



Titel: Vandføringsmåling med elektromagnetisk strømmåler			
Dokumenttype: Teknisk anvisning	TA. nr.: B09	Version: 1.0	Oprettet: 01.01.2018
Forfatter: Niels Bering Ovesen	Gyldig fra: 01.01.2018		
	Sider: 15		
	Sidst ændret:		
TA henvisninger	B02, B03, B04, DB02		

Indhold

1 Indledning.....	2
2 Metode.....	3
2.1 Tid, sted og periode.....	3
2.1.1 Valg af måleprofil	3
2.2 Udstyr	4
2.3 Måleprocedure.....	4
2.3.1 Valg af instrument.....	4
2.3.2 Måleopstilling.....	4
2.3.3 Vertikaler.....	6
2.3.4 Målepunkter.....	6
2.3.5 Måletid	7
2.3.6 Vandstand	7
2.3.7 Grøde/plantevækst	7
2.3.8 Isdække	8
2.4 Vedligehold af instrumenter	8
2.4.1 Kalibrering	8
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 Standardopsætning af OTT MF pro.....	13
6.2 Dataformat	13
6.3 Relaterede TA'er	15
7 Oversigt over versionsændringer	15

1 Indledning

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

Anvisningerne vedr. måleprocedure, databehandling og kvalitetssikring svarer til dem, der gælder for vandføringsmåling med vingeinstrument jf. teknisk anvisning B03.

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 feltmålinger 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 elektromagnetisk strømmåler 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 $Q = V \cdot A$.

Vandets hastighed i de enkelte punkter i vandløbstværsnittet bestemmes med strømmåleren, der registrerer ved at måle på de elektrisk ladede ioner, der altid findes opløst i vandløbsvandet. En nærmere beskrivelse af måleprincipperne kan f.eks. findes i Herschy, 2009 og Turnipseed, 2010.

Opmåling af tværprofilets areal fastlægges ud fra bredde- og 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, især hvor der er store gradienter i hastigheden, - f.eks. nær 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 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 vandføringsmåling (afhængig af måleopstilling):

- Målebånd/tommestok/stadie
- Pløkke til fastgørelse af målebånd
- Måleinstrument med tilhørende stang eller anden opspænding
- Håndholdt computer eller anden enhed til dataopsamling
- Skovl/le til fjernelse af grøde
- Redningsvest
- Evt. feltskema til supplerende oplysninger vedr. målingen
- Evt. båd
- Evt. isbor og sikkerhedsline

2.3 Måleprocedure

2.3.1 Valg af instrument

Instrumentet skal være fremstillet i henhold til specifikationerne i ISO/TS 15768.

De målte hastigheder skal ligge inden for instrumentets måleinterval jf. specifikationerne fra producenten.

Især ved meget lave hastigheder er det normalt en fordel at anvende elektromagnetisk hastighedsmåling frem for vingeinstrument, idet usikkerheden på vingemåling ved hastigheder omkring eller under vingens "start-tærskel" er meget betydelig.

Normalt skal vanddybden være mindst 3 gange den vertikale dimension af sensoren jf. DS/EN ISO 748 og ISO/TS 15768. Dette kan dog fraviges ved meget lav vandstand, men under alle omstændigheder skal sensoren være helt dækket af vand for at måle tilfredsstillende. Den mindste dybde, der kan måles svarer derfor normalt til højden på sensoren, dog jf. anvisninger fra producenten. Den maksimale måledybde kan være begrænset af en øvre grænse for en evt. automatisk registrering af vandstanden i den aktuelle målevertikal, jf. specifikationer fra producenten.

2.3.2 Måleopstilling

Vandføringsmåling foretages på en af følgende måder:

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

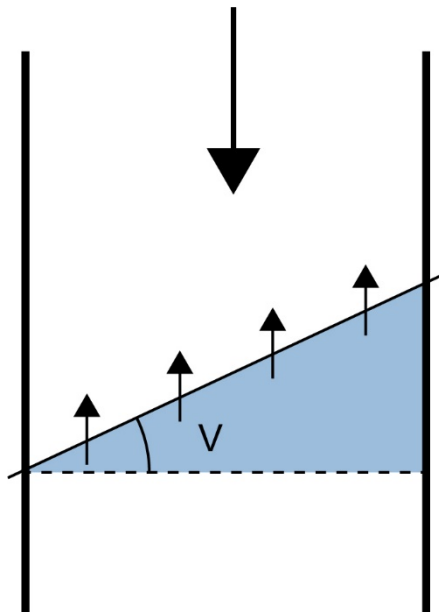
Vademåling med stang skal anvendes i lave vandløb, normalt ved dybeste vandstand mindre end ca. 1 meter.

Ved vademåling skal personen stå nedstrøms eller skråt neden for og så langt væk fra instrumentets sensor 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 automatisk via en tryksensor i instrumentet eller manuelt med tommestok eller skala på 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 så vidt muligt foretages i et profil vinkelret på strømningsretningen. I særlige tilfælde kan det dog være nødvendigt at afvige fra dette, f.eks. ved måling fra en bro, der ikke er vinkelret på strømrretningen. Her foretages en skråstrømsmåling, hvor måleinstrumentet holdes i strømrretningen, og den beregnede vandføring reduceres med faktoren: $\cos v$, hvor v er vinklen mellem profilet vinkelret på strømrretningen og det aktuelle måleprofil, jf. figur 1.



Figur 1. Måleprincip ved skråstrømsmåling.

2.3.3 Vertikaler

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

Krav til antallet af vertikaler med hastighedsmåling i tværprofilet er følgende:

Vandløbsbredde, meter	Antal vertikaler jf. DS/EN ISO 748*	Reduceret krav*
0,0 - 0,5	5 – 6	5 - 6
0,5 - 1,0	6 – 7	6 - 7
1,0 - 3,0	7 – 12	7 - 8
3,0 - 5,0	13 – 16	8 - 10
5,0 – 10,0	>22	10 – 12
> 10		>12

*Angivelserne er ekskl. vertikaler, der angiver breddernes placering (vandkanterne).

Ved vurdering af det specifikke antal vertikaler kan normalt anvendes de reducerede krav.

I vandløb bredere end 5 meter skal antallet af vertikaler fastsættes, så vandføringen i hvert segment (mellem 2 vertikaler) er mindre end 10 % af den totale vandføring.

Vertikaler placeres over evt. knækpunkter i bundprofilet og hvor strømmen er stærkest. Flere vertikaler indsættes hvor hastighed eller dybde varierer meget. Første og sidste vertikal placeres så nær vandkanten som muligt.

Ved målestationer i danske vandløb bliver det normalt prioriteret, at udføre mange årlige målinger. Det skyldes behovet for at dække variationerne i sammenhængen mellem vandstand og vandføring i løbet af året især på grund af plantevækst og ændringer i vandløbsprofil. Af hensyn til tids- og ressourcemæssige begrænsninger kan det reducerede krav til antallet af vertikaler derfor normalt anvendes jf. ovenstående. Muligheden for anvendelse af reducerede krav er i overensstemmelse med retningslinjerne i DS/EN ISO 748.

2.3.4 Målepunkter

Antallet af punkter med hastighedsmåling i hver vertikal skal som minimum være:

Vanddybde i vertikal	Antal målepunkter
< 7 cm	1
7 - <10 cm	2
10 – <60 cm	3
>60 cm	5

Ved 1 punkt skal måles i 0,6 gange vertikaldybden under overfladen. (svarer til middelhastigheden i vertikalen)

Ved 2 punkter måles i 0,2 og 0,8 gange vertikaldybden under overfladen. (middel af de 2 værdier svarer til middelhastigheden i vertikalen)

Ved 3 punkter måles i 0,2 0,6 og 0,8 gange vertikaldybden under overfladen.

Ved 5 punkter måles i 0,2 0,6 og 0,8 gange vertikaldybden under overfladen og så tæt som muligt på overflade og bund.

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).

Måleudstyr, der indbefatter software til automatisk fastlæggelse af målepunkter ud fra vanddybden, kan anvendes hvis ovenstående retningslinjer følges.

2.3.5 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 grødeøer længere opstrøms, der svajer i strømmen, men hvor det ikke er muligt at skære det, inden målingen påbegyndes.

2.3.6 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 % af gennemsnitsdybden i måleprofilen, er målingen for usikker og kasseres. I vandløb dybere end 1 meter må variationen ikke overstige 5 cm. Måling må i disse tilfælde udføres på et senere tidspunkt ved mere stabile vandstandsforhold.

2.3.7 Grøde/plantevækst

Evt. grødevækst omkring måleprofilen skal fjernes, således hastighedsfordelingen i vertikalerne bliver regulær. Især grøde lige oven for måleprofilen kan medføre forøget usikkerhed på målingen. Typisk skal grøden fjernes i en afstand op til 2 – 4 gange vandløbets middeldybde, men ved tæt grøde kan det være nødvendigt med større afstand.

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 den beskyllede del af 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 vandløbsprofilen er grødefyldt. Vurderingen skal foretages på strækningen umiddelbart nedstrøms og i synlig afstand fra målestedet.

2.3.8 Isdække

Ved delvis isdække fjernes isen omkring måleprofilen 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 der anvendes sikkerhedsline.

2.4 Vedligehold af instrumenter

Vedligeholdelse og rengøring foretages i henhold til producentens specifikationer.

Hvis instrumentet er forsynet med tryksensor til automatisk registrering af vandstanden, skal den kontrolleres før og efter hver måling ved at sammenligne med en manuel dybdemåling, f.eks. med en tommestok. Hvis instrumentet måler mere end 1,0 cm forkert, kan data herfra ikke anvendes, og i stedet indtastes manuelle aflæsninger af dybden for hver enkelt målevertikal.

2.4.1 Kalibrering

Hvis instrumentet har behov for kalibrering, skal det foretages i henhold til producentens specifikationer.

2.5 Særlige forholdsregler

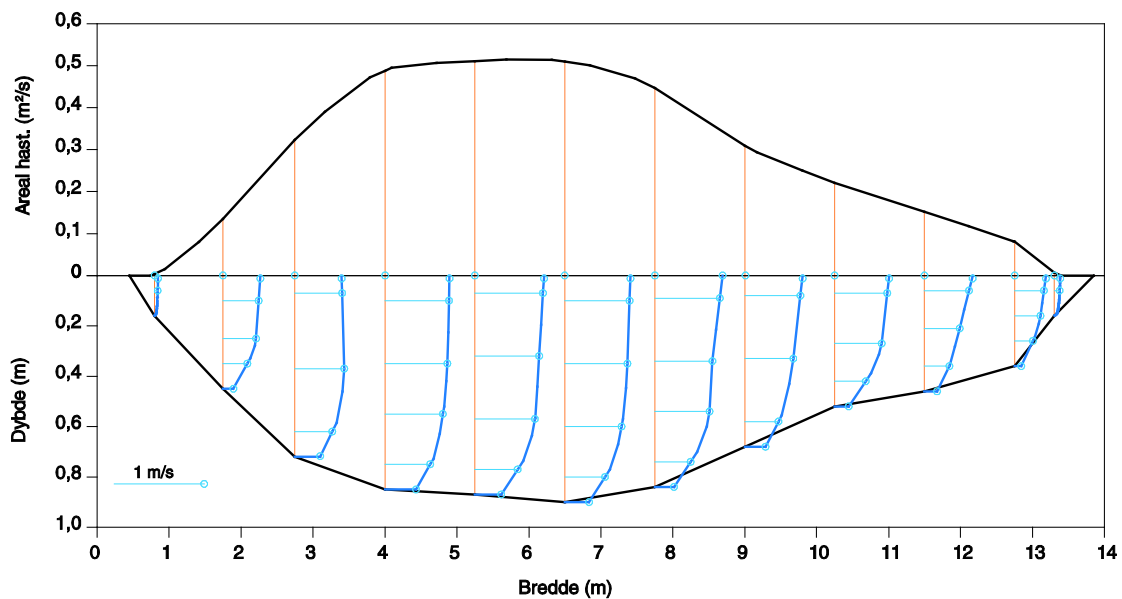
For at undgå spredning af evt. smitsomme sygdomme skal måleudstyret desinficeres, hvis det anvendes i flere vandløbssystemer efter hinanden. Måling af flere lokaliteter i samme system skal ske ovenfra og nedstrøms. Desinfektion skal ske efter retningslinjerne i Sikkerhedshåndbog for Miljøstyrelsens udegående 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 2).
- 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 summering)
- Midt-sektion metoden (Hver vertikal repræsenterer et segment halvejs til nabovertikalerne og segmenterne summeres)



Figur 2. Beregning af vandføring ud fra måling af hastighed i punkter i tværprofil. Dybde-hastighed-integrationsmetoden.

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

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
- Skala nr.
- Tværsnittets maksimale vanddybde
- Tværsnittets middelhastighed
- Tværsnittets bredde
- Måleprofil nr.
- Grødetal
- Instrument ID (f.eks.: MFPro med specifikt serienummer)

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 selv om instrumentet godt kan registrere hastigheden meget nær ved grøden, vil det medføre en væsentlig forøget usikkerhed på målingen.

4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering

Det er vigtigt at foretage kontrol af vandføringsmålinger inden lagring i database. Kontrollen foretages bedst ved en 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 vandføringsmåling, der er foretaget i henhold til anvisningerne, er omkring 5 %. Usikkerheden på vandføringsmålinger 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. For yderligere beskrivelse af usikkerhed på vandføringsmålinger 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/TS 15768: 2000. Measurement of liquid velocity in open channels -- Design, selection and use of electromagnetic current meters

Turnipseed, D.P., and Sauer, V.B., 2010, Discharge measurements at gaging stations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods book 3, chap. A8, 87 p. (Also available at [http://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a8/.](http://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a8/))

6 Bilag

6.1 Standardopsætning af OTT MF pro

Da disse instrumenter typisk anvendes af forskellige medarbejdere er det vigtigt at instrumenterne opsættes ens.

I Miljøstyrelsens konverteringsprogram tages højde for en række forskellige opsætninger, så som måleenheder, sprog samt versionsnummer, men for at benytte producentens program, Q-Review, er det vigtigt at man måler i meter. OTT MF pro bør derfor sættes op så enheden m benyttes, hvilket betyder at på instrumentets setup vælges: units: metric, Velocity sættes til m/s, flow sættes til liters/s, Depth sættes til m og Area sættes til m². Det er endvidere vigtigt i forhold til Q-Review, at instrumentet opsættes til engelsk sprog og datoformat (MDY).

Tidsangivelsen skal indstilles til koordineret universaltid (UTC), hvilket svarer til dansk normaltid (vinter) minus 1 time og dansk sommertid minus 2 timer. Det svarer til tiden på de dataloggere, der registrerer vandstanden på målestationerne. Herved sikres overensstemmelse mellem vandstandsdata fra skalaaflysningen og fra loggeren.

En del af de krævede data fra målingerne kan ikke indtastes i instrumentets håndterminal. De må i stedet registreres og inddateres separat. Det drejer sig om plottevandstand, skala-nr., måleprofil nr. og grødetal.

6.2 Dataformat

Eksempel på standard tekst-format til udveksling og import af data fra vandføringsmåling med elektromagnetisk strømmåler. Data fra de enkelte målepunkter er angivet i m/sek.

```
[DATA]
Stednummer system      :hymextdmuobsnr
Stednummer              :99999999 (standard: 8-cifret dmuobsnr)
Maaling beg            :1611211039
Maaling slut           :1611211105
Markmand               :XXXXX
Institution            :MST (+enhed)
Grodetal               :0 (registreret værdi 0 – 10)
Maalebog/TerminalID    :NULL
Vandtemp               :NULL
Vst variation          :NULL
Vandprove udtaget     :1
Maale sammenheng      :00
Maale metode           :12
Maale profil           :1 (registreret værdi)
Start vandstand        :36
Skala nummer           :1 (registreret værdi)
Slut vandstand         :36
```

Skala nummer :1 (registreret værdi)
 Plotte vandstand :36
 Skala nummer :1 (registreret værdi)
 Ekstra vandstand1 :NULL
 Skala nummer :NULL
 Ekstra vandstand2 :NULL
 Skala nummer :NULL
 Ekstra vandstand3 :NULL
 Skala nummer :NULL
 Instrument :MFPro999 (Id-nr)
 Vinge :NO
 Opspending :20
 Bemærkning :ott mf pro 1106 lps
 Data type :1

*

V 1 0.300000 0.000000 3
 V 2 1.300000 64.8000 1
 12.96000 0.150000 1 4
 38.88000 0.180000 1 4
 51.84000 0.160000 1 4
 V 3 1.900000 70.2700 1
 14.05400 0.220000 1 4
 42.16200 0.210000 1 4
 56.21600 0.200000 1 4
 V 4 2.500000 76.1100 1
 15.22200 0.240000 1 4
 45.66600 0.230000 1 4
 60.88800 0.230000 1 4
 V 5 3.100000 73.1500 1
 14.63000 0.230000 1 4
 43.89000 0.200000 1 4
 58.52000 0.170000 1 4
 V 6 3.700000 71.3800 1
 14.27600 0.230000 1 4
 42.82800 0.220000 1 4
 57.10400 0.190000 1 4
 V 7 4.300000 73.4600 1
 14.69200 0.270000 1 4
 44.07600 0.220000 1 4
 58.76800 0.220000 1 4
 V 8 4.900000 73.3200 1
 14.66400 0.260000 1 4
 43.99200 0.270000 1 4
 58.65600 0.240000 1 4
 V 9 5.500000 74.4000 1
 14.88000 0.260000 1 4

44.64000 0.280000 1 4
 59.52000 0.200000 1 4
 V 10 6.100000 71.2100 1
 14.24200 0.290000 1 4
 42.72600 0.280000 1 4
 56.96800 0.180000 1 4
 V 11 6.700000 64.4400 1
 12.88800 0.320000 1 4
 38.66400 0.270000 1 4
 51.55200 0.230000 1 4
 V 12 7.300000 55.3300 1
 11.06600 0.290000 1 4
 33.19800 0.280000 1 4
 44.26400 0.240000 1 4
 V 13 7.900000 45.8400 1
 9.168000 0.030000 1 4
 V 14 8.400000 0.000000 2

6.3 Relaterede TA'er

B02: Hydrometriske stationer, drift og vedligeholdelse

B03: Vandføringsmåling med vingeinstrument

B04: Vandføringsmåling med akustisk Dopplerinstrument (ADCP)

B05: Hydrometriske stationer, databehandling og beregninger, QH-station

7 Oversigt over versionsændringer

Version	Dato	Emne	Ændring