

# Vandindtag og kontinuert måling af vandmængder på dambrug

---

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 01. december 2013  
Rettet: 21. februar 2014 og 8. marts 2014

Lars M. Svendsen

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Rekvirent:  
Miljøstyrelsen  
Antal sider: 12

Faglig kommentering:  
Søren E. Larsen, Institut for Bioscience  
Kvalitetssikring, centret:  
Poul Nordemann Jensen



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000  
E-mail: [dce@au.dk](mailto:dce@au.dk)  
<http://dce.au.dk>

# Indhold

1	Spørgsmål fra Miljøstyrelsen	3
2	Indledning	4
3	Normal præcision på flowmålinger	5
4	Betydning af usikkerhed på flowmålinger	8
5	Sammenfatning	11
6	Referencer	12

## 1 Spørgsmål fra Miljøstyrelsen

*Målingerne af det faktiske vandflow ind og ud af dambruget har tidligere været fastsat med en maksimal usikkerhed på 5 %. Dette skulle ifølge DA være umuligt da usikkerheden vil være langt større på alle de måleinstrumenter der kan anvendes. Usikkerheden forventes at ligge på et sted mellem 10 og 15 %. Bekendtgørelsen skal ændres således at der tages højde for denne usikkerhed i relation til overholdelse af udledningen af stofbidrag. Hvor i Bekendtgørelsen skal der i givet fald justeres?*

## 2 Indledning

I det materiale som Miljøstyrelsen har fremsendt vedrørende Dansk Akvakulturs ændringsforslag fra maj 2013 til Dambrugsbekendtgørelsen fremføres at usikkerheden på måleinstrumenter, der kan anvendes til bestemmelse af vandmængder på dambrug, umuligt kan opfylde Dambrugsbekendtgørelsens (2012) krav om 5 % præcision, men at usikkerheden snarere burde ligge på 10-15 %. DCE har haft kontakt med Dansk Akvakultur for at afklare om dette skyldes at man ikke mener, der findes instrumenter på markedet som kan opfylde kravet til 5 % præcision, om det skyldes indretningsmæssige problemstillinger eller økonomiske forhold, da DCE ikke umiddelbart er enig i det er umuligt.

### 3 Normal præcision på flowmålinger

Ifølge lærebøgerne f.eks. Herschy (2009) og WMO's nyeste internationale hydrologisk standarder (WMO, 2008) så bør usikkerhed på en vandføringsmåling højst være +/- 5 % og ved måling i rør endnu lavere (under 1-2 %), såfremt man måler under, og tilrettelægger sine målinger hensigtsmæssigt efter, forholdene. DCE har i forbindelse med f.eks. modeldambrugsprojektet (Svendsen et al., 2008) og i sin egenskab af Fagdatacenter for Ferskvand (herunder for hydrometriske målinger) for Miljøministeriet arbejdet med en række måleinstrumenter til måling af vandflow/-mængder og konstateret, at den typiske usikkerhed på målinger både erfaringsmæssigt og ifølge instrumentspecifikationer ligger pænt under 5 %. Den er typisk maksimalt 1-2 % såfremt vandhastigheden er over 0,1-0,2 m/s og måleforholdene overholder nogle basale indretningsmæssige krav.

Normalt vil man på et dambrug tilstræbe at hastigheden er ca. 0,5 m/s, og den vil som hovedregel ikke afvige ret meget herfra (+/- 0,1 m/s) (personlig kommunikation Kaare Michelsen, Dansk Akvakultur). Ved gode faldforhold kan hastigheden være op til 0,8 m/s, f.eks. når der er et godt fald i udløbet fra et dambrug. På dambrug vil man søge at sikre, at rør der anvendes til at lede vand rundt på anlægget, har så tilpas store dimensioner, at der mister så lidt faldhøjde som muligt grundet energitab ved vandets transport gennem rørene. Rørdimensioneringen bliver derfor en balance mellem ikke at miste for meget faldhøjde i rørene (og dette har højest prioritet) og have en tilstrækkelig vandhastighed, der sikrer at rørene ikke slemmer til og man undgår alt for meget begroning indvendigt i røret.

For at sikre en optimal måling med et vandur (elektromagnetisk flowmåler) eller en indstiksmåler foreskrives, at vandstrømmen i røret i de fleste tilfælde skal være fuldtløbende, og der vil være et krav om at strømmingen er stabil. Det betyder ikke at strømmingen skal være laminar, den vil være turbulent i rør på dambrug, hvilket de fleste måleinstrumenter også er indrettet efter (Niemann, 2012). Kravet om stabil strømning relateres til at flowprofilet i røret skal indstille sig og ikke længere være påvirket af opstrøms forstyrrelse, hvilket betyder at flowmåleren skal installeres et stykke nedenfor en opstrøms forstyrrelse. Her tænkes f.eks. på en indsnævring når vandet ledes ind i et rør, en bøjning på røret, udløb efter en pumpe. I Niemann (2012) er der en tabel for hvor langt et lige stykke opstrøms rør i forhold til rørets diameter, der er behov for, før man installerer en flowmåler for at tage højde for opstrøms installationseffekter. Dele af tabellen er gengivet i tabel 1.

**Table1.** Tabellen angiver hvor langt et lige rørstykke, der er behov for opstrøms en flowmåler efter forskellige typer af flowforstyrrelser opdelt efter hvor følsom flowmåleren er overfor et flowforstyrret flowprofil. Tal i tabellen angiver hvor mange gange det lige rørstykke opstrøms måleren skal være i forhold til rørets diameter, dvs. er diameteren 0,35 m og faktoren 10 skal den lige rørlængde være 3,5 m. Uddrag af tabel i Niemann (2012).

Flowmålerens følsomhed for installationseffekter	Opstrøms lige rørlængde mellem installation og flowmåler		
	90° bøjninger eller T stykke	Expander	Reducer
Lav	10	16	5
Medium	14-18	16-22	5-9
Høj	28-36	30-54	14-22

De typiske installationer/forstyrrelser opstrøms vil være når vandet ledes ind i et rør (reducer), der er rørbøjning(er) på røret eller vandet kommer fra en pumpe. I de tilfælde vil man oftest skulle anvende et lige rørstykke der skal være fra ca. 5 op til ca. 16 gange diameteren, men ofte er 5 op til max. 10 gange diameteren fuldt tilstrækkeligt. Hvis der er forstyrrelser nedstrøms (bøjninger, ekspansion mv.) for flowmåleren bør der nedstrøms denne være et lige rør stykke med en længde på 2-3 gange rørdiameteren. Der er mulighed for at sætte en strømningsudretter ind i røret opstrøms målepunktet, således at den nødvendige lige rørlængden kan reduceres betydeligt, men dette vil give øget tryktab, og er derfor en løsning som dambrugeren som udgangspunkt gerne vil undgå.

Dansk Akvakultur har oplyst at det kan være en installationsmæssig udfordring at få plads til 10-15 m lige rørstykker i indløb til og/eller fra udløb fra dambrug. Men i de fleste tilfælde vil der ikke blive brug for så lange stykker, da man selv ved en faktor 16 i tabel 1 så skal anvende en rørdimension på 0,94 m for at skulle have 15 m rør (og man havde så muligheden for at sætte en strømudretter ind i røret for at reducere behovet for længden af røret). Dansk Akvakultur oplyser at der ofte dimensioneres med følgende rørdiameter ved fuldt-løbende med en vandhastighed på 0,5 m/s og det er i parentes angivet hvad det ca. svarer til i vandføring:

- 0,15 m (vandføring på ca. 9 l/s)
- 0,25 m (vandføring på ca. 25 l/s)
- 0,35 m (vandføring på ca. 50 l/s)
- 0,50 m (vandføring på ca. 100 l/s)
- 0,80 m (vandføring på ca. 250 l/s)
- 1,00 m (vandføring på ca. 400 l/s).

Ved store vandmængder kan man vælge at fordele vandmængden på 2 eller flere rør, men vil så skulle have to flowmålere, men samtidigt spare en del på rørlængden (og kunne købe flowmåler med mindre dimension). Moderne flowmålernes følsomhed i forhold til flowprofilens stabilitet er typisk så lav så man i en række tilfælde kun har behov for en faktor 3-5 (tabel 1). Med en hensigtsmæssig indretning bør der således i langt de fleste tilfælde kun være behov for en faktor ca. 5 til maksimalt 10 (tabel 1) inklusiv et nedstrøms lige stykke, og derfor vil en rørlængde på maksimalt 4-8 meter lige rør oftest være tilstrækkeligt.

I modeldambrugsprojektet var de største rørdiameter 0,3 m (et sted anvendtes to rør i afløbet), og der blev selv i tilfælde med hastigheder ned til ca. 0,2 m/s kun fundet usikkerheder på 1-2 % (Svendsen et al., 2008). I projektet anvendtes relativt dyre vandure, men nogle af de øvrige instrumenter DCE har undersøgt, som er billigere, kan godt leve op til et krav til en maksimal usikkerhed på under 1-2 %. Der kan også anvendes indstiksmåler som ind sættes i et hul i røret. De er typisk billigere end et vandur (elektromagnetisk måler), i hvert fald når diameter på røret kommer op over 20-25 cm, og selv relativt billige indstiksmålere opgives at have en usikkerhed på 3,5 %. Til

denne (ret høje) usikkerhed skal der tillægges usikkerhed, hvis den optimal rørlængde ikke er til stede.

Selv om der også tages højde for manglende optimal rørlængde bør et krav på maksimalt +/- 5 % usikkerhed ved bestemmelse af vandmængde - som også er international standard - derfor ikke betragtes som noget usædvanligt højt krav til usikkerhed på en nøglestørrelse som vandmængden. Det ville alene være et problem, hvis vandhastigheden var under 0,1-0,2 m/s i rørene, da kunne man overveje at slække kravet til nøjagtigheden, men denne hastighed anvendes ikke i praksis. Samtidigt kan de instrumenter DCE har kendskab til overholde de angive krav uden det medfører, at de nødvendigvis er meget dyre. Dansk Akvakultur har fundet en indstiksflowmåler til under 15.000 kr., der opererer med en præcision på  $\pm 3,5$  % (Tecfluid, 2013), hvilket er billigere end de vandure, som blev anvendt under modeldambrugsprojektet (Svendsen et al., 2008), og som derfor umiddelbart bør kunne opfylde præcisionskravet på  $\pm 3,5$  %, dog har DCE ikke erfaring med dette instrument.

## 4 Betydning af usikkerhed på flowmålinger

Nedenfor er der nogle overvejelser vedrørende betydningen af at acceptere en mere unøjagtig vandføringsbestemmelse. For de små dambrug på foderkvote som alene reguleres på tilstandskontrol er vandmængden ikke umiddelbar afgørende for selve tilstandskontrollen, så længe det kan antages at den indtagne vandmængde svarer til den udledte vandmængde. Men ønsker man at kunne fastlægge og kontrollere, hvor meget stof, der udledes skal man kende vandmængden. Det kan være tilfældet f.eks. i NOVANA sammenhæng for at fastlægge betydningen af udledninger fra et dambrug herunder ved kildeopsplitning. Ønskes en vurdering af dambrugets udledninger på vandløbets kvalitet (DVFI) er der behov for at kende den udledte vandmængden for at kunne beregne fortyndingen i vandløbet (af udledte koncentrationer/mængder).

En øget usikkerhed på den udledte vandmængden vil tilsvarende øge usikkerheden på den udledte stofmængde. Man skal være opmærksom på, at usikkerhed både vil udtrykke sig som større spredning i stofudledninger, men også kan dække over større systematisk bias (skrævhed) gennem en systematisk over- eller underestimering af disse.

Ved beregning af stoftransport ganges den målte koncentration i såvel vandindtaget som i udledningen med de tilsvarende målte vandføringer. Vi kan med et eksempel illustrere betydningen af at øge usikkerheden på flowmålingerne fra 5 % til 15 %. Vi antager, at der ikke er noget vandtab over dambruget. Herved kan den samlede usikkerhed på vandmængden, der anvendes til beregning af nettostofudledningerne fra dambrug, bestemmes som følger (eftersom det er forskellen mellem stof ud af og stof ind i dambruget, der anvendes til kontrol af udledninger):

$$S = (s_1^2 + s_2^2)/2 \quad (1)$$

S = samlet usikkerhed på vandmængden

S<sub>1</sub> = usikkerhed på den indtagne vandmængde

S<sub>2</sub> = usikkerhed på den udledte vandmængde

Ved 5 % usikkerhed (for både S<sub>1</sub> og S<sub>2</sub>) på flowmålingerne bliver S 5 %. Ved 15 % usikkerhed for både S<sub>1</sub> og S<sub>2</sub> bliver den tilsvarende 15 %.

En øget usikkerhed i vandmængden vil derfor give en øget variation ved beregning af udlederkontrollen, dvs. spredningen s<sub>T</sub> i transportkontrolformlen (2) nedenfor fra Bekendtgørelsen (2012) bliver større.

$$d_T + k_T(n) * s_T \leq U_T \quad (2)$$

d<sub>T</sub> = gennemsnit af nettoudledninger på prøvetagningsdage (forskell i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandafledning og vandindtag og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnet)



$k_T(n)$  = justeringsfaktoren ved transportkontrol for n prøver (ved 26 prøver = -0,3352 og ved 12 prøver = -0,5205)

$s_T$  = spredningen på de n nettoudledninger

$U_T$  = udlederkravet ved transportkontrol (korrigerede udledergrænseværdi) i kg. pr. døgn.

Udlederkravet (den korrigerede udledergrænseværdi ved transportkontrol)  $U_T$  er fastlagt ved:

$$U_T = U_{TK} + (k_T(n) - k_k(n)) * s_T \quad (3)$$

$U_{TK}$  = udledergrænseværdi fundet ved at dividere årlig maksimal tilladte udledning med 365

$k_k(n)$  = justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for n prøver (ved 26 prøver = 0,5035 og ved 12 prøver 0,3586).

Det bemærkes ved beregning af udlederkravet indgår spredningen, enten fra tidligere målte udledninger eller som en standardspredning fastlagt i Bekendtgørelsen (2012). Anvendes tidligere målinger til fastlæggelse af spredningen, vil det medføre at en dambruger, som har høj usikkerhed på fastlæggelse af vandmængderne, vil have en større spredning i de målte udledninger end en dambruger, som har mere præcis bestemmelse af vandmængderne. Det betyder at sammenlignes to dambrugere, der har samme maksimale tilladte udledte stofmængde, så vil den dambruger der har størst variation i de udledte stofmængder, der anvendes som grundlag for at beregne maksimale udledte stofmængder, få en lavere  $U_T$  end dambrugeren med mindre variation heri og dermed et skrapere udlederkrav.

Ved anvendelse af standardspredningen fra Bekendtgørelsen (2012) baseres de på de angivne normaliserede standardspredninger i mg/l og ganges med tilladte vandafledning (fra dambrugets miljøgodkendelse), som derfor er en fast given vandmængde uden usikkerhed. Såfremt man vælger at ændre Bekendtgørelsen og øge den tilladte usikkerhed på flowmålinger til 10 eller 15 % kunne man samtidigt vælge at gange en faktor på spredningen  $S_T$  i formel (3), således at  $U_{TK}$  reduceres ved større usikkerhed på flowmålinger. Dette vil medføre at et dambrug med større usikkerhed på flowmålingerne i gennemsnit vil kunne udlede mindre end et tilsvarende dambrug med mere nøjagtige flowmålinger.

Nedenfor vises et eksempel på hvor meget usikkerheden på vandmængden i værste tilfælde kan betyde for at fastlægge årlige udledninger fra et dambrug. Eksemplet baseres på et dambrug som indtager og udleder 250 l/s pr. sekund (men en variation hen over året på mellem 225-275 l/s), koncentration i vandindtag af et stof ( $BI_5$ ) på mellem 1,7 til 3,2 mg/l og i udløbet på mellem 2,4-4,5 mg/l samt en årlig gennemsnitlig koncentrationsforøgelse over dambruget på 0,8 mg/l. Nettoudledningerne beregnes ud fra 12 årlige prøvesæt (indløb og udløb). I tabel 1 er vist nettostofudledning på et år, gennemsnitsudledningen pr. døgn og standardafvigelsen på døgnudledningen. Der er vist 5 tilfælde:

- Ingen usikkerhed på vandføringen

- % usikkerhed, hvor vand ind systematisk er 5 % overvurderet og vand ud systematisk 5 % undervurderet (5 % er den tilladte usikkerhed i Bekendtgørelsen på flowmålingerne)
- % usikkerhed, hvor vand ind systematisk er 5 % undervurderet og vand ud systematisk 5 % overvurderet
- 15 % usikkerhed, hvor vand ind systematisk er 15 % overvurderet og vand ud systematisk 5 % undervurderet
- 15 % usikkerhed, hvor vand ind systematisk er 15 % undervurderet og vand ud systematisk 15 % overvurderet

Det bemærkes hvor meget en øget usikkerhed i værste fald kan betyde, f.eks. at årsudledningen fastlagt med sikker vandmåling på 6.277 kg BI<sub>5</sub> ved 15 % usikkerhed på vandmængdebestemmelsen i værste fald kan variere mellem 337 kg til 13.160 kg BI<sub>5</sub>. I praksis vil usikkerheden ikke give sig udtryk i en bias der går systematisk til en side på vandindtag og det modsatte på udløbet. Eksemplet er dog medtaget for at vise, hvor stor betydning vandmængden kan have for fastlæggelse af udledninger på dambrug, selv når vandmængden rent faktisk kan bestemmes med relativ lille usikkerhed.

**Tabel 2.** Betydning af usikkerhed på vandmængden for fastlæggelse af stofudledninger i tænkt tilfælde at usikkerheden giver sig udtryk som en systematik bias der øger/mindsker vandmængderne i indtag og afløb. Se i øvrigt tekst.

Usikkerhed vandmængde	Udledning år (kg)	Gennemsnitsudledning pr dag (kg)	Spredning på daglig udledning (kg)
0 % vand ind og ud	6.277	17,2	6,1
+5 % vand ind og -5 % vand ud	4.611	12,6	6,7
-5 % vand ind og +5 % vand ud	8.886	24,3	7,9
+15 % vand ind og -15 % vand ud	337	0,9	6,6
-15 % vand ind og +15 % vand ud	13.161	36,1	9,7

## 5 Sammenfatning

DCE anbefaler at der ikke ændres på de nuværende krav om en måleusikkerhed  $\pm 5\%$  i Bekendtgørelsen (2012). Det vil introducere en unødvendig stor usikkerhed på fastlæggelsen af bl.a. udledninger fra dambrug. Kravet ligger indenfor de generelle internationale standarder og anbefalinger for sikkerhed på flowmålinger. Det flowmålerudstyr DCE kender kan som standard overholde den nuværende bekendtgørelses krav på  $\pm 5\%$ , og det kræver derfor ikke investering i særligt fint målende udstyr at overholde kravene.

Såfremt usikkerheden ønskes hævet kunne det ske de steder i Bekendtgørelsen (2012), hvor usikkerheden er angivet at erstatte denne med de nye krævede usikkerhed, dvs. i tabellen om drift og indretning i bilag 1 i bekendtgørelsen og tilsvarende i bilag 3 i afsnittet om "Vandressourceforbrug, vandmåler og vandstyring". Men der bør i givet fald også udvikles en korrektionsfaktor på spredning  $S_T$  i formel (3) i dette notat til fastlæggelse af  $U_T$  i Bekendtgørelsen (2012).

## 6 Referencer

Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2012. Bekendtgørelse nr. 130 af 8. februar 2012 - Miljøministeriet.

Herschey, R.W., 2009. Streamflow measurements. Thirds edition, Routledge Taylor & Francis, 507 s.

Kaare Michelsen, Dansk Akvakultur (2013). Personlig kommunikation.

Niemann, A, 2012. Installationseffekters betydning for flowforhold og flowmåling. Et overblik. Delrapport. Flowcenter Danmark, Force Technology, Teknologisk Institut, 13 s.

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Boutrup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T., Suhr, K., 2008. Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug. DTU Aqua, Technical University of Denmark. DTU Aqua-rapport nr. 1993-08, 226 p.

Tecfluid (2013): Flomat Electromagnetic Insertion Flowmeter. Teknsk datablad, 2 pp.

WMO, 2008. Guide to Hydrological Practices Volume I Hydrology - From Measurement to Hydrological Information. WMO-No. 168. Sixth edition, 2008, 296 p.