



Titel: Vandføringsmåling med vingeinstrument			
Dokumenttype: Teknisk anvisning	TA. nr.: B03	Version: 1.0	Oprettet:
Forfatter: Niels Bering Ovesen	Gyldig fra: 01.01.2011		
	Sider: 16		
	Sidst ændret:		
TA henvisninger	B02 – B04 – 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 Valg af instrument	3
2.3.2 Måleopstilling	4
2.3.3 Vertikaler og målepunkter	5
2.3.4 Måletid	5
2.3.5 Vandstand	6
2.3.6 Grøde/plantevækst	6
2.3.7 Isdække	6
2.4 Vedligehold af instrumenter	6
2.4.1 Kalibrering	7
2.5 Særlige forholdsregler	8
3 Databehandling	9
3.1 Beregninger	9
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	12
6 Bilag	13
6.1 Dataformat	13
6.1 Relaterede TA'er	14
7 Oversigt over versionsændringer	15

1 Indledning

Denne tekniske anvisning beskriver fastsættelse af vandføring i vandløb og åbne kanaler ved brug af vingeinstrumenter. Anvisningen dækker udstyr, måleprocedure, databehandling og kvalitetssikring af vingemålinger.

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. Danske vandløb er generelt små, har ringe fald og har meget grødevækst, hvilket stiller særlige krav, for at opnå en tilfredsstillende sikkerhed på måleresultaterne. Ved feltmålingerne vil der altid være en vis grad af individuelt skøn, f.eks. i forbindelse med placering af måleprofil og placeringen af målevertikaler.

2 Metode

En vandføringsmåling med vingeinstrument består af samtidig opmåling af tværprofilets areal (A) og måling af vandets middelhastighed (V). Middelhastigheden fastsættes ved måling af hastighed i et antal punkter i profilet. Vandføringen (Q) kan herefter fastlægges ved beregning eller grafisk ved summering af produkterne af hastighed og tilsvarende areal for en serie af observationer i tværprofilet, svarende til $Q = V * A$.

Vandets hastighed i de enkelte punkter i vandløbstværsnittet bestemmes med vingeinstrumentet, der har en specifik sammenhæng mellem omdrejningshastighed og strømhastigheden. Hvert enkelt sæt vinge og instrument med tilhørende montering (opspænding) har således en specifik kalibreringsformel, der jævnligt skal kontrolleres jf. afsnit 2.3.1.

Opmåling af tværprofilets areal fastlægges ud fra dybdemålinger, der foretages samtidig med hastighedsmålingerne.

I et regulært profil er strømningshastigheden mindst ved bunden og langs bredderne. For at opnå den mest nøjagtige måling af vandføringen, er det vigtigt at måle hastigheden i flere punkter i tværprofilet, der hvor der er store gradienter i hastigheden, - f.eks. ved bunden og ved spring i dybden. Kraftig vind kan påvirke hastigheden nær overfladen.

2.1 Tid, sted og periode

Vandføringsmålinger foretages hele året.

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 nødvendig 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 vinge måling (afhængig af måleopstilling):

- Målebånd/tommestok/stadie
- Pløkke til fastgørelse af målebånd
- Vingeinstrument med tilhørende stang eller anden opspænding
- Tællekasse og målebog eller håndholdt computer/PDA eller anden enhed til dataopsamling
- Skovl/le til fjernelse af grøde
- Redningsvest
- Evt. båd
- Evt. isbor og sikkerhedsline

2.3 Måleprocedure

2.3.1 Valg af instrument

Vingeinstrumentet skal være fremstillet i henhold til specifikationerne i ISO 2537. De målte hastigheder skal ligge inden for instrumentets kalibreringsinterval (jf. 2.4.1).

Vanddybden skal være mindst 4 gange diameteren på den anvendte vinge. Kravet kan fraviges i små vandløb, hvor det ikke kan opfyldes med mindste vinge (diameter=30 mm). Vingen må ikke bryde vandoverfladen under målingen.

Ved en gennemsnitlig vanddybde i profilet på mere end ca. 50 cm bør anvendes vinge med diameter på mellem 80 og 120 mm.

2.3.2 Måleopstilling

Vingemåling foretages på en af følgende måder:

- Vademåling, - stående i vandløbet med instrumentet monteret på en stang
- Bromåling, - fra bro med instrumentet opspændt på en forlænget stang eller ophængt i en wire med tyngdevægt på eller under instrumentet
- Bådmåling, - stang eller wire

Vademåling med stang skal anvendes i lave vandløb, normalt ved dybeste vandstand mindre end ca. 1 meter.

Ved vademåling skal personen stå nedstrøms for og så langt væk fra instrumentet som muligt, så vandet frit kan passere og hastigheden ved instrumentet er upåvirket.

Bromåling anvendes i større vandløb. I store vandløb, hvor der ikke findes en bro eller den ikke kan anvendes, er det nødvendigt at lave målingen fra en båd. Båden fastholdes i måleprofilen ved hjælp af et tov eller en wire spændt på tværs af vandløbet.

Til opmåling af profilet samtidig med målingens gennemførelse, opspændes et målebånd på tværs af profilet. Dybden måles med stangen eller wiren. Målepunkternes og breddernes position noteres/indtastes. Målepunkternes dybdeposition angives enten i forhold til vandoverfladen eller bunden, afhængig af softwarens procedure og indstilling.

Målingen skal altid foretages i et profil vinkelret på strømningsretningen.

I særlige tilfælde kan det være nødvendigt at måle fra en bro, der ikke er vinkelret på strømningsretningen, og her udføres en skråmåling. I dette tilfælde er det en fordel at anvende en såkaldt komponentpropel (F.eks. vinge A, Univesalflügel), der automatisk korrigerer for det "skæve" profil. Med komponentpropel skal instrumentet holdes vinkelret på målebånd og bro, og således *ikke* parallelt med strømretningen. Anvendes der ikke komponentpropel skal instrumentet holdes parallelt med strømretningen, og den beregnede vandføring skal reduceres med faktor cosinus til vinkel mellem det vinkelrette profil og aktuelt måleprofil, jvf.: DS/EN ISO 748.

2.3.3 Vertikaler og målepunkter

Punkter til måling af hastigheden placeres i et antal vertikaler i tværprofilet.

Vertikaler:

Antal vertikaler jf. DS/EN ISO 748:

Vandløbsbredde	Antal vertikaler
0 - 0,5 meter	5 - 6
0,5 - 1,0 meter	6 - 7
1,0 - 3,0 meter	7 - 8
3,0 - 5,0 meter	8 - 10
5,0 - 10,0 meter	10 - 12
(>10,0 meter	>12)

(angivelserne er ekskl. vertikaler, der angiver breddernes placering)

Vertikaler placeres over evt. knækpunkter i bundprofilet og hvor strømmen er stærkest. Flere vertikaler indsættes hvor hastighed eller dybde varierer meget.

I store vandløb (> 10 meter brede) sættes afstanden mellem vertikaler til 1-2 gange vertikaldybden. Vandføringen i hvert vertikalsegment må ikke overstige 10 % af den totale vandføring.

Punkter:

Der skal så vidt muligt måles i mindst 3 punkter i hver vertikal. (lige under overfladen, ca. 0,4 gange vertikaldybden over bunden og lige over bunden).

Hvis vanddybden i vertikalen er mindre end 3 gange vingediameteren måles i 2 punkter (lige under overfladen og lige over bunden).

Hvis vanddybden i vertikalen er mindre end 2 gange vingediameteren måles i 1 punkt (ca. 0,4 gange vertikaldybden over bunden).

Antallet af målepunkter og deres placering skal så vidt muligt fastsættes, så der maksimalt er en forskel i hastigheden på ca. 20 % mellem 2 punkter. (Jvf. DS/EN ISO 748 – Hastighedsfordelingsmetoden).

2.3.4 Måletid

Der måles i 30 sekunder i hvert målepunkt. (Jvf.: DS/EN ISO 748).

Ved periodisk pulsering i strømmen, eller meget lav strømhastighed (< ca. 5 cm/sek.) kan det være nødvendigt med måling i 60 sekunder. Det kan f.eks. være aktuelt, hvor der er store grøedejer længere opstrøms, der sva-
jer i strømmen, men hvor det ikke er muligt at skære det, inden målingen påbegyndes.

2.3.5 Vandstand

Vandstanden registreres før og efter vandføringsmålingen, med en præcision på 0,5 cm, og gennemsnittet anvendes som "plottevandstand". Hvis en evt. vandstandsvariation under målingen er større end 5 cm eller 5 % af gennemsnitsdybden i måleprofilet, er målingen for usikker og kasseres. Måling må udføres på et senere tidspunkt ved mere stabil vandstand.

2.3.6 Grøde/plantevækst

Evt. grødevækst omkring måleprofilet skal fjernes, således hastighedsfordelingen i vertikalerne bliver regulær.

Vandstanden aflæses inden evt. grødeskæring eller fjernelse af materiale, der kan opstuve. Hvis denne oprensning medfører fald i vandstanden, kan vandføringsmålingen først påbegyndes, når vandstanden er stabiliseret. Dette kontrolleres ved efterfølgende aflæsninger af vandstanden.

Grødemængden i vandløbet vurderes og der angives et grødetal på mellem 0 og 10, hvor 0 svarer til et grødefrit vandløb og 10 svarer til at hele vandløbsprofilet er grødefyldt. Vurderingen skal foretages på strækningen nedstrøms for målestedet.

2.3.7 Isdække

Ved delvis isdække fjernes isen omkring måleprofilet således hastighedsfordelingen i vertikalerne bliver regulær.

I sjældne tilfælde kan der i visse vandløb, i perioder med hård frost, være behov for at udføre målinger under helt isdækkede forhold. Måleproceduren er den samme som ved almindelige målinger, og til placering af instrumentet i hver vertikal bores huller ved hjælp af et isbor. Til brug for den efterfølgende beregning registreres niveauet for underkanten af isen i hver vertikal. Ved målinger på is skal anvendes sikkerhedslinje.

2.4 Vedligehold af instrumenter

Alm. vedligeholdelse:

Udskiftning af olie foretages dagligt. Ved olieskift er det vigtigt, at snavs og sand ikke kommer i kontakt med aksel og lejer. Ny kalibrering skal foretages ved funktionsfejl.

Spintest:

På et lille vingearm (vinge $\varnothing < 70$ mm) udføres spintest ved at puste kraftigt eller give et hurtigt slag på vingen. Testen er i orden, hvis tiden inden vingen står stille er mindst 15 sekunder, eller anden specifikation angivet af producenten. På et stort vingearm (vinge $\varnothing \geq 70$ mm) foretages spintesten ved et hurtigt slag på vingen, og tiden inden vingen står

stille skal være mindst 2 minutter eller anden specifikation angivet af producenten. Spintest foretages for hver 5 - 10 målinger.

Inden hver måling kontrolleres om vingen kører let uden friktion. Dette gøres ved at igangsætte vingen, og den skal herefter stoppe gradvist. Hvis den stopper pludseligt, skal den renses og olien skiftes. Hvis ikke det hjælper, skal den sendes til reparation.

For hvert instrument føres en logbog hvori olieskift, spintest og kalibreringsoversigt fremgår.

2.4.1 Kalibrering

Kalibreringsintervaller: C2, Kleinflügel: ca. 3 år
C31, Universalflügel: ca. 5 år
eller efter ca. 300 timers drift.

Kalibrering skal foretages af en certificeret institution.

Kalibreringsstandard:

Kalibrering skal foretages med 0,1 m/s-intervaller i lavt hastighedsområde, 0,25 m/s-intervaller i mellem hastighedsområde og 0,5 m/s-intervaller i højt hastighedsområde. jf. ISO 3455 og ISO 2537.

Kalibreringsområde: Hastighedsinterval 0 - 1,5 m/s for Kleinflügler.
Hastighedsinterval 0 - 2,0 m/s for Universalflügler.

Hastighedsintervallet for kalibreringen skal dække hele måleområdet. I større danske vandløb kan hastigheden i særlige tilfælde være næsten 2 m/s, men i mindre vandløb kommer den ikke over 1,5 m/s.

Resultatet af kalibreringen er en kalibreringsformel: $V = a \cdot n + b$, hvor V = hastighed, a = konstant bestemt af vingens hydrauliske stigning, b = konstant bestemt af friktion i instrumentet og n = vingens rotationshastighed (omdr./sek.). Kalibreringsformlen kan være opdelt i 2 - 3 intervaller med forskellige konstanter, idet det ikke i alle tilfælde er tilstrækkeligt med én retlinet sammenhæng. Kalibreringsformlen kan alternativt angives på formen: $V = a \cdot n^2 + b \cdot n + c$. Intervaller, konstanter og formel fastlægges af kalibreringsinstitutionen.

2.5 Særlige forholdsregler

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.

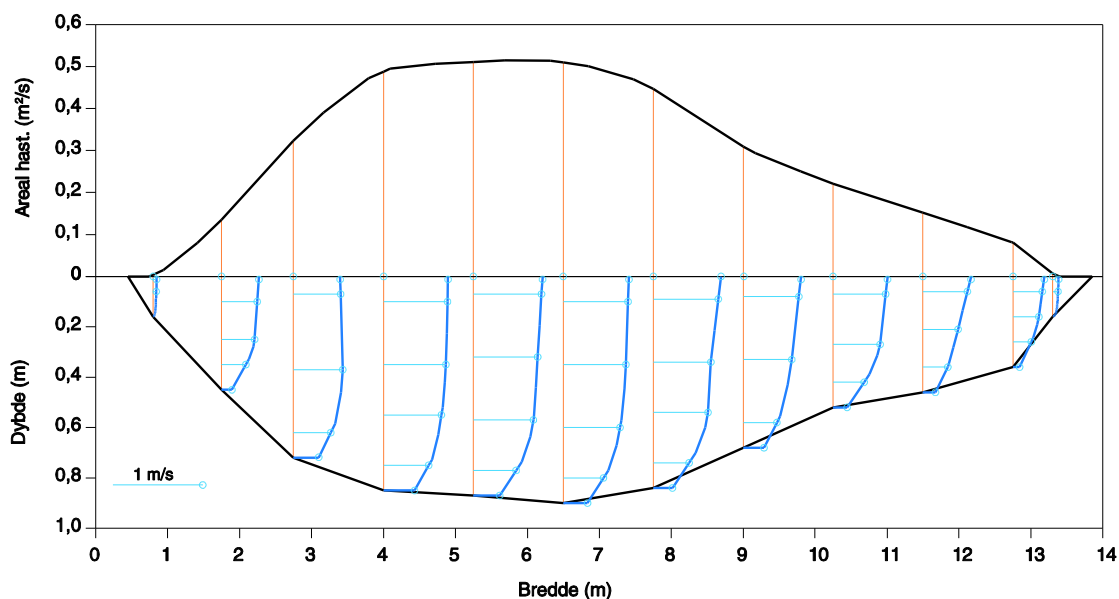
3 Databehandling

3.1 Beregninger

Beregning af vandføringen foretages efter en af følgende metoder, jvf. DS/EN ISO 748:

- Dybde-hastighed integrationsmetoden, der består af en grafisk integration af arealhastigheden over tværsnittet, baseret på hastighedskurven for hver vertikal med tilnærmet logaritmisk hastighedsfordeling mod bunden. (figur 1).
- Hastighed-areal integrationsmetoden (hastighed-kontureringsmetoden),- 3D integration over hastighedspunkterne for hele tværprofilet. Ved denne metode, er der ikke krav til, at målepunkterne er tilknyttet en bestemt vertikal.
- Middel-sektion metoden (Gennemsnit af segmenter fra en vertikal til de to nærmeste med efterfølgende summation)
- Midt-sektion metoden (Hver vertikal repræsenterer et segment halvsjvs til nabovertikalerne og segmenterne summeres)

Beregningerne foretages i fagsystemet (Hymer), der anvender Dybde-hastighed integrationsmetoden. Alternativt kan beregningerne foretages med anden software eller manuelt. Det skal her sikres, at en af ovenstående metoder benyttes, og der skal anvendes tilnærmet logaritmisk hastighedsfordeling mod bunden.



Figur 1. Beregning af vandføring fra vingemåling – dybde-hastighed integrationsmetoden.

3.2 Data og koder

Datafil med alle rå-data indlæses i databasen (HYMER). Eksempel på standardformat fremgår af bilag 6.1

Hvis vandføringsmålingen er beregnet inden indlæsning i databasen, skal resultater med følgende data som minimum indlæses:

- Dato og klokkeslæt
- Vandføring
- Vandstand
- Tværsnittets maksimale vanddybde
- Tværsnittets middelhastighed
- Tværsnittets bredde
- Grødetal
- Instrumenttype (Vingeinstrument)

4 Kvalitetssikring

4.1 Kvalitetssikring af metode

Ud over at følge de konkrete anvisninger er det vigtigt at feltpersonalet udviser stor omhyggelighed under målingen og kan vurdere vandløbet og om nødvendigt løbende optimere antallet af vertikaler og målepunkter. Man skal vide hvad data skal bruges til, og at et dårligt resultat kan betyde ekstra arbejde ved den videre databehandling.

Det er vigtigt at være grundig med fjernelse af evt. grøde, så hastighedsprofilen bliver så regulært som muligt, og så der er mindst muligt tilbage der kan bremse vingen eller forstyrre målingen.

4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering

Det er vigtigt at foretage kontrol af vandføringsmålinger inden lagring i database. Kontrollen foretages ved visuel kontrol af plot af hastighedsfordelingerne i vertikaler og tværsnit. Herved opdages, hvis der er sket fejl i indtastninger eller registrering. Hvis der er etableret en QH-kurve for den pågældende station, kontrolleres målingen yderligere ved et plot på den.

Generelt kan det antages, at usikkerheden på en vingemåling der er foretaget i henhold til anvisningerne er omkring 5 %. Usikkerheden på vingemålinger er generelt større i helt små vandløb, hvor betydningen af gradienten ved bredderne og bunden er relativt stor. Målinger ved meget lave hastigheder medfører ligeledes forøget usikkerhed, og især omkring minimumhastigheden for instrumentets respons (starthastigheden), skal man være særlig påpasselig. For yderligere beskrivelse af usikkerhed på vingemålinger se f.eks. Herschy 2009.

5 Referencer

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

ISO 748: 2007. Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats.

ISO 2537: 2007. Hydrometry – Rotating-element current-meters

ISO 3455: 2007. Hydrometry - Calibration of current-meters in straight open tanks.

6 Bilag

6.1 Dataformat

Eksempel på standard tekst-format til udveksling af vingemålingsdata.

```
[DATA]
Stednummer system :DDHMSTNR
Stednummer        :52.07
Maaling beg       :0203121245
Maaling slut      :0203121308
Markmand          :HST
Institution        :DMU
Grodetal          :0
Maalebog/TerminalID :NULL
Vandtemp          :NULL
Vst variation     :0
Vandprove udtaget :0
Maale sammenheng :00
Maale metode      :01
Maale profil      :6
Start vandstand   :72.00
Skala nummer      :1
Slut vandstand    :72.00
Skala nummer      :1
Plotte vandstand  :72.00
Skala nummer      :1
Ekstra vandstand1 :NULL
Skala nummer      :NULL
Ekstra vandstand2 :NULL
Skala nummer      :NULL
Ekstra vandstand3 :NULL
Skala nummer      :NULL
Instrument         :121396
Vinge              :A-121564
Opspending         :20
Bemærkning        :NULL
Data type          :1
```

*

```
V 1  0.50  0.00  3
V 2  0.70  16.00  1
      6.00  26.000  30.00  1
V 3  0.95  30.00  1
      10.00  45.000  30.00  1
      20.00  39.500  30.00  1
V 4  1.20  36.00  1
      6.00  67.000  30.00  1
      16.00  56.000  30.00  1
```

	26.00	47.500	30.00	1
V 5	1.50	40.00	1	
	10.00	75.000	30.00	1
	20.00	58.000	30.00	1
	30.00	41.000	30.00	1
V 6	1.80	46.00	1	
	6.00	87.500	30.00	1
	21.00	76.500	30.00	1
	36.00	42.000	30.00	1
V 7	2.10	49.00	1	
	9.00	85.000	30.00	1
	24.00	68.500	30.00	1
	39.00	44.000	30.00	1
V 8	2.40	54.00	1	
	9.00	93.500	30.00	1
	29.00	74.500	30.00	1
	44.00	69.000	30.00	1
V 9	2.70	58.00	1	
	8.00	95.000	30.00	1
	28.00	91.000	30.00	1
	48.00	73.000	30.00	1
V 10	3.00	54.00	1	
	9.00	93.000	30.00	1
	29.00	77.500	30.00	1
	44.00	52.500	30.00	1
V 11	3.30	38.00	1	
	8.00	33.500	30.00	1
	18.00	16.500	30.00	1
	28.00	17.500	30.00	1
V 12	3.60	23.00	1	
	8.00	0.000	30.00	3
	13.00	0.000	30.00	3
V 13	3.90	0.00	2	

6.1 Relaterede TA'er

B02: Hydrometriske stationer, etablering, drift og vedligeholdelse

B04: Vandføringsmåling med akustisk Dopplerinstrument (ADCP)

B05: Hydrometriske stationer, databehandling og beregninger

7 Oversigt over versionsændringer

Version	Dato	Emne:	Ændring: