

Grødens betydning for vandføring

Med ADCP-udstyr (Accoustic Doppler Current Profiler) kan grødens betydning for vandføringsevnen i vandløb dokumenteres

TORBEN LARSEN, FREDERIK JORDAN
VIND ANDERSEN, MORTEN NØRGAARD
STENKÆR & THOMAS RUBY BENTZEN

Introduktion og problemstilling

Med indføring af ADCP-udstyr (Accoustic Doppler Current Profiler) for kontinuert måling af vandføring i vandløb, kan der foretages en kvantitativ bestemmelse af grødens effekt på den aktuelle hydrauliske vandføringsevne i vandløb. Herved kan foretages en aktuell bedømmelse af risikoen for oversvømmelse i sommerperioden, hvor grøden har væsentlig indflydelse på vandstanden. Med udgangspunkt i resultater fra et sådant ADCP-udstyr opstillet i det øvre løb af Nørreå (ved Vejrumbro, 12 km øst for Viborg) beskrives i denne artikel, hvorledes denne effekt kan bestemmes.

Når Nørreå har været udvalgt til denne undersøgelse, skyldes det primært, at det har været den eneste lokalitet, hvor der hidtil foreligger ADCP-data, hvor vandstanden i åen kun har været påvirket af grøden og ikke af tilbagestuvning fra havet eller lignende.

Grødens hydrauliske virkning i vandløb

Fastlæggelsen af risikoen for oversvømmelser langs vandløbene om sommeren er usikker, fordi de Q/h-kurver, der beskriver sammenhængen mellem vandstand og vandføring (dvs. vandføringsevnen), løbende ændrer sig efterhånden som grøden (vandplanterne) ændrer sig.

Sammenhængen mellem vandføring og vandstand i et vandløb kan med god tilnærmelse beskrives ud fra Manningformlen, dog kun såfremt Manningtallet M kendes. Formlen skrives her med indførelse af "Mannings n" hvor $n = 1/M$, fordi dette oftest anvendes i den internationale litteratur:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

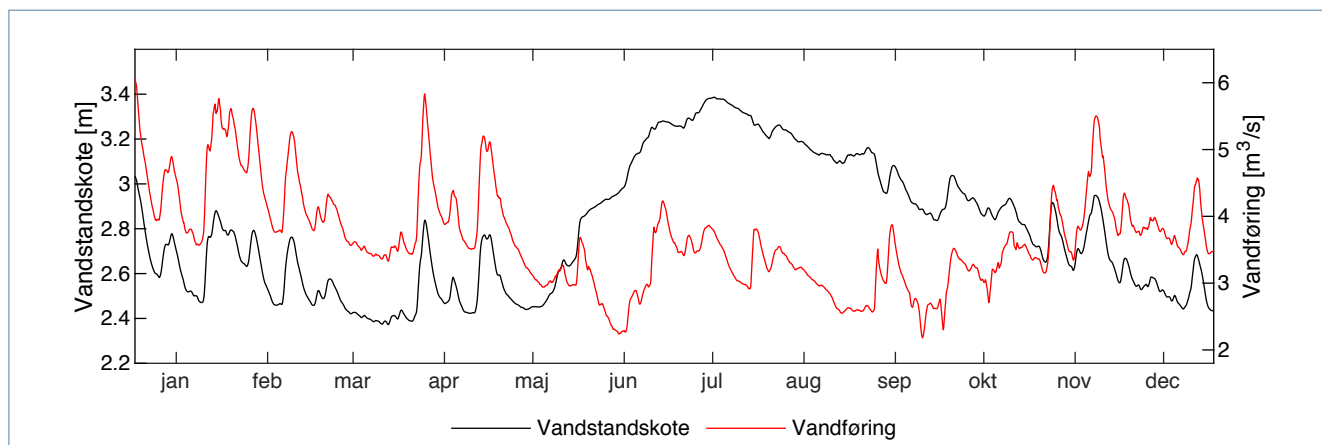
hvor V er middelstrømhastigheden, R er hydraulisk radius og S vandspejlets fald. Kontinuitetsligningen giver herefter vandføringen Q ved $Q = AV$, hvor A er arealet af strømningstværsnittet. (SI-enheder skal benyttes, da Manningformlen ikke er dimensionshøgen).

På grund af grøden er Mannings n større om sommeren end om vinteren. Q/h-målinger viser værdier i området $n = 0,03$ til $0,2$ (dvs. M i intervallet 5 til 35). Målinger i forskellige vandløb (Larsen et al, 1991) viser også, at n er stærkt afhængig af strømningen, fordi vandet afhængigt af hastigheden presser grøden ned mod bunden i større eller mindre grad. Den parameter, der bedst forklarer denne effekt, har vist sig at være er produktet VR (Chow, 1959). Adskillige undersøgelser (Fisher og Dawson, 2003, samt HR-Wallingford, 1992) i felt og i laboratorie har vist, at Mannings n i et grødefyldt vandløb med tilnærmelse kan udtrykkes ved følgende formel:

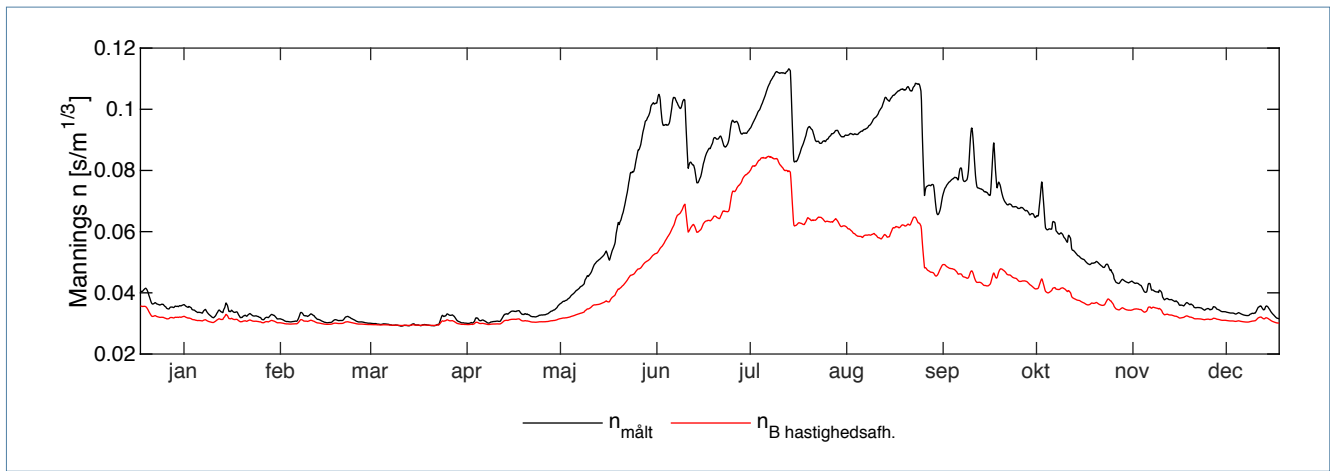
$$n = n_0 + \frac{k}{VR} \quad (2)$$

hvor n_0 er en konstant værdi for det konkrete grødefri vandløb (dvs. $n_0 = \text{ca. } 0,03$), og k er en empirisk koefficient, der karakteriserer den aktuelle grødesituation, og som gradvist ændrer sig hen over sommeren.

Engelske erfaringer (HR-Wallingford, 1992) angiver følgende gennemsnitsværdier: $n_0 = 0,037$ (dvs. $M = 27$), samt at k kan opslittes i



Figur 1 Målt vandstandskote h (sort) og målt vandføring Q (rød) i Nørreå ved Vejrumbro for 2016.



Figur 2 Beregnet Mannings n ved aktuell vandføring og beregnet strømningafhængigt Mannings n ved bredfyldt vandføring på samme tidspunkt.

produktet $k = a C$, hvor $a = 0,0239$ (SI-enheder) og C er den relative dækningsgrad af grøden (værdi mellem 0 og 1). Hvis man imidlertid (som i herværende artikel), benytter Q/h -målinger til at regne baglæns til den samlede effekt af grøden, kan kun en samlet værdi af k bestemmes.

Erfaringerne har vist, at k er rimelig uafhængig af ændringer i strømningen (dvs. uafhængig af ændringer af V og R), hvis disse ændringer sker inden for få dage, hvor grøden er uændret. Dette er i sagens natur en forsimpning, der må indebære en vis usikkerhed, der dog er langt mindre end den fejl, der fremkommer ved den traditionelle antagelse om et strømninguafhængigt Manningtal. Når k således kendes, kan en aktuell Q/h -kurve beregnes af Manning-formlen med det strømningafhængige n fra formel (2).

Rent beregningsteknisk har denne udvidede Manning-formel det problem, at hastigheden V og hydraulisk radius R står på begge sider af lighedstegnet. Skal koefficienten k beregnes ud fra målt V og R , kan k isoleres di-

rekte ud fra formlen, og man får af (1) og (2):

$$k = R^{5/3} S^{1/2} - n_0 V R \quad (3)$$

Når den udvidede Manning-formel (nu med kendt k) derefter bruges den anden vej til at beregne et antal punkter på den aktuelle Q/h -kurve, må iteration benyttes.

(Specialister i hydraulik vil genkende den parallelle problemstilling fra teorien om rørstrømninger, hvor friktionstallet f i Colebrook og White's formel også er strømningafhængigt).

Nørreås vandføringsevne ved bredfyldning i 2016

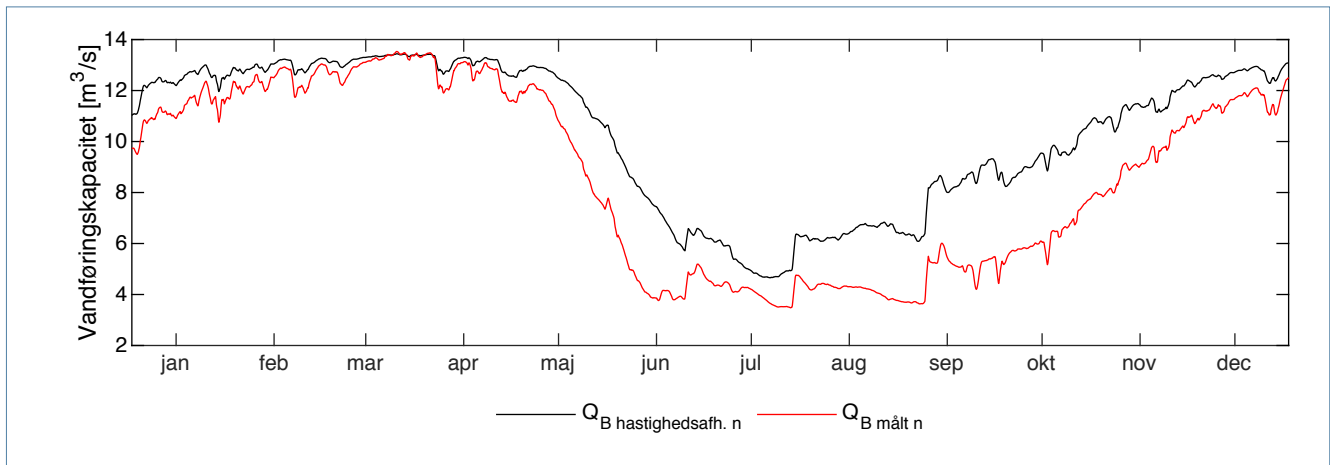
Nørreå udspringer i omegnen af Viborg og løber med lille fald mod øst for at tilsluttes til Gudenåen få kilometer før dennes udmunding i Randers Fjord. På grund af det svage fald er åen mere følsom for opstuvning fra grøden end de fleste andre vandløb. På hydrometristationen i Nørreå ved Vejrumbro (ejet af Viborg Kommune), hvor afstrøm-

ningsoplandet udgør 230 km², er placeret et ADCP-udstyr således at både Q (vandføring) og h (vandstandskote) registreres løbende.

Her benyttes en analyse af Q/h -data fra stationen for hele året 2016. På Figur 1 ses en graf af de målte tidsserier af Q og h .

Det er den hydrauliske modstand nedstrøms for hydrometristationen, der bestemmer vandstanden ved denne. Med de opmålte vandløbstværsnit for den nærmeste strækning er det aktuelle Mannings n beregnet for hele 2016, som ses på Figur 2.

På denne figur er også vist det strømningafhængige Mannings n , der kan beregnes ud fra den udvidede Manning-formel under forudsætning af at vandføringen svarer til at vandløbet netop er bredfyldt, dvs. er på grænsen til at svømme over. Til denne beregning er benyttet det k , der kan bestemmes af formel (4) ud fra de aktuelt målte forhold. Det er, som tidligere omtalt, k der samlet set karakteriserer den aktuelle grødesituations hydrauliske effekt. Det ses af Figur 2, at Mannings n vokser i sommerperioden, og at der



Figur 3 Vandløbets vandføringsevne ved bredfyldning bestemt 1) ud fra aktuelt målt Mannings n (sort linje) og 2) ud fra hastighedsafhængigt Mannings n ved formel (3) (rød linje). Det er antaget at bredfyldning sker ved en vandstandskote på 3,50 m.

opstår en tydelig forskel mellem det aktuelle n og det n , der vil være ved bredfyldning.

Samtidigt med beregningen af det hastighedsafhængige Mannings n , der svarer til bredfyldning, beregnes også den tilhørende vandføring, som herved kan forstås som det bedste skøn for vandløbets samlede kapacitet på det pågældende tidspunkt. Denne vandføringsevne fremgår af Figur 3, hvor der også er angivet vandføringsevnen, man kan beregne ud fra det simple, aktuelle Mannings n .

Af Figur 3 ses, at den reelle vandføringsevne ved bredfyldning, bestemt ved strømningsafhængigt Mannings n , er op til ca. 80 % større om sommeren, end hvad der kan beregnes med en konventionel vurdering byggende på konstant Manningtal.

De beregninger, der ligger bag graferne på Figur 3, er relativt simple som ovenfor nævnt, og kan foretages kontinuert (og automatisk) simultant med, at data fra hydrometristationen overføres.

Det har ikke været undersøgt, i hvilket omfang grødens varierende hydrauliske effekt generelt set har en mærkbar betydning for de tilgængelige vandføringsstatistikker, der som

bekendt bygger på bestemmelse af vandføring via traditionelle Q/h -kurver. Hvis der er en indflydelse, må vandføringsstatistikkerne i givet fald nyvurderes.

Konklusion

Undersøgelsen har bekræftet, at det med ADCP-udstyr for løbende måling af vandføring og vandstand i vandløb, er muligt aktuelt at vurdere grødens hydrauliske effekt på vandløbets vandføringsevne. Det ses, at Nørreå har en betydelig større vandføringsevne om sommeren når denne effekt medregnes i forhold til hvad man traditionelt ville være nået frem til.

Anerkendelse

Forfatterne takker Viborg Kommune og Orbicon, Aarhus, for beredvillig assistance for fremskaffelse af data. Herværende artikel bygger på et specialeprojekt "Forudsigelse af vandføringskapaciteten i vandløb" for civilingeniøruddannelsen i Vand & Miljø ved Aalborg Universitet udført i 2019 af Frederik Jordan Vind Andersen og Morten Nørgaard Stenkær. Vejledere var Torben Larsen og Thomas Ruby Bentzen.

Referencer

- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Fisher, K., Dawson, H. (2003). *Reducing Uncertainty in River Flood Conveyance*. DEFRA, Flood Management Division and Science Directorate, UK, Report W5A-057.
- HR-Wallingford. (1992). *The hydraulic roughness of vegetated channels*, Report SR 305 from Hydraulics Research Wallingford, UK.
- Larsen, T., Vestergaard, K., Frier, J.-O. (1991). *Hydraulic aspects of vegetation maintenance in streams*. XXIV-IAHR Congress 1991 Madrid.

TORBEN LARSEN er Professor ved Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet (AAU)

FREDERIK JORDAN VIND ANDERSEN er nyuddannet (2019) civilingeniør i Vand og Miljø fra AAU

MORTEN NØRGAARD STENKÆR er nyuddannet (2019) civilingeniør i Vand og Miljø fra AAU

THOMAS RUBY BENTZEN er lektor ved Institut for Byggeri og Anlæg, AAU



Mikroplastik – metoder til filtrering af drikkevand

Et nyt studie har set på mikroplastik partikler i rå ferskvand og behandlet vand fra 3 vandværker i Czeck Republic. Behandlet vand indeholdt færre partikler end råvandet, men indholdet var ikke ubetydeligt, og bestod hovedsageligt af partikler mindre end $10 \mu\text{m}$ i diameter. Forskerne mener, at der er behov

for nye metoder til fjernelse af plastikpartikler, ligesom risikoen for mennesker samt kilder og veje til drikkevandet bør undersøges nærmere.

De 3 vandværker modtog vand fra henholdsvis et stort reservoir, et mindre reservoir og direkte fra en flod, der løb gennem et industriområde. Det gennemsnitlige mikroplastik indhold i råvandet var 1473, 1812 og 3605 partikler pr. liter.

De tre anlæg benyttede følgende rensemetoder: konventionel sandfiltrering, sedimentation + sandfiltrering og flotation + sandfiltrering. De to sidste anlæg havde også aktiv kulfiltrering.

Det behandlede vand indeholdt i gennemsnit 443, 338 og 628 partikler pr. liter, så væsentlige mængder blev fjernet ved behand-

lingen. Resultaterne viser også at anlæg 3 med flotation fjernede 82% af partiklerne, som forklares ved at mikroplastik er let og kan flyde.

Partikler mellem $1-10 \mu\text{m}$ i drikkevandet var de hyppigste og udgjorde op til 95% og er formentlig hovedkilden til det menneskelige indtag.

I Danmark anvender vi grundvand, så forhåbentligt har vi ikke de samme problemer med mikroplastik i drikkevandet.

- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T. and Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the Total Environment*. 643, 2018, pp 1644-1651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>