

Hydrometriske målinger i kystnære zoner: Skjern Å

Traditionelle vandføringsstationer er problematiske at benytte i kystnære vandløb, idet stuvningseffekter vanskeliggør beregningen af kontinuert vandføring fra vandstanden. Da Danmark har en lang kystlinje i forhold til landets samlede areal, er en betydelig del af vandløbsnetværket påvirket af stuvninger. Derfor er der behov for at teste alternative hydrometriske metoder som f.eks. brugen af hastighedssensorer.

JANE B. POULSEN, NIELS B. OVESEN,
JØRGEN WINDOLF & BRIAN KRONVANG

I forbindelse med overvågning og kvantificering af udledningen af næringsstoffer til fjorde og kystnære marine miljøer er vandføringen i de nedre dele af vandløbsnetværket en vigtig parameter /1/. Idet hovedandelen af de kystnære dele af vandløbsnetværket er påvirket af stuvningseffekter fra bl.a. tidevand og vind, er de fleste vandføringsstationer placeret et stykke væk fra kysten. Især hvor vandløbets fald er lille, som i de vestjyske åer, og hvor der er stor stuvningseffekt, er mange hydrometristationer placeret flere kilometer opstrøms i vandløbsnetværket. Det betyder, at kun ca. 57% af landets areal er dækket af hydrometristationer og kun omkring 43% er dækket af komplette afstrømningstidsserier, hvor de fleste kystnære områder er umålte (se Fig. 1 i forrige artikel, s. 17). Det bevirker, at estimeringen af vandføringen i de nedre dele er behæftet med en betydelig usikkerhed, idet der enten skal fremskrives fra det målte opland og/eller anvendes modeller til simulering af vandføringen i de umålte dele /2/. Ved en traditionel hydrometrisk vandføringsstation beregnes den årlige hydrograf for vandløbet ved hjælp af en relation imellem vandstand og vandføring, også kaldet QH-relationen. QH-relationen etableres ud fra et antal direkte målinger af vandføring og vandstand ved forskellige vandstande. Ved hjælp af QH-relationen kan en kontinuert målt vandstand i vandløbet derefter omsættes til en vandføring, under den antagelse, at en given vandstand i alle tilfælde giver den samme vandføring; dog efter korrektion for

grødevækst og eventuelle forskydninger af bunden /3/. Udfordringen i vandløb påvirket af stuvning fra f.eks. tidevand og vind er imidlertid, at for den samme vandstand kan der optræde forskellige vandføringer, fordi der opstår betydelige hastighedsvariationer i vandstrømmen på grund af stuvningen. Hvis vandføringen forsøges beregnet ved hjælp af en traditionel QH-relation, vil vandføringen i mange tilfælde enten blive over- eller underestimeret, idet vandstanden alene ikke afslører stuvningen.

Med de seneste årtiers udvikling af akustiske instrumenter, der bl.a. benytter Dopplertechnik til at måle vandhastigheder, er der nu mulighed for kontinuert at måle vandhastigheder ved hjælp af en relativ simpel instrumentering. Ved at måle vandhastigheden og inkludere denne i den traditionelle beregning af vandføring, kan der tages højde for stuvnings- og tidevandseffekter, hvilket muliggør, at vandføringsstationer kan etableres længere nedstrøms i vandløbsnetværket.

I perioden juni 2011 til juli 2013 blev et Teknologiprojekt finansieret af Miljøstyrelsen om måling af afstrømningen fra tre deloplande til Skjern Å gennemført. Formålet med dette projekt har været at teste muligheden for at benytte Doppler instrumenter til kontinuert at beregne vandføringen i den stuvningspåvirkede nedre del af Skjern Å, tæt på udløbet til Ringkøbing Fjord. Formålet var dels at teste to typer af Doppler instrumenter og dels at opnå erfaringer med at monitere stuvningspåvirkede vandløb.

Index-hastighedsmetoden

De mest almindelige Doppler instrumenter, der kan monteres permanent i et vandløb,

er designet til at blive opsat enten i siden af vandløbet eller på bunden. Hvis Doppler instrumentet er opsat i siden af vandløbet, vil det måle vandhastigheder, typisk en gennemsnitshastighed, i en smal vandret zone vinkelret på strømningsretningen. Hvis Doppler instrumentet er monteret på bunden måler det vandhastigheder i et lodret profil over instrumentet. Den metode der typisk bliver brugt til at beregne vandføring med, når der anvendes et Doppler instrument, kaldes index-hastighedsmetoden, hvor index-hastighed refererer til den gennemsnitlige hastighed, der måles med Doppler instrumentet /4/.

Index-hastighedsmetoden bygger på, at der etableres en sammenhæng imellem vandløbsprofilens gennemsnitshastighed og index-hastigheden målt med Doppler instrumentet. Den gennemsnitlige vandhastighed i tværsnitsprofilen ved en given vandstand skal fremskaffes ud fra de normale vingemålinger eller Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) målinger. Relationen imellem index-hastighed og gennemsnitshastighed (V-V) etableres derefter på baggrund af et antal målinger udført under forskellige strømningssituationer, på samme måde som den traditionelle QH-sammenhæng etableres.

På baggrund af den etablerede V-V sammenhæng kan tværsnitsprofilens gennemsnitshastighed ved en given vandstand til ethvert tidspunkt beregnes ud fra den målte index-hastighed. Vandføringen beregnes herefter som produktet af gennemsnitshastigheden og tværsnitsarealet /5/. Tværsnitsarealet estimeres typisk på baggrund af vandstanden. Ved brug af index-hastighedsmetoden kan beregningen af vandføringen også ske i perioder med stuvningseffekt, idet en stuvning vil resultere i en lavere målt index-hastighed sammenlignet med en situation uden stuvningseffekt. Dermed vil også den beregnede vandføring blive lavere ved den givne vandstand.

Målestation og instrumentering

Dataindsamlingen er foregået i perioden juni 2011 til juli 2013 i den nedre del af Skjern Å (Fig. 1). Der blev etableret en vandføringsstation ca. 3 km. opstrøms udløbet af Skjern Å til Ringkøbing Fjord med et oplandsareal

Boks 1

Målinger af vandhastigheder blev udført ved hjælp af to forskellige typer akustiske Doppler instrumenter. Det ene instrument var en Sontek Argonaut SL med en frekvens på 500 kHz og en strålevinkel på 25 grader i forhold stråleretningen. SL sensoren var monteret på en opsat bro ved højre bred (Fig. 2), og målte gennemsnitlige vandhastigheder i de midterste 26 m af vandløbet. Den anden sensor der blev benyttet var en Argonaut XR med en frekvens på 3 MHz og en strålevinkel på 25 grader i forhold til stråleretningen. XR sensoren var monteret på bunden i det dybeste sted i profilet (Fig. 2), og målte hastigheder i et lodret profil over sensoren. Kontinuerte målinger af vandstanden blev fortaget med en tryktransducer monteret ved broen.

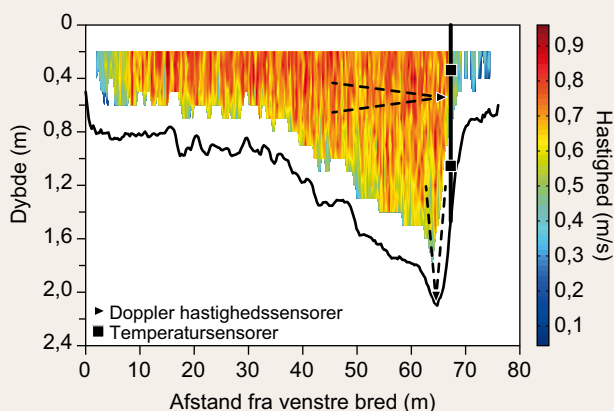


Fig. 2. Et eksempel på tværsnitprofilens udseende den 2. januar 2012. Bundprofil og vandhastigheder er målt med et ADCP-instrument. Placeringen af måleudstyret er markeret sammen med en skematisk tegning af strålespredningen fra Doppler sensorerne. På billedet ses målebroen og huset til prøvetagere, datalogger og solceller placeret ved vandløbets højre bred.

Endvidere blev der taget vandprøver fra vandløbet hver fjerde time, og en samlet prøve af de akkumulerede vandprøver blev analyseret for hver 14. dag. Vandprøverne blev indsamlet hver time ved hjælp af Glacier ISCO-prøvetagere opsat på en bro ved målestationen. Vandprøverne blev indsamlet i to højder over bunden: 0,5 m og 1,8 m. Vandprøverne blev efterfølgende analyseret for pH, total nitrogen, nitrat, ammonium, total fosfor og fosfat. I de samme to dybder som vandprøverne blev udtaget var der installeret to sensorer, der målte temperatur, turbiditet, ledningsevne og oxygen indhold i vandet (se Fig. 2 for placering af sensorer). Endvidere blev der ved stationen målt vindhastighed og vindretning.



på 2465 km². Et tværsnitprofil af vandløbet blev instrumenteret med forskellige instrumenter, bl.a. to typer Doppler instrumenter (se Boks 1). Der blev udført direkte vandføringsmålinger i tværsnitprofilen ved hjælp af et ADCP instrument, og målingerne blev udført i henhold til de seneste anvisninger om optimal måleprocedure [6]. På grund af vandløbets størrelse blev ADCP målingerne udført ved at sejle på tværs af vandløbet med ADCP instrumentet. I perioden fra april til juli må der ikke sejles på den nedre del af Skjern Å og vandføringsmålinger blev derfor udført ved to broer umiddelbart opstrøms i den lukkede periode. Summen af de to opstrøms vandføringer blev antaget at repræsentere vandføringen ved den nedstrøms station. I alt blev der målt 13 direkte vandføringsmålinger med ADCP instrument til etablering af index-hastighedsfunktionen, hvor de seks målinger blev udført ved de to opstrøms broer.

Vandføring beregnet på baggrund af index-hastighedsmetoden

Relationen imellem index-hastigheden og gennemsnitshastigheden, beregnet fra ADCP

målingerne målt de 7 forskellige tidspunkter i løbet af måleperioden, viser en god lineær relation med en R² værdi på 0,96 (Fig. 3). Vandføringen beregnet på baggrund af de målte hastigheder viser, at der som forventet kan opstå en række forskellige vandføringer for den samme vandstand (Fig. 4). Det ses f.eks., at for en vandstand på 1 m kan vandføringen variere imellem 30 og 80 m³ s⁻¹ (Fig. 4).

Stuvningseksempler

Et eksempel på stuvning i vandløbet blev observeret i slutningen af december måned i 2011 og i starten af januar måned i 2012 (Fig. 5). Det ses at index-hastigheden og vandstanden ikke stiger og falder på samme tid. F.eks. er det tydeligt i data fra perioden omkring den 4. januar 2012, hvor vandstanden stiger brat, mens index-hastigheden falder. Den samme effekt ses også for mindre vandstandsstigninger, som dem der blev observeret omkring den 26. - 27. december og omkring den 30. december 2011 (Fig. 5). Ud fra de målte vindhastigheder og -retninger kan det konstateres, at de observerede stuvningsfænomener i åen korrelerede med perio-

der med kraftig vestenvind. Det forventes derfor, at de observerede stuvningseffekter ved målestationen skyldes, at vestenvinden bevirker en vandstandsstigning i Ringkøbing Fjord. Denne vandstandsstigning forplanter sig opstrøms i Skjern Å og påvirker derfor vandstand og vandhastighed i hele den nedre del af Skjern Å.

Diskussion og perspektivering

På baggrund af de udførte målinger med den nye Doppler station i Skjern Å, kan det konkluderes, at index-hastighedsmetoden er en metode, der med fordel kan anvendes til at bestemme vandføringen i tidevands- og stuvningsprægede vandløb. I vores studie var de to primære kilder til måleusikkerhed, at tværsnitprofilens form ændrede sig i løbet af måleperioden, samt at sensorerne i perioder var påvirket af sandvandring, grøde og isflager.

Den XR Doppler sensor der blev opsat på bunden af vandløbet blev efter det første halve års tid dækket af et tykt sandlag, grundet den meget store sandvandring på bunden af Skjern Å [7]. Da sandvandring er hyppigt fore-

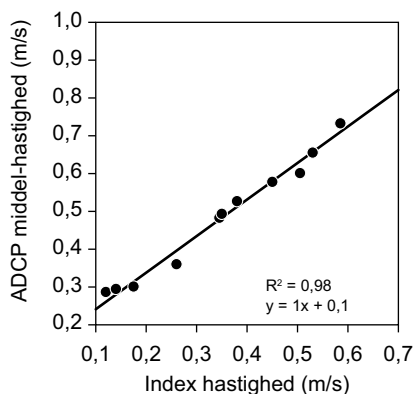


Fig. 3. Den etablerede relation imellem index-hastigheder og gennemsnitshastigheder målt på samme tidspunkt. Gennemsnitshastighederne er beregnet ud fra ADCP målinger og index-hastigheden er målt med Doppler sensoren, der var installeret i siden af vandløbet.

kommende i danske vandløb, må det forventes, at lignende problemer med installering af Doppler sensorer på bunden kan opstå i andre vandløb. På baggrund af disse erfaringer forventes det, at for danske forhold er bundsensorer ikke den optimale løsning. Den SL Doppler sensor der var opsat ved højre bred fungerede bedre, idet den ikke var i risiko for at blive dækket af sediment. Derimod viste det sig, at sensorens placering ca. 6 m fra højre bred bevirkede, at den var udsat i forhold til isflager og grøde. I vinteren 2012 blev broen, hvor SL sensoren var monteret, ødelagt, højst sandsynligt på grund af isflager fra den opstrøms Hestholm sø som satte sig fast i broen. Den forholdsvis udsatte placering af sensoren bevirkede endvidere, at jævnlig rengøring af sensoren var nødvendig på grund af løsrevet grøde, der satte sig fast i sensoren. Både problemet med isflagerne og den flydende grøde kunne sandsynligvis have været minimeret eller undgået, hvis sensoren havde været placeret tættere på bredden, hvor sensoren vil være mindre udsat og vandhastig-

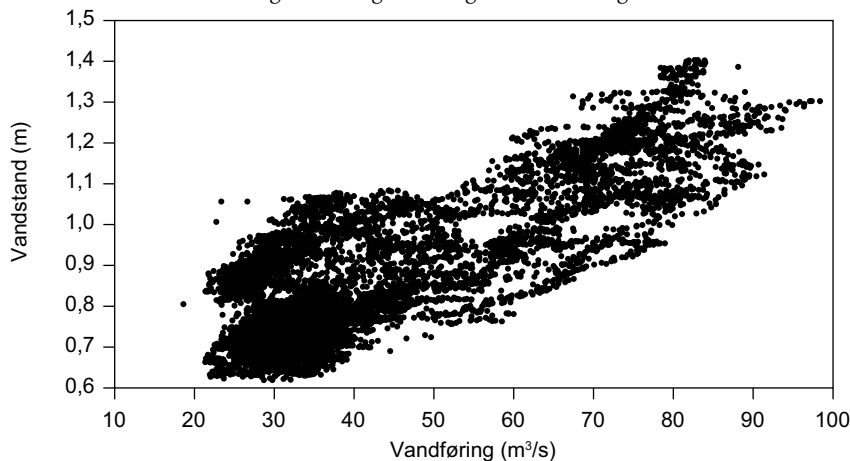


Fig. 4. Vandføringen i den nedre del af Skjern Å beregnet på baggrund af index-hastighedsmetoden, eksempel fra perioden marts 2012 til april 2013. Figuren viser timeværdier af vandføringen.

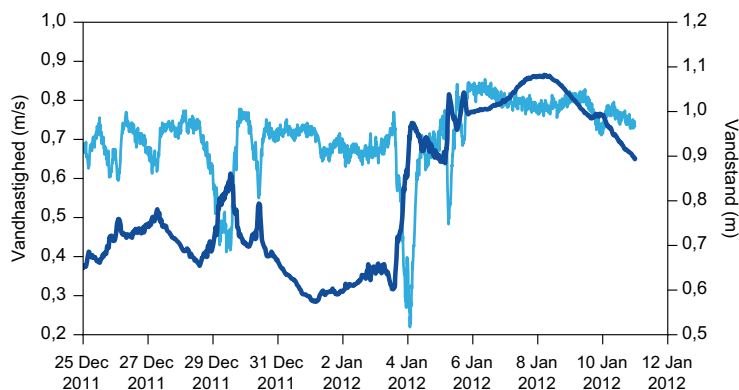


Fig. 5. Udsnit af målte index-hastigheder (lyseblå) og vandstande (mørkeblå) under perioder med stuvning.

hederne mindre.

Hvis tværsnitsprofilen ændrer sig, er det nødvendigt at sikre, at Doppler sensorens lydstråle ikke rammer enten bunden eller vandoverfladen, idet det vil bevirke at hastighedsmålingerne bliver forkerte. Samtidig er det vigtigt at sikre sig, at en ændring i tværsnitsprofilen ikke medfører en ændring i V-V relationen grundet en eventuel ændring i f.eks. andelen af de højeste målte hastigheder. Ved den etablerede målestation i Skjern Å er vandløbet meget bredt (ca. 80 m) i forhold til den gennemsnitlige dybde, hvilket betyder, at selv mindre ændringer i tværsnitsprofilen kan bevirke, at Doppler sensorens lydstråler rammer bunden/overfladen. Dette forventes at have været tilfældet i perioder, hvor der blev observeret meget støj på hastighedsdataene samtidig med betydelige ændringer i tværsnitsprofilens form blev observeret i måleperioden.

Det konkluderes, at index-hastighedsmetoden med en Doppler sensor monteret på den ene brink af vandløbet kan være en metode til at monitorere vandføringen i den nedre kystnære del af vandløbsnetværket. Et regulært stabilt måleprofil kombineret med optimal placering af Doppler instrumentet er de vigtigste forudsætninger for metodens anvende-

lighed. Samtidig er vedligeholdelse af instrumenteringen vigtig for at sikre en korrekt V-V sammenhæng. En kvantificering af usikkerheden på vandføringen beregnet på baggrund af index-hastighedsmetoden er vanskelig, men forventes at være korreleret med hvor godt V-V sammenhængen er bestemt. Dette understreger yderligere vigtigheden af at optimere hastighedsmålingerne, så de bliver så præcise som muligt, hvilket gælder både for index-hastighedsmålingerne og for de gennemsnitlige hastighedsmålinger.

JANE BANG POULSEN (videnskabelig assistent, ph.d.), NIELS BERING OVESEN (videnskabelig medarbejder, geolog), JØRGEN WINDOLF (videnskabelig medarbejder, biolog) og BRIAN KRONVANG (forskningsprofessor, ph.d.) er alle ansat ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.

Referencer

- /1/ NOVANA, vandmiljø og natur 2011. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Videnskabelig rapport fra DCE – National Center for Miljø og Energi, nr. 36, 2012.
- /2/ Windolf, J., Ovesen, N. B., Troldborg, L., Henriksen, H. J., 2009. Ferskvandsafstrømning. Vand og Jord, Vol. 16, Nr. 3, s. 100-103.
- /3/ Herschy, R. W., 1999. Hydrometry, principles and practices, 2. ed. John Wiley & Sons, Inc.
- /4/ Herschy, R. W., 2009. Streamflow measurement, 3. ed., Routledge Taylor & Francis.
- /5/ Morlock, S. E., Nguyen, H. T., Ross, J., 2002. Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the production of discharge records from U.S. Geological Survey stream-flow gauging stations. Water-Resources Investigations Report 01-4157, U.S. Geological Survey.
- /6/ Ovesen, N. B., Poulsen, J. B., 2013. Vandføringsmåling med akustisk Doppler instrument (ADCP), teknisk avisning T04, DCE National Center for Miljø og energi, Aarhus Universitet.
- /7/ Svendsen, L. M., Hansen, H. O., (red), 1997. Skjern Å - sammenfatning af eksisterende viden om de fysiske, kemiske og biologiske forhold i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser og Skov- og Naturstyrelsen, 198 sider.