2014	Schleiss, AJ; DeCesare, G; Franca, MJ; Pfister, M	Acoustic sediment flux observations on the Fraser River, Canada	RIVER FLOW 2014		

Petrie, J; Diplas, P; Gu- tierrez, M; Nam, S	2013		Data evaluation for acoustic Doppler cur- rent profiler measure- ments obtained at fixed locations in a natural river	WATER RESOURCES RE- SEARCH	49	10.1002/wrcr.20112
Chen, YC	2013		Flood discharge meas- urement of a mountain river - Nanshih River in Taiwan	HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCI- ENCES	17	10.5194/hess-17-1951-2013
Vischer, DL	2010		The development of the current meters from the drifting leaf to the hydrometric spinner and back again	HYDROLOGIE UND WAS- SERBEWIRTSCHAFTUNG	54	
Lozano, D; Mateos, L	2009		Field evaluation of ul- trasonic flowmeters for measuring water discharge in irrigation canals	IRRIGATION AND DRAI- NAGE	58	10.1002/ird.404
Le Coz, J; Pierrefeu, G; Paquier, A	2008		Evaluation of river dis- charges monitored by a fixed side-looking Doppler profiler	WATER RESOURCES RE- SEARCH	44	10.1029/2008WR006967
Kim, Y; Muste, M; Hauet, A; Krajewski, WF; Kruger, A; Bradley, A	2008		Stream discharge us- ing mobile large-scale particle image veloci- metry: A proof of con- cept	WATER RESOURCES RE- SEARCH	44	10.1029/2006WR005441
Blake, JR; Packman, JC	2008		Identification and cor- rection of water veloc- ity measurement er- rors associated with ultrasonic Doppler flow monitoring	WATER AND ENVIRON- MENT JOURNAL	22	10.1111/j.1747- 6593.2007.00089.x

De Doncker, L; Troch, P; Verhoeven, R	2008		Accuracy of discharge measurements in a vegetated river	FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION	19	10.1016/j.flowmeasinst.2007.08.007
Maraga, F; Pelissero, C	2008		Bed Load and Discharges as compared in a small river instrumented reach (Italy)	HOUILLE BLANCHE-REVUE INTERNATIONALE DE L EAU		10.1051/LHB:2008066
Costa, JE; Cheng, RT; Haeni, FP; Melcher, N; Spicer, KR; Hayes, E; Plant, W; Hayes, K; Teague, C; Barrick, D	2006		Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods	WATER RESOURCES RESEARCH	42	10.1029/2005WR004430
Muste, M; Yu, K; Spasojevic, M	2004		Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part 1: moving-vessel measurements	FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION	15	10.1016/j.flowmeasinst.2003.09.001
Muste, M; Yu, K; Pratt, T; Abraham, D	2004		Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part II: fixed-vessel measurements	FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION	15	10.1016/j.flowmeasinst.2003.09.002
Trenaman, N; Marsden, R	2003	Rizoli, JA	Horizontal acoustic Doppler current profile instrument development and applications	PROCEEDINGS OF THE IEEE/OES SEVENTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT TECHNOLOGY		10.1109/CCM.2003.1194273
Cheng, RT; Gartner, JW	2003	Rizoli, JA	Complete velocity distribution in river cross-sections measured by acoustic instruments	PROCEEDINGS OF THE IEEE/OES SEVENTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT TECHNOLOGY		10.1109/CCM.2003.1194276

Mueller, DS	2003	Rizoli, JA	Field evaluation of boat-mounted acoustic Doppler instruments used to measure streamflow	PROCEEDINGS OF THE IEEE/OES SEVENTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT TECHNOLOGY		10.1109/CCM.2003.1194278
Bradley, S	1999	Anderson, SP; Terray, EA; White, JAR; Williams, AJ	Horizontal ADCP for remote mapping of currents	PROCEEDINGS OF THE IEEE SIXTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT		10.1109/CCM.1999.755223
Morlock, SE; Stewart, JA	1999	Anderson, SP; Terray, EA; White, JAR; Williams, AJ	Overview of hydro-acoustic current-measurement applications by the US Geological Survey in Indiana	PROCEEDINGS OF THE IEEE SIXTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT		10.1109/CCM.1999.755225
Simpson, MR; Bland, R	1999	Anderson, SP; Terray, EA; White, JAR; Williams, AJ	Techniques for accurate estimation of net discharge in a tidal channel	PROCEEDINGS OF THE IEEE SIXTH WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT		10.1109/CCM.1999.755228
Admiraal, D; Demissie, M	1996		Velocity and discharge measurements at selected locations on the Mississippi River during the great flood of 1993 using an Acoustic Doppler Current Profiler	WATER INTERNATIONAL	21	10.1080/02508069608686508
Bronge, C; Openshaw, A	1996		New instrument for measuring water discharge by the salt dilution method	HYDROLOGICAL PROCESSES	10	10.1002/(SICI)1099-1085(199603)10:3<463::AID-HYP312>3.0.CO;2-D

BETYDNING AF SKIFT I INSTRUMENT-TYPER TIL VANDFØRINGSMÅLING VED HYDROMETRISTATIONER I NOVANA

Rapporten belyser systematiske forskelle i vandføringsmålinger i vandløb, der skyldes anvendelse af forskellige typer af måleinstrumenter. Undersøgelsen omfatter propelstrømmåler (vinge-instrument), Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP og elektromagnetisk strømmåler.