



Titel: Vandføringsmåling med akustisk Doppler instrument (ADCP)			
Dokumenttype: Teknisk anvisning	TA. nr.: B04	Version: 1.0	Oprettet:
Forfattere: Jane Bang Poulsen og Niels Bering Ovesen	Gyldig fra: 01.01.2011		
	Sider: 16		
	Sidst ændret:		
TA henvisninger	B02 - B03 - B05		

0 Indhold

1 Indledning	1
2 Metode	2
2.1 Tid, sted og periode.....	2
2.1.1 Valg af måleprofil.....	2
2.2 Udstyr	3
2.3 Måleprocedure	3
2.3.1 Trækwire	5
2.3.2 Bromåling	6
2.3.3 Vademåling	7
2.3.4 Bådmåling.....	8
2.4 Vedligehold af instrumenter.....	8
2.5 Særlige forholdsregler	9
3 Databehandling	10
3.1 Beregninger.....	10
3.2 Data og koder.....	10
4 Kvalitetssikring	11
4.1 Kvalitetssikring af metode	11
4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering	11
5 Referencer	14
6 Bilag	15
6.1 Relaterede TA'er	15
7 Oversigt over versionsændringer	16

1 Indledning

Denne tekniske anvisning beskriver fastsættelse af vandføring i vandløb og åbne kanaler ved brug af Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) instrumenter. Anvisningen dækker måleprocedure, databehandling og kvalitets-sikring af ADCP vandføringsmålinger. Doppler instrumentet benytter lydbølger til måling af vandføringen.

Anvisningen er udarbejdet i henhold til de gældende internationale standarder på området, men på en række punkter er anvisningen konkretiseret i forhold til standarderne, da anvisningen er specifikt rettet mod målinger i danske vandløb.

ADCP instrumentet er normalt monteret på en lille flåde og fungerer ved, at det føres fra den ene bred af vandløbet til den anden på tværs af vandløbet. ADCP instrumentet udsender lydbølger med frekvenser fra 0.5MHz til 3MHz i forskellige vinkler ned mod bunden, og måler på den baggrund vanddybder og vandhastigheder som instrumentet omregner til en vandføring. Teorien bag ADCP instrumentet kan bl.a. findes i Gordon (1996) og Simpson (2001).

Da der eksisterer flere forskellige producenter af ADCP instrumenter, angiver denne tekniske anvisning en beskrivelse af de forhold, der skal opfyldes ved alle ADCP målinger, uanset instrumentets producent. De specifikke procedurer omkring instrumentanvendelse skal findes i de enkelte instrumenters manualer.

2 Metode

På nuværende tidspunkt er der ADCP instrumenter på markedet, der kan måle vandføringer på vanddybder ned til ca. 30 cm. Det betyder, at ADCP instrumenter i vid udstrækning kan benyttes i de samme vandløb, som vingeinstrumenterne hidtil har været benyttet i.

Før det besluttes, om ADCP instrumentet skal anvendes i et givent vandløb, undersøges det, hvad instrumentspecifikationerne angiver i forhold til de minimums og maksimumsdybder samt maksimale vandhastigheder, som instrumentet er designet til at måle i. Derefter vurderes vandløbet i forhold til instrumentspecifikationerne, dvs. der estimeres en middel og maksimumsdybde og en maksimumhastighed i det ønskede måleprofil. Dette udføres ved at måle vandløbets dybde på det henholdsvis dybeste og laveste sted i profilet. En maksimumhastighed kan visuelt skønnes eller estimeres på baggrund af en enkelt vingemåling centralt i vandløbet.

ADCP instrumenter kan ikke måle over grøde, i vandløb med stærke hvirvler eller i vandløb med betydelig bundvandring. Derfor er det en forudsætning for en ADCP måling, at der kan oprettes et måleprofil fri af grøde, uden bundvandring og med en ensformig strømning. Der er zoner langs bredderne, under vandoverfladen og langs bunden, hvor ADCP-instrumentet ikke kan registrere hastigheden. Det er derfor nødvendigt, at der laves en individuel vurdering af, om datadækningen er tilstrækkelig jf. afsnit 4.2. Hvis vandløbets geometri og vandhastighed samtidig lever op til de instrument-specifikke krav, kan ADCP-instrumentet benyttes til at udføre vandføringsmålingen med.

2.1 Tid, sted og periode

Vandføringsmåling med ADCP kan foretages hele året. Dog kan metoden ikke umiddelbart anvendes, hvis vandløbet er helt eller delvis dækket af is.

2.1.1 Valg af måleprofil

For at opnå det bedste måleresultat, skal følgende forhold opfyldes bedst muligt:

- Målingen foretages på en lige strækning med ensartede tværprofiler og fald.
- Tværprofilet skal være grødefrit og fri for store sten eller andre ujævnheder.
- Hvis der kun er en kort lige strækning skal 2/3 af strækningen ligge opstrøms måleprofilet og 1/3 nedstrøms.

- Strømningsretningen skal være den samme i hele tværprofilet og vinkelret på måleprofilet.
- Bund og bredder skal være stabile og veldefinerede ved alle vandstande.
- Profiler med hvirvler og modstrøm skal undgås, og der skal være regulær hastighedsfordeling i hele tværprofilet.
- Hvis der måles mere end en gang på samme station, skal det tilstræbes, at vandføringsmålingen så vidt muligt foretages i det samme tværprofil hver gang. (Ofte vil måling under eller umiddelbart nedstrøms en bro være optimalt, da profilet er regulært og grøden er skygget væk under broen).
- Hvis det ved ekstreme vandstande er nødvendigt at måle et andet sted end normalt, må der ikke være betydelige ind- og udstrømninger på den mellemliggende strækning, således at vandføringen er repræsentativ for det sted, hvor der normalt måles. Der må derfor ikke være grøfter eller andre tilløb, og evt. dræn- eller spildevandsudløb må ikke tilføre mere end ca. 1 % af vandføringen.

2.2 Udstyr

Der anvendes følgende udstyr til en ADCP måling:

- Målebånd/tommestok
- ADCP måleopstilling, bromåling = langt reb eller en lang stang, wiretræk = spyd og wire, evt. båd, ADCP instrument og håndholdt computer/PDA.
- Skovl/le til fjernelse af grøde
- Stave til markering af start og slut i tværprofilet

2.3 Måleprocedure

Nedenstående punkter beskriver en overordnet ADCP måleprocedure, der skal følges uafhængigt af instrumenttype.

- Vandstand aflæses før og efter ADCP målingerne
- Grødetallet vurderes (jf. TA B03). Evt. grøde i og umiddelbart opstrøms måleprofilet fjernes. Evt. mindre isdannelser fjernes tilsvarende.
- ADCP-instrumentet samles efter instrumentanvisningerne og monteres på den valgte måleopstilling. Der etableres kontakt til instrumentet via den håndholdte computer.

- ADCP-instrumentets start/slut placering i måleprofilen findes ud fra de angivelser, der er givet for instrumentet. (Typisk er start/slut angivet som det sted, hvor et bestemt antal hastighedsceller kan måles. Disse placeringer findes ved langsomt at trække instrumentet fra kanten og ud, indtil det krævede antal celler kan måles). Som markering af start og slut punkterne sættes der en stav i vandløbsbunden i den fundne afstand fra hver bred.
- Afstanden imellem instrumentets placering og nærmeste vandløbskant opmåles og noteres, både for start og slut positionen. Værdierne skal benyttes til vandføringsberegningen. Hvis der er en zone nær kanten, hvor der er meget lav eller ingen vandhastighed, måles afstanden til bredden som afstanden fra instrumentet til det sted, hvor strømningen stopper.
- Vandløbets overordnede form i kantzonerne undersøges (f.eks. triangulært, rektangulært eller andet). Ved registrering af kantzoneformen registreres den som den kantzoneform i dataindsamlingsprogrammet, der svarer bedst til virkeligheden.
- ADCP målingen igangsættes ud fra de instrumentspecifikke anvisninger. Instrumentet trækkes langsomt og jævnt på tværs af vandløbet imellem de to start og slut punkter, se tabel 1. Det er vigtigt at start og slutpositionerne er tydeligt markerede, så det er det samme profil der måles for hvert træk.
- Der skal foretages minimum 4 træk (målinger) på tværs af vandløbet. 2 træk i hver retning. Hvis nogen af målingerne varierer mere end 5 % fra middel af alle 4, foretages yderligere 4 træk. Vandføringen fastsættes som middel af alle målingerne.

Tabel 1

Vandløbsbredde	0 – 10 m	10 – 25 m	> 25 m
Træktid for ét træk	1 – 2 min	2 – 3 min	> 3 min

Forskellige forhold i vandløbene kan gøre, at der er grunde til at benytte én måleopstilling frem for en anden. Generelt er der dog en fordel ved at benytte et wiretræk, da det er den nemmeste metode til at sikre en jævn trækhastighed. Samtidig er det muligt med et wiretræk at sikre, at man fra målegang til målegang måler nøjagtigt i det samme profil, fordi trækket kan sættes op helt det samme sted hver gang. Samlet set er det derfor ønskværdigt, at wiretræk benyttes i videst mulig udstrækning.

2.3.1 Trækwire

En ADCP vandføringsmåling kan udføres med wiretræk. En måling foretages ved, at der opstilles et wiretræk på tværs af vandløbet, f.eks. som det afbildet i figur 1. Trækket kan også laves ved, at to spyd hver monteres med en blok. En wire føres igennem blokken, så en lukket løkke kan etableres på tværs af vandløbet ved at stikke et spyd i brinken på hver side af vandløbet. Derefter kan instrumentet fastgøres til wiren og trækkes på tværs af vandløbet. Instrumentet kan også føres på tværs ved hjælp af et fjernstyret motortræk på en enkelt wire.



Figur 1. Billedet til venstre viser et eksempel på et ADCP instrument, der er monteret på et wiretræk, opstillet under en bro. Billedet til højre viser blokken der benyttes til wiretrækket.

Ved permanente stationer kan der opstilles et kraftigere wiretræk, som det der er illustreret i figur 2. På hver side af vandløbet spules et metalrør ned i brinken, og på den ene side af vandløbet monteres et håndsving og en wire føres på tværs af vandløbet.

Ved permanente opstillinger skal man være opmærksom på, at opstillingen skal designes, så den ikke er til fare for kanoejlere. Opstillingen i figur 2 er konstrueret sådan, at wiren efter endt måling kan hæves højt over vandoverfladen, ved at opsætningen på stålåret kan løsnes. På den måde kan eventuelle kanoer komme under uden problemer ved alle vandstande. Tildelse til etablering af wiretræk indhentes fra lodsejer og om fornødent fra vandløbsmyndigheden.



Figur 2. Billedet til venstre viser en permanent opsætning af et wiretræk. Øverste billede til højre viser håndsvinget og nederste billede til højre viser stabiliseringskonstruktionen på bredden.

2.3.2 Bromåling

En ADCP måling fra bro kan enten foretages ved hjælp af en stang eller et tov. Hvis et tov benyttes, monteres det på instrumentet, så instrumentet ligger med sensoren placeret efter producentanbefalingerne i forhold til hovedstrømningsretningen, se. figur 3. Ved anvendelse af tov udføres målingen nedstrøms broen, hvilket betyder, at tovet skal være så langt, at instrumentets placering er fri af turbulens fra bropiller eller brosider.

Foretages målingen med en stang, fastgøres stangen til instrumentet, og målingen foretages fra den side af broen, hvor der er mindst turbulens profilet er mest regulært.



Figur 3. Figuren til venstre viser et eksempel på en bromåling udført med tov. Billedet til højre viser et eksempel på en bromåling udført med stang.

2.3.3 Vademåling

I lavvandede vandløb under ca. 1 m er det muligt at vade med ADCP instrumentet på tværs af vandløbet. Instrumentet placeres opstrøms personen, der foretager målingen, og instrumentet føres roligt på tværs af vandløbet så unødvendig forstyrrelse af vandstrømmen undgås, se figur 4.

Da de instrumenter der på nuværende tidspunkt bliver produceret, udsender lydbølger med en vinkel på 20 – 30 grader til vertikal, vil lydbølgernes indbyrdes afstand stige med dybden. Derfor er det vigtigt, at der holdes en tilstrækkelig afstand imellem person og instrument, for at undgå, at lydbølgerne rammer personen. Som minimum skal der være en afstand imellem person og instrumentsensor, der svarer til den vanddybde der måles på.

Det er ved en vademåling afgørende, at personen står lige bag instrumentet under hele målingen, for at minimere chancen for at lydbølgerne rammer personen. Hvis muligt placeres instrumentsensoren i den yderste position, for at få sensoren så langt væk fra personen som muligt. Der kan evt. benyttes en kort stang ved vademåling for at få instrumentet væk fra sig.

En vademåling kræver stor påpasselighed angående afstand til ADCP instrumentet og rolig bevægelse lige bag instrumentet for ikke at fejlbehæfte ADCP målingen. Derfor er det afgørende, at en vademåling kun benyttes, hvis de nævnte forholdsregler kan overholdes.



Figur 4. Vademåling.

2.3.4 Bådmåling

I store vandløb, hvor der hverken er mulighed for at vade på tværs i vandløbet, opstille et wiretræk, eller hvor en bro ikke er tilgængelig, kan ADCP målingerne foretages fra en båd. Det vil være afhængigt af det benyttede instrument og den benyttede båd, hvordan instrumentet kan arrangeres, så det har den rette placering, som beskrevet i instrumentspecifikationen. Båden sejles på tværs af vandløbet med ADCP instrumentet.

2.4 Vedligehold af instrumenter

De specifikke anvisninger omkring instrumentvedligehold skal findes i de enkelte instrumenters brugsanvisninger. Generelt, når der er tale om ADCP-instrumenter, skal instrumenterne håndteres med forsigtighed; stød, tab og slag skal undgås.

Det er vigtigt jævnligt at tjekke gummiringe og påsmurte silikonebelægninger i instrumentets samlinger, for at sikre, at vand ikke kan trænge ind i instrumentet. Hvis nødvendigt skiftes gummiringe og nye silikonebelægninger påsmøres. Specifikke anvisninger skal findes i instrumentvejledningerne.

Det skal løbene tjekkes hos instrumentproducenten, om der er kommet softwareopdateringer. Det er afgørende at softwaren holdes opdateret for at sikre en optimal funktion af instrumentet.

2.5 Særlige forholdsregler

Når der udføres ADCP vandføringsmålinger i store vandløb, er det vigtigt at sikre, at ADCP instrumentet er grundigt fastmonteret på måleopstillingen, så instrumentet ikke kan blive revet væk af strømmen.

Hvis der benyttes et wiretræk i blæst eller stærk strøm, kan det være en fordel at have en spids vinkel imellem instrumentet og måleopstillingen, se figur 5, for at øge instrumentets stabilitet, og undgå at instrumentet tipper.

Ved bølger og stærk strøm skal sensoren placeres centralt (in-hole) på måleflåden, idet bevægelserne her er mindre.

Det kan være en fordel at benytte en speciel type instrumentbåd, hvis ADCP instrumentet skal anvendes i større vandløb. F.eks. er der flere producenter, der producerer både, der er konstrueret til at kunne klare bølger og høje vandhastigheder. Typisk er disse både bredere og fladere end f.eks. den, der er afbildet i figur 5.



Figur 5. Figuren viser et ADCP instrument monteret på en wire, og med en spids vinkel imellem instrumentet og stangen der forbinder instrument og wire.

Ved måling med stang fra bro skal det sikres, at måleflåden ikke presses skævt, da sensoren skal holdes vinkelret på vandspejlet.

Ved wiremåling skal det sikres, at der ikke fare for kanofarere og andre der færdes på vandløbet. Advarselsskilt opsættes evt. på nærmeste opstrøms bro, og i kanosæsonen kan det være en fordel at udføre målingerne tidligt på dagen.

For at undgå spredning af evt. smitsomme sygdomme skal måleudstyret desinficeres, hvis det anvendes i flere vandløbssystemer efter hinanden. Måling af flere lokaliteter i samme system skal ske ovenfra og nedstrøms. Desinfektion skal ske efter retningslinjerne i Sikkerhedshåndbog for Naturstyrelsens udegående funktioner eller anden godkendt kommunal anvisning for desinfektion ved vandløbstilsyn.

3 Databehandling

På nuværende tidspunkt findes der ikke et fælles program til behandling af ADCP data, og databehandlingen foregår derfor i de instrumentspecifikke programmer.

3.1 Beregninger

Fælles for de ADCP instrumenter der findes på markedet på nuværende tidspunkt er, at de alle er i stand til at beregne en vandføring automatisk ved dataindsamlingen. Yderligere databearbejdning/kvalitetstjek kan, ved anvendelse af nogle instrumenter, foretages direkte i det program, der benyttes til dataindsamlingen. I andre tilfælde er det nødvendigt at efterbehandle data i databehandlingsprogrammet tilhørende instrumentet.

Værdier som maksimal- og middelhastighed, maksimal- og middeldybde, vandløbsbredde osv. beregnes enten automatisk ved dataindsamlingen eller beregnes i det medfølgende databehandlingsprogram, se instrumentvejledningen.

3.2 Data og koder

Følgende data indlæses i databasen (HYMER):

- Dato og klokkeslæt
- Vandføring (gennemsnittet af de udførte målinger)
- Vandstand
- Tværsnittets maksimale vanddybde.
- Tværsnittets middelhastighed.
- Tværsnittets bredde.
- Grødetal (se TA B03)
- Instrumenttype (ADCP).

Yderligere bemærkninger:

Angivelse af den gennemsnitlige afvigelse for de 4 enkelte målinger i %. Hvis f.eks. andet end fire træk ligger til grund for den indlæste vandføring, noteres antallet af træk.

Dette har ikke pt. separate felter i Hymer, men skrives under "bemærkninger".

4 Kvalitetssikring

4.1 Kvalitetssikring af metode

Det er vigtigt at være grundig med fjernelse af grøde, så der ikke er noget tilbage, der kan forstyrre målingen.

Det er vigtigt at udføre målingen med et roligt jævnt træk, så instrumentets sensor har ca. den samme dybde i vandet under hele målingen.

Kantopmålinger skal være præcise, og de skal korrekt indlæses i beregningsprogrammet for at sikre, at estimering af kantvandføringerne bliver så nøjagtige som muligt.

Benyt wiretræk i videst muligt omfang.

4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering

Når fire ADCP målinger tilsammen har givet vandføringer, der ligger indenfor 5 %, er det som hovedregel en kvalitetssikring af data. Der er dog specielle situationer, der kræver, at man ydermere tjekker de rå data, dvs. et plot af tværprofillets hastighedsfordeling jf. fig.7.

Hvis flere af de enkelte målinger ligger mere end 5 % fra middel, skal hastighedsprofilerne kontrolleres. Der må ikke være betydeligt tab (<10 %) af vertikaler (ensembles), og der må ikke være betydelige afvigelser (<10 %) i den beregnede vandløbsbredde. Hvis tab og afvigelser er større, skal hele målingen forkastes.

Der er zoner langs bredderne, under vandoverfladen og langs bunden, hvor ADCP-instrumentet ikke kan registrere hastigheden. Det er derfor nødvendigt, at der laves en individuel vurdering af, om datadækningen er tilstrækkelig. F.eks. kan vertikale datahuller fordelt over hele profilet bedre accepteres, end hvis der ingen data er målt i hele den ene side af tværprofilet. Som minimum skal 40 % af tværprofilet være dækket af hastighedsregistrering. Kan dette ikke opnås, er datadækningen utilstrækkelig, og vandføringen skal måles ved hjælp af en anden metode.

Hastighedsfordelingen af de målte ADCP data skal tjekkes på et plot af tværprofilet når:

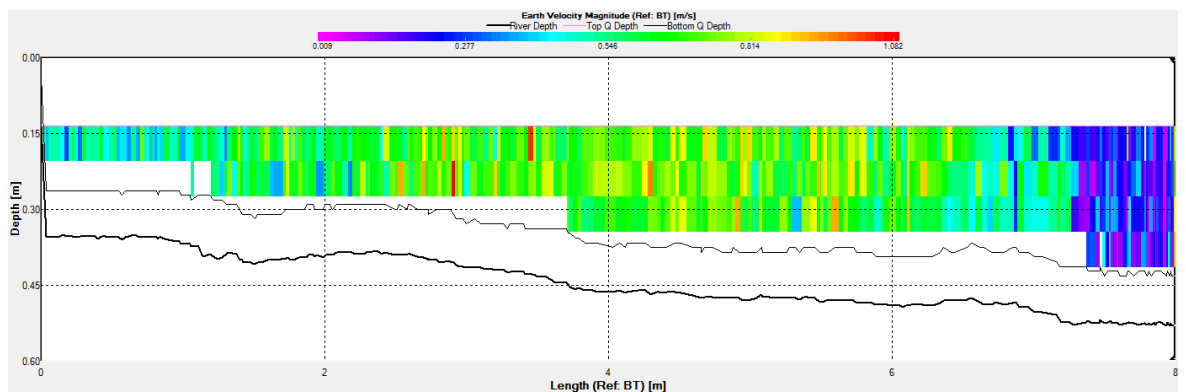
- Et nyt profil benyttes første gang.
- Hvis flere af de enkelte målinger afviger mere end 5 % fra middel.
- Igenem grødesæsonen.
Igenem grødesæsonen skal det tjekkes, at grøde er tilstrækkeligt fjernet, så der ikke er grøde på vandløbsbunden, der giver dårlig da-

tadækning. Det optimale er at hastighedsfordelingen bliver tjekket i felten, f.eks. efter første måling.

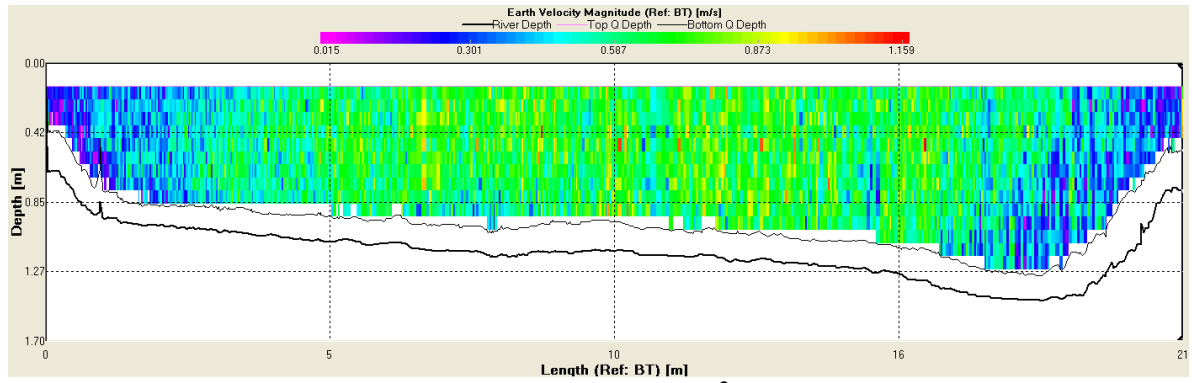
- Ved ekstreme vandføringer.
Ved ekstreme vandføringer skal det tjekkes, om der er opstået zoner med dårlig datadækning, f.eks. pga. turbulensstrukturer, eller lavhastighedszoner.
- Vandføringsværdien giver en uventet høj eller lav værdi.

Lavvandede vandløb skal man være særligt opmærksom på, da der pga. ADCP målemetoden her er en forholdsvis stor zone over bunden og under vandoverfladen, der ikke måles. Et eksempel på det er vist i figur 6, hvor den pågældende måling kun giver en datadækning på 40 %. Det betyder, at kun 40 % af den estimerede vandføring er direkte målt, de resterende 60 % er estimeret ved ekstrapolation af de målte data. I et sådant vandløb er det vigtigt at sikre, at der ikke tilmed er områder, hvor datadækningen forringes yderligere pga. af grøde, turbulens eller andet.

Til sammenligning ses figur 7, der viser en måling, hvor 70 % af vandføringen er målt direkte. En sådan måling er ikke sårbar overfor enkelte områder med dårlig datadækning.



Figur 6. Figuren viser data fra en ADCP måling i et lille vandløb, hvor den målte vandføring kun udgør 40 % af den samlede estimerede vandføring. Det ses at zonen over bunden og under vandoverfladen udgør en relativ stor del af vandvolumenet.



Figur 7. Figuren viser hastighedsdata fra en ADCP måling i et tværprofil i et relativt stort vandløb. Det ses at zonen over bunden og under vandoverfladen er lille sammenlignet med den zone hvor der er målt hastigheder.

5 Referencer

Gordon, R. L. 1996. Acoustic Doppler current profiler—Principles of operation: A practical primer. RD Instruments, San Diego, CA, 41 pp.

Herschy, R. W. 2009. Streamflow Measurement, Third edition, Routledge Taylor & Francis, 507 pp.

ISO/TS 24154 2005. Hydrometry – Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers.

Simpson, M. R. 2001. Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler. United States Geological Survey, Open-File Report 01-1, 122 pp.

6 Bilag

6.1 Relaterede TA'er

B02: Hydrometriske stationer, drift og vedligeholdelse

B03: Vandføringsmåling med vingeinstrument

B05: Hydrometriske stationer, databehandling og beregninger

7 Oversigt over versionsændringer

Version	Dato	Emne:	Ændring: