

Udbygning af vandløbsnetværk

DK-model2009

Martin Olsen & Anker L. Højberg

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR
DANMARK OG GRØNLAND, KLIMA- OG ENERGIMINISTERIET



GEUS

Udbygning af vandløbsnetværk

DK-model2009

Martin Olsen & Anker L. Højberg

Indholdsfortegnelse

Baggrund og formål	4
Opdatering af vandløbsnetværk	5
Datagrundlag.....	5
Udvælgelse af vandløb til opdatering	7
Udvikling af typetværsnit for vandløb til DK modellen.....	9
Datagrundlag.....	9
Metode	11
Dimensioner af nye vandløbsstrækninger.....	14
Forslag til forbedring af vandløbssetup i DK-model	15
Referencer	16
Bilag 1	17
Oversigt over vandløbsstationer i overvågningsprogrammet	17

Baggrund og formål

Under projektet ”Udvikling af principper og metodikker til forbedring af DK-model” finansieret under det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur (NOVANA) er der i 2010 foretaget en række mindre opdateringer af DK-model2009. Opdateringerne dokumenteres individuelt på notatform. Nærværende notat dokumenterer opdateringen af vandløbsnetværket i DK-modellen.

I perioden 2005 – 2009 blev DK-modellen opdateret til DK-model2009 (Højberg et al., 2010). Vandløbsnetværket i DK-model2009 indeholder vandløb, der anses for værende betydende for vurdering af den overordnede vandbalance, men modellen indeholder ikke alle vandløb, der indgår i overvågningsprogrammet 2004 - 2009 eller er målsatte i vandplanarbejdet. I nærværende opgave udvides vandløbsnetværket for DK-modellen med vandløb der indgår i overvågningsprogrammet eller er målsatte i vandplansarbejdet. Endvidere udvikles en metode til en stringent udformning af typetværsnit, der anvendes til beskrivelse af vandløbenes fysiske udformning for vandløb hvori der ikke eksisterer opmålinger.

Mht. overvågning er der kun en mindre del, der ikke allerede er inkluderet i DK-modellen. Vandløbsopsætningen udvides derfor så alle vandløbsoplande med målestationer tilhørende NOVANA bliver repræsenteret i modellens vandløbsnetværk.

Optimalt set burde modellen ligeledes indeholde samtlige vandløb målsat i vandplansarbejdet. Der er imidlertid stor national forskel på den detaljering hvormed vandløbene er medtaget, Figur 1. I flere tilfælde er der opstillet målsætninger for vandløb, der har ringe betydning for det hydrologiske kredsløb på den skala som DK-modellen opererer på, ligesom flere af vandløbene har en indbyrdes afstand, der er mindre end gridcellestørrelsen i DK-modellen (500 m) og derfor ikke kan repræsenteres i modellen. Formålet med DK-modellen er at opnå en national beskrivelse af det hydrologiske system, der i videst mulig omfang bygger på en ensartet detaljering for de forskellige landsdele. Det betyder, at detaljeringen af modellen bør være bestemt ud fra hydrologiske betragtninger og ikke administrative forhold. Udbygning af vandløbsnetværket med målsatte vandløb er derfor sket ved en prioritering af vandløbene baseret på hydrologiske betragtninger.

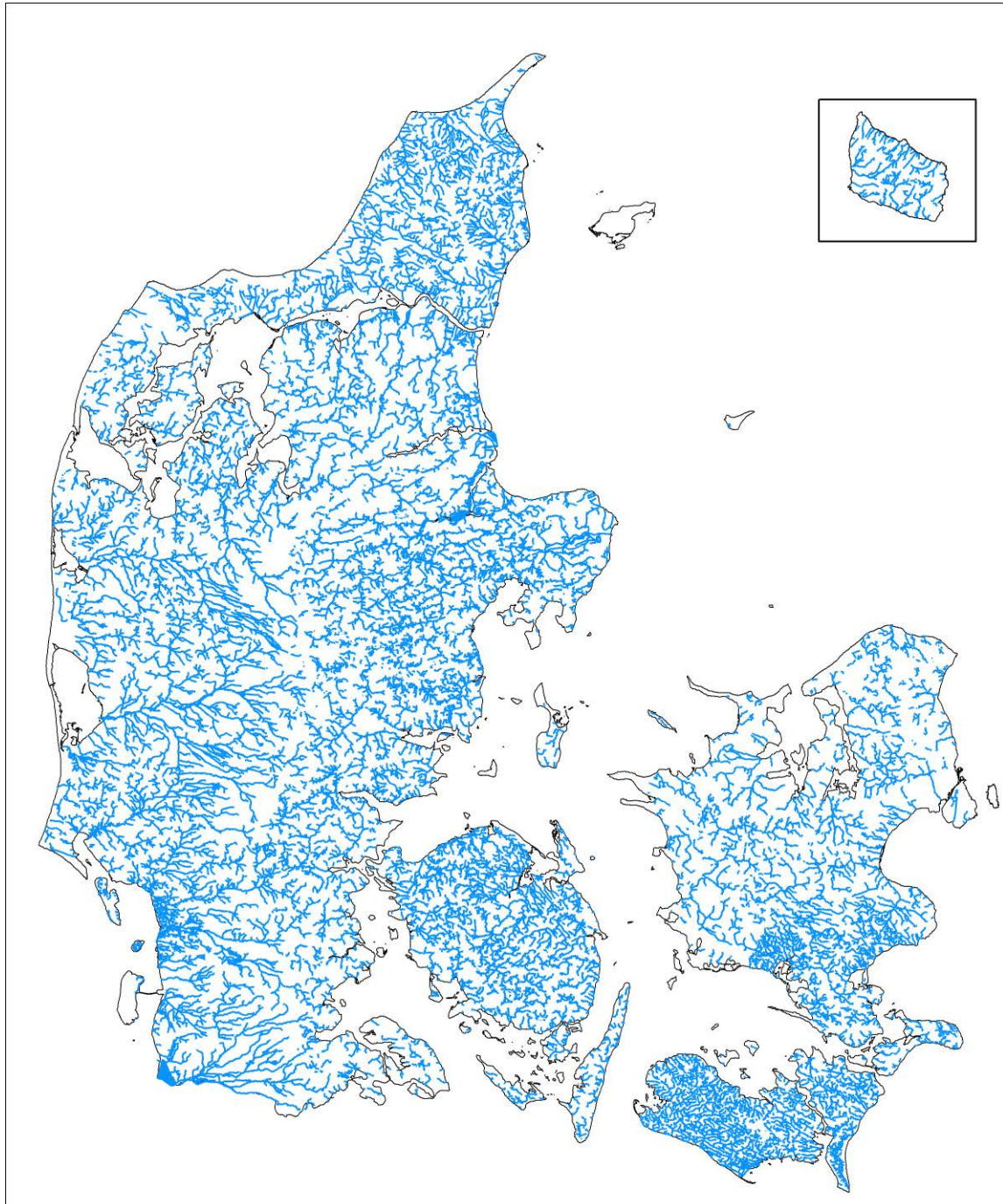
Til beskrivelse af vandløbenes dybde og bredde skal der anvendes tværsnitsbeskrivelse. Opmåling af tværsnit sker imidlertid kun for større vandløb, der allerede er medtaget i DK-modellen, for vandløb tilføjet i nærværende opgave er der derfor anvendt type-tværsnit. I denne forbindelse er der på basis af eksisterende opmålte tværsnit foretaget en analyse af relationen mellem vandløbenes højde/dybde samt størrelsen af det opland de afvander. Denne analyse har resulteret i opstillingen af nogle standard typetværsnit med varierende dybde og bredde afhængig af landsdel og oplandsstørrelser. Endvidere er datum for typetværsnittenes brinkkote justeret efter den nyeste højdemodel, for at sikre en korrekt vertikal placering af vandløbene.

Opdatering af vandløbsnetværk

Datagrundlag

Vandløb i Vand- og Naturplaner

Fra Miljøcentrenes fælles GIS-center er der indhentet en samlet oversigt over vandløb målsat i udkast til Vand- og Naturplanerne, Figur 1. Data er downloadet i form af et GIS-shape tema fra <http://miljoegis.mim.dk/fagtekster/vandplan2/download.html> (version er downloadet d. 12. april 2010). GIS-temaet indeholder samtlige vandløb der indgår i Vand og Naturplanerne.



Figur 1. Oversigt over vandløb målsat i Vand- og Naturplanerne. Data indhentet fra Miljøcentrenes fælles GIS-center

fNOVANA vandføringsstationer

En samlet oversigt over vandløbsstationer der vil indgå i det reviderede overvågningsprogram 2011 – 2015 er indhentet fra Fagdatacenter for ferskvand (DMU) og gengivet i bilag 1. Der er modtaget informationer om i alt 224 stationer, der skal videreføres i overvågningsprogrammet. Stationernes placering fremgår af Figur 2. Nogle stationer indgår kun i én af de tre delprogrammer: Vandløb, Sø eller Landovervågning (LOOP), mens andre indgår i flere af delprogrammerne. I Tabel 1 er antallet af stationer i delprogrammerne opgjort. Under delprogrammet vandløb er der medtaget alle stationer der benyttes i vandløbsprogrammet også selvom stationerne drives i ét af de to andre programmer. Under Sø og LOOP er der optalt stationer der kun indgår i disse to delprogrammer, men ikke benyttes i vandløbsprogrammet.

Tabel 1. Oversigt over stationer i NOVANA. "Vandløb" er stationer der indgår i vandløbsprogrammet, SØ og LOOP indgår kun i overvågningsprogrammet for hhv. Søer og Landovervågningen.

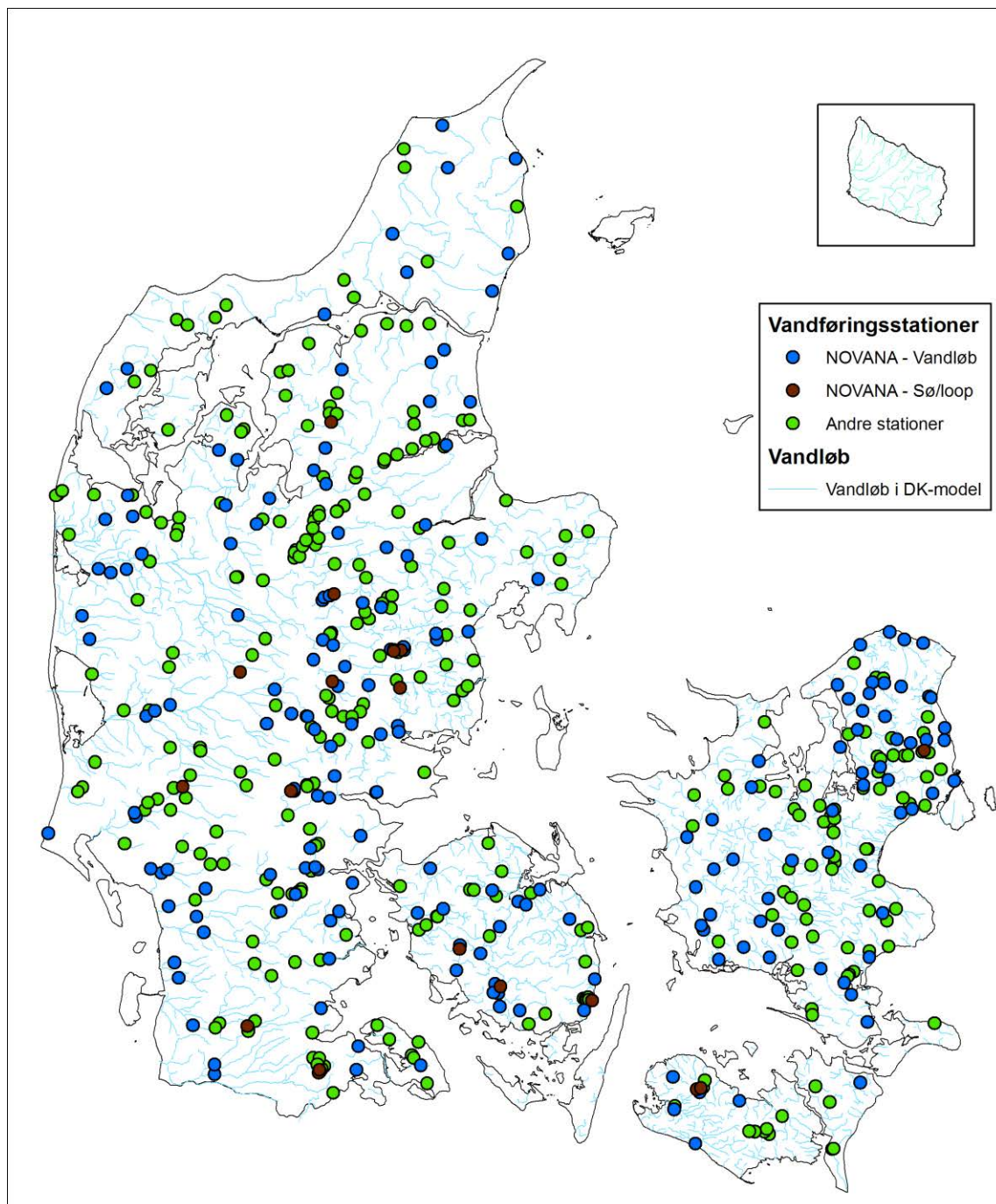
MC	Vandløb	SØ	LOOP	i alt
Ålborg	20		1	21
Ringkøbing	25	1		26
Århus	32	4	1	37
Ribe	40	5	1	46
Odense	20	2	1	23
Roskilde	42	1		43
Nykøbing	26	1	1	28
i alt	205	14	5	224

Øvrige vandføringsstationer

Foruden vandføringsstationerne indeholdt i NOVANA eksisterer der vandføringsdata fra andre vandføringsstationer, Figur 2, typisk etableret af de tidligere amter. Data fra disse stationer er modtaget fra DMU i forbindelse med kalibrering af DK-modellen. Data illustreret på Figur 2 er modtaget fra DMU i januar 2009.

DK-model vandløbsnetværk

Vandløb medtaget i DK-model2009 er konverteret fra MIKE 11 til GIS-shape temaer og samlet til ét tema for hele Danmark, Figur 2.



Figur 2. Oversigt over overvågningsstationer i NOVANA-programmet 2011 – 2015, øvrige vandføringsstationer hvorfra der er modtaget data fra DMU, samt vandløbsnetværket modtaget i DK-model2009.

Udvælgelse af vandløb til opdatering

Udvælgelsen af hvilke vandløb der skal indgå i opdateringen af vandløbsbeskrivelsen er sket efter følgende prioritering:

1. *Vandløb med NOVANA-vandføringsstationer.* Som udgangspunkt skal alle oplande indeholdende en NOVANA vandløbsstation repræsenteres i modellen ved mindst én vandløbsstrækningen. I tre tilfælde er der gjort en undtagelse. Det drejer sig om stationerne 210572, 210873, 240061, der alle tre er placeret i små sidegrene og har et oplandsareal på under 1,5 km².
2. *Vandløb med øvrige stationer.* Dette omfatter oplande med vandføringsdata fra 1995 lagret nationalt i DMU's vandløbsdatabase, men som ikke allerede er modtaget i DK-modellen. Ved

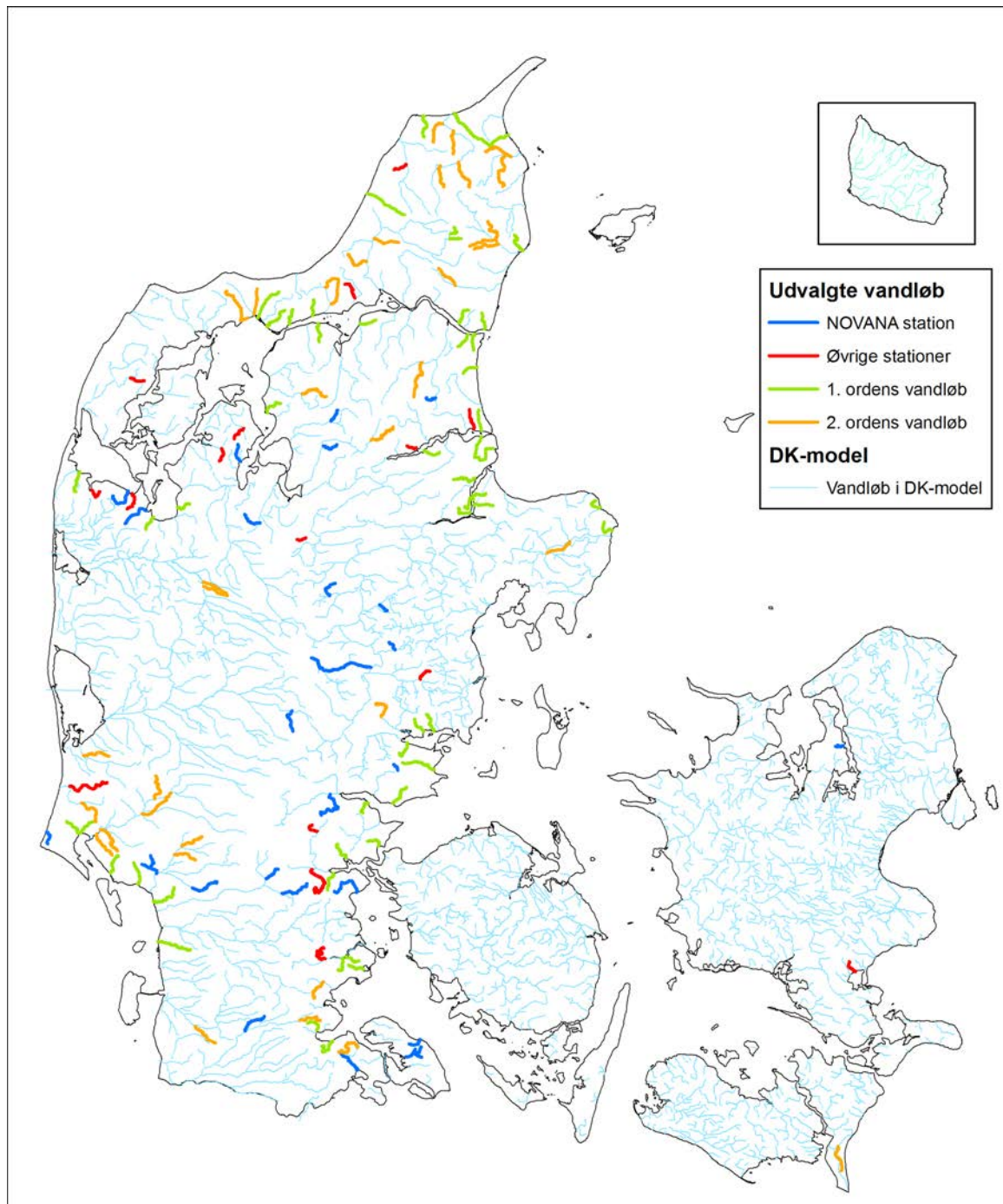
inklusion af disse vandløb sikres, at de historiske data undnyttes mest optimalt i forbindelse med kalibrering og test af DK-modellen.

3. *Rumlig fordeling.* Det sidste kriterium for udvælgelse af vandløb har været at opnå en mere homogen rumlig fordeling af vandløb i DK-modellen. I denne sammenhæng er 1. ordens vandløb prioriteret først. Årsagen hertil er, at 1. ordens vandløb er den vandløbsstrækning der leder vandet fra land til havet. Repræsenteres disse vandløb ikke i modellen vil afstrømningen til havet fra disse oplande simuleres ved drænflow, er det ikke muligt at opdele den samlede vandføring i de enkelte flowkomponenter, og det besværliggør endvidere en estimering af den samlede afstrømning fra vandløb til hav. Da nogle af de 1. ordens vandløbsstrækninger kan være meget små, er det valgt kun at medtage vandløb med en længde på mere end 5 km. Endelige er der udvalgt vandløb blandt 2. ordens vandløb. Metoden herfor har været et krav til vandløbets længde, hvor afskæringsværdien (den anvendte vandløbslængde) er bestemt på baggrund af, det samlede antal vandløb til udbygning af vandløbsnetværket, der ud fra tidsrum og ressource til løsning af opgaven blev fastsat til maks. 140 nye vandløbsgrene. Dette resulterede i, at 2. ordens vandløb med en længde på mere end 8 km er medtaget i opdateringen. Prioriteringen af vandløb medtaget for en mere homogen rumlig repræsentation kan således opsummeres til:
 - a. 1. ordens vandløb > 5 km
 - b. 2. ordens vandløb > 8 km

Baseret på denne prioritering er vandløbsnetværket udbygget med i alt 133 vandløb. I Tabel 2 er antallet af vandløb medtaget på baggrund af de forskellige kriterier opgjort, mens deres rumlige placering er vist på Figur 3. Som det fremgår af figuren er det primært i Jylland at der sker en opdatering. Dette afspejler den betydeligt mere detaljerede vandløbsbeskrivelse der ligger i DK-model2009 for øerne i forhold til Jylland. Den største udbygning sker for Nordjylland. Her er der en relativ dårlig beskrivelse af vandløbsnetværket i DK-model2009. Under opdatering af DK-modellen i perioden 2005 – 2010 blev vandløbsnetværket for Nordjylland ikke opdateret, da der ikke blev modtaget en tilbagemelding fra Nordjyllands amt om en ønsket udvidelse af netværket. På landsplan opnås der en væsentlig bedre homogenisering af vandløbsbeskrivelsen indeholdt i DK-modellen med den nærværende opdatering.

Tabel 2. Vandløb medtaget i udbygningen af vandløbsnetværket opdelt på de fire kriterier

Kriterium	antal
Indeholder NOVANA station	29
Indeholder anden vandføringsstation	16
1. ordens vandløb > 5 km	53
2. ordens vandløb > 8 km	35
i alt	133



Figur 3. Vandløb udvalgt til opdatering af vandløbsnetværket i DK-modellen, opgjort på de fire kriterier.

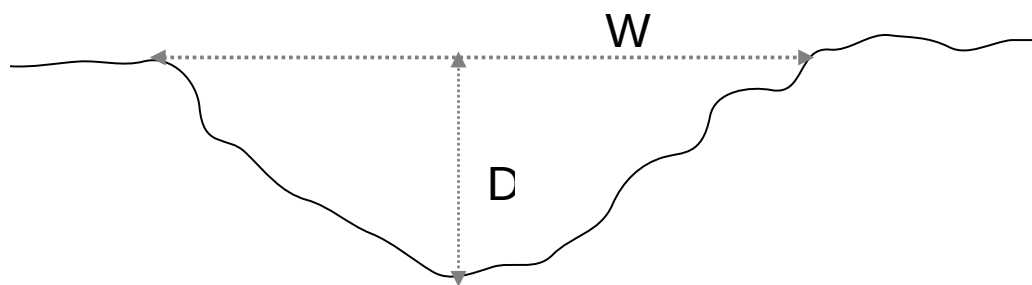
Udvikling af typetværsnit for vandløb til DK modellen

For at opnå bedre estimater for dimensioner af uopmålte vandløbstværsnit (bredde og dybde), de såkaldte typetværsnit, er der udviklet en stringent metode til der udnytter de tilgængelige data (kalibreringsdata) af vandløbstværsnit estimering af bredde og dybde ud fra oplandsarealets størrelse og geografiske placering.

Datagrundlag

Kalibreringsdata er de opmålte tværsnit indeholdt i DK-modellen. Hvert tværsnit indeholder data om bredde og maksimum-dybde. Det er ikke nærmere angivet hvor bredden (W) er målt, men det antages at være fra

øverste kronekant på den ene side af tværsnittet til øverste kronekant på den anden side af tværsnittet, se Figur 4. Det er ligeledes ikke angivet hvordan maksimum-dybden (D) er estimeret, men det antages at være afstanden målt fra en vandret linje mellem tværsnittets kronekanter og tværsnittets laveste punkt, se Figur 4. Det vurderes, at ovenstående antagelse vil være gældende for hovedparten af de opmålte tværsnit, der er anvendt i den videre analyse. I tilfælde af afvigelser herfra, vil det i altovervejende grad være i forbindelse med angivelsen af vandløbsbredden. Specielt for brede ådale kan åbrinken, afhængig af personen der foretager opmålingen, eksempelvis være defineret som bredden af den vandførende del af vandløbet ved en middel vandføring, eller som den maksimale udbredelse. Den største usikkerhed med anvendelse af data uden en forudgående manuel gennemgang af alle data, vurderes derfor at være relateret til den estimerede vandløbsbredde. Dette har imidlertid kun en begrænset betydning for nærværende opgave, idet fokus er på vandløbets vertikale placering, og dermed estimering af vandløbsbunden.



Figur 4. Skitsering af hvordan det antages at bredde (W) og maksimum-dybde (D) er opmålt i de tilgængelige tværsnitsdata.

DK-modellen indeholder i DK-model2009 versionen i alt 10846 tværsnit, der er en blanding af såvel feltopmålte tværsnit samt typetværsnit indlagt hvor, der ikke eksisterer tilstrækkeligt opmålte data. Det er kun de feltopmålte tværsnit der skal anvendes til at udvikle bedre typetværsnit og derfor er det nødvendigt at opstille kriterier som kan adskille de to grupper af tværsnit. Tværsnittene er defineret ved et antal punkter, der beskriver tværsnittets udformning. Type tværsnit er typisk defineret ved få punkter (3 – 4) mens de opmålte generelt indeholder væsentligt flere målepunkter. Det er derfor antaget at tværsnit defineret ved fire punkter eller mindre er type tværsnit, som derfor er fjernet fra kalibreringsdata før den videre analyse. Det reducerer datasættets størrelse til 6700 tværsnit. For at give mulighed for estimering af den årlige middelvandføring ved hvert tværsnit, blev de 6700 tværsnit knyttet til nærmeste vandføringsstation i DK-modellen vha. rumlig tilknytning (spatial join) i ArcGIS. Hvis et tværsnit ligger mere end 1000 m fra nærmeste vandføringsstation eller hvis tværsnittet ligger i et andet vandløb end nærmeste vandføringsstation, udelukkes tværsnittet fra videre analyse. Desuden blev tværsnit på over 100 m fjernet fra analysen, da de oftest var tværsnit af søer. Det reducerer antallet af kalibreringsdata til 263 tværsnit for hele Danmark.

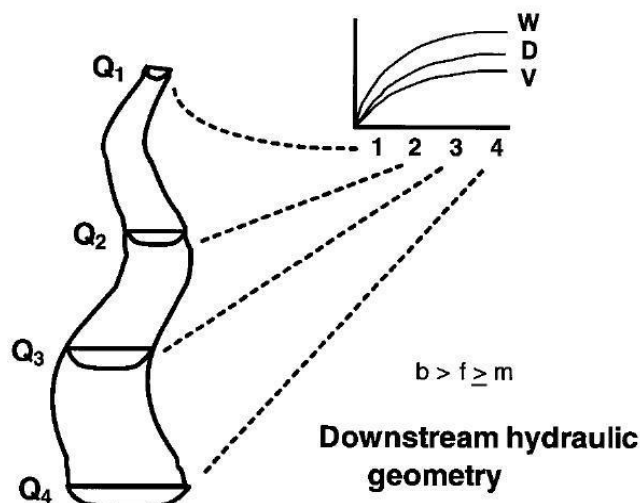
Det endelige datasæt blev delt op i 6 georegioner (Bornholm er ikke medtaget i analysen), hvor det forventes at vandløbene indenfor hver region minder om hinanden:

1. Nordjylland, svarer til DK-modellens område 6. Området indeholder 62 tværsnit, der indgik i analysen
2. Vestjylland, defineret som arealet vest for hovedopholdslinjen i DK-modellens område 4 og 5. Området indeholder 57 tværsnit medtaget i analysen
3. Østjylland, der udgøres af området øst for hovedopholdslinjen i DK-modellens delområde 4 og 5. I området er der medtaget 45 tværsnit.
4. Fyn, område 3 i DK-modellen, her er der identificeret 21 opmålte tværsnit med tilhørende vandføringer.
5. Sjælland, DK-model område 1, indeholder 67 der er medtaget i analysen
6. Lolland-Falster, svarende til delområde 2 i DK-modellen. Herfra er der medtaget 11 tværsnit i analysen.

Metode

Generalisering af vandløbsdimensioner

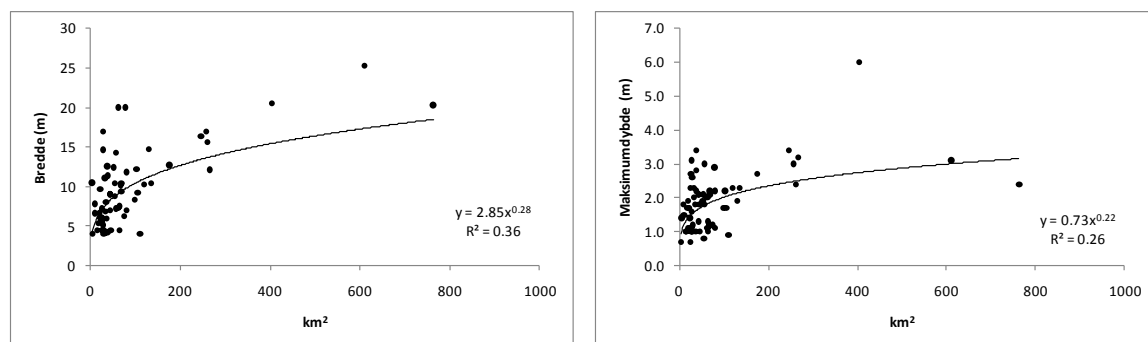
Leopold & Maddock (1953) har foreslået potensfunktioner som empirisk model til beskrivelse af relationen mellem middelvandføring ($\bar{Q}$) og dybde (D), vandhastighed (V) eller vandløbsbredde (W), nedstrøms i et vandløb (Figur 5). Det vil sige hvordan vandløbsdimensionerne udvikler sig som funktion af øget relativ vandføring og dermed oplandsareal. Metoden er hyppigt anvendt i studier af vandløbshydrauliske dimensioner (Booker & Dunbar 2008; Jowett 1998; Lamouroux et al. 1998; Saraeva & Hardy 2009).



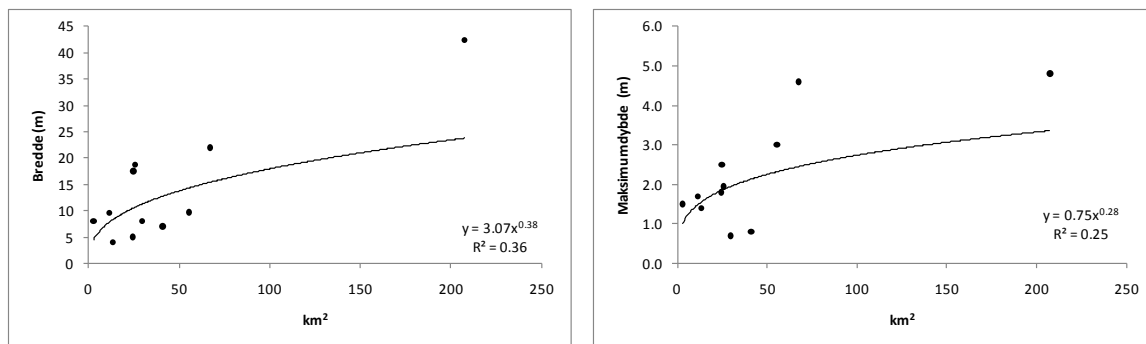
Figur 5. Skitsering af hvordan potensfunktioner kan anvendes til at beskrive relation mellem dybde (D), vandhastighed (V) eller vandløbsbredde (W) som funktion af middelvandføring ($\bar{Q}$) når man bevæger sig ned ad et vandløb. Fra Rosenfeld et al. (2007).

Årlig middelvandføring og oplandsareal fra vandføringsstationerne fra kalibreringsdataene er signifikant positivt korreleret (r^2 : 0.77-0.99 for alle stationer og r^2 : 0.57-0.96 for stationer <60km²). Derfor blev oplandsareal anvendt i stedet for middelvandføring i den videre analyse. Ved at anvende arealet fremfor målte vandføringer er det på sigt muligt at udvide datagrundlaget for analysen, idet det via GIS operationer er muligt at associere et oplandsareal til et vilkårligt tværsnit.

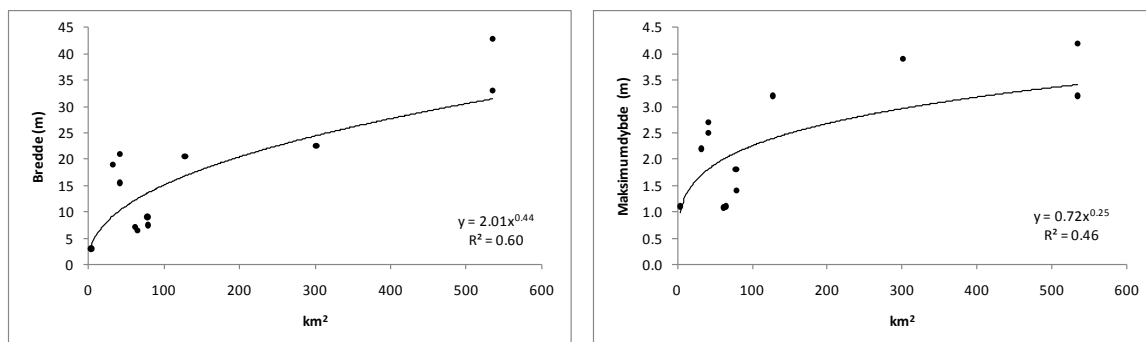
Indenfor hver georegion blev bredde og dybde fra hvert kalibreringstværsnit plottet mod oplandsareal fra den nærmeste vandføringsstation og der blev fittet en potensfunktion til hvert plot (Figur 6-Figur 11). Datapunkter med stærkt afvigende værdier (outlier) blev taget ud af datasættet, f.eks. blev der på Sjælland fundet en station med et oplandsareal på 19 km² og en maksimumdybde på 4 m, hvilket er dobbelt så meget som andre stationer med samme oplandsareal. Vurderingen af hvorvidt et datapunkt var stærkt afvigende eller ej blev foretaget subjektivt.



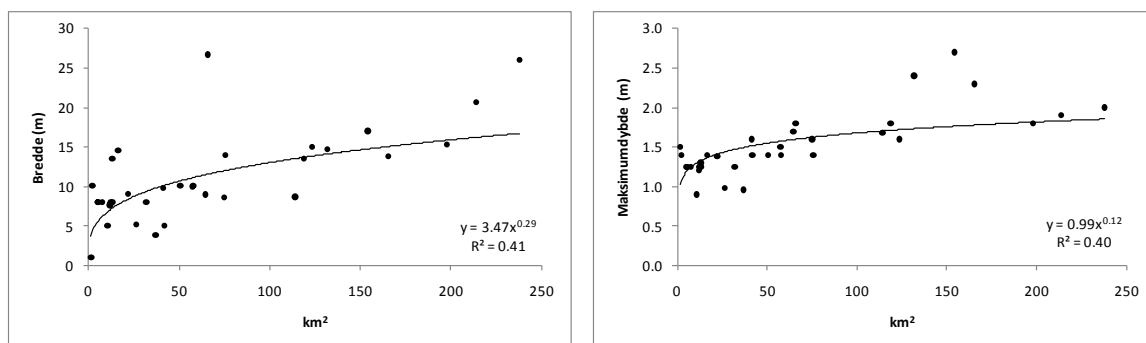
Figur 6. Dimensionering af vandløbstværsnit på Sjælland (novomr1): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).



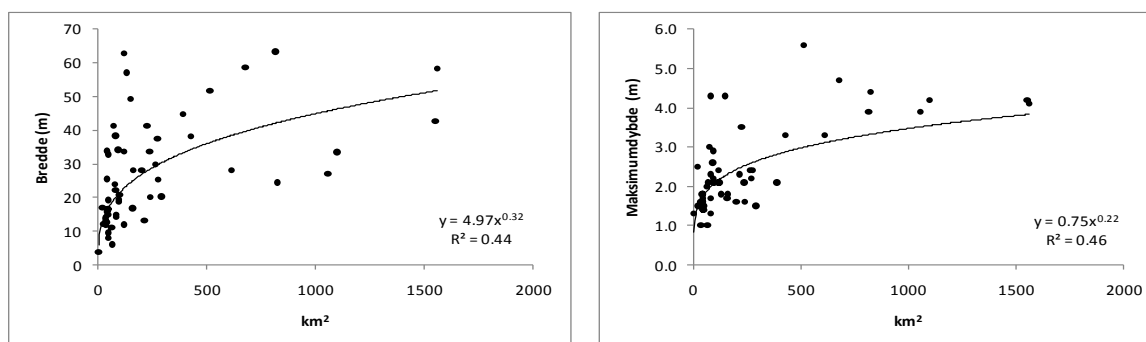
Figur 7. Dimensionering af vandløbstværsnit på Lolland-Falster (novomr2): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).



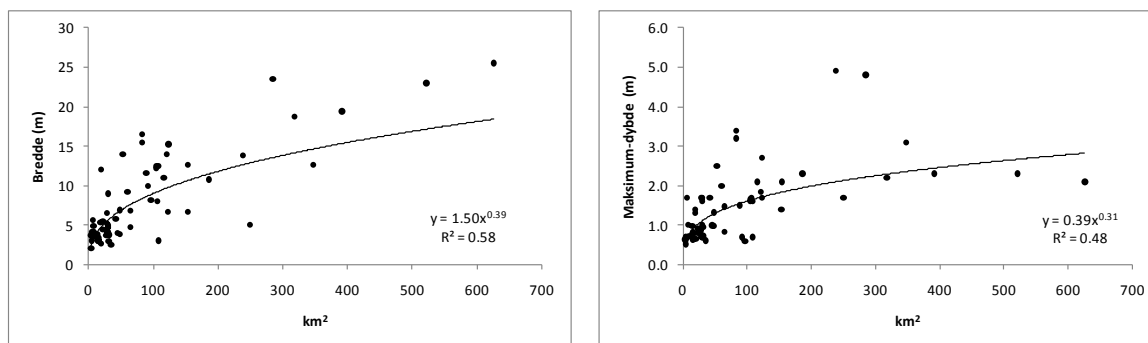
Figur 8. Dimensionering af vandløbstværsnit på Fyn (novomr3): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).



Figur 9. Dimensionering af vandløbstværsnit i Østjylland (novomr4 og 5 øst for hovedopholdslinjen): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).



Figur 10. Dimensionering af vandløbstværsnit i Vestjylland (novomr4 og 5 vest for hovedopholdslinjen): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).



Figur 11. Dimensionering af vandløbstværsnit i Nordjylland (novomr6): a) relation mellem vandløbsbredde og oplandsareal (km²); b) relation mellem vandløbsdybde og oplandsareal (km²).

Potensfunktioner var bedre til at beskrive relationen mellem oplandsareal og bredde (r^2 : 0.36-0.6) end relationen mellem oplandsareal og maksimumdybde (r^2 : 0.25-0.48). Relationerne blev anvendt til at fremstille to tabeller med estimerede bredder og dybder for typetværsnit af vandløb med forskellige oplandsareal for hver region, Tabel 3 og Tabel 4. I tabellerne er regionerne angivet ved DK-modellens delområde numre, hvor 4/5E og 4/5V er hhv. den østlige og vestlige del af områderne 4 og 5. For type 7, oplande over 60 km², blev der anvendt et oplandsareal på 100 km² til estimering af bredde og maksimumdybde.

Tabel 3. Estimeret bredde af typetværsnit af uopmålte vandløbstværsnit i DK-model med oplandsareal af forskellig størrelse.

Type/Omr	1	2	3	4/5E	4/5V	6
Start	1	1	1	1	1	1
1 (<10km ²)	5.5	7.4	9.3	6.9	10.4	3.7
2 (10-20km ²)	6.6	9.7	10.6	8.4	12.9	4.8
3 (20-30km ²)	7.4	11.3	11.4	9.4	14.7	5.6
4 (30-40km ²)	8.1	12.6	12.0	10.2	16.1	6.3
5 (40-50km ²)	8.6	13.8	12.5	10.9	17.3	6.9
6 (50-60km ²)	9.0	14.8	12.9	11.4	18.3	7.4
7 (>60km ²)	10.4	18.0	14.2	13.2	21.6	9.0

Tabel 4. Estimeret maksimumdybde af typetværsnit af uopmålte vandløbstværsnit i DK-model med oplandsareal af forskellig størrelse.

Type/NovOmr	1	2	3	4/5E	4/5V	6
Start	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	0.8
1 (<10km ²)	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	0.8
2 (10-20km ²)	1.4	1.7	1.5	1.4	1.5	1.0
3 (20-30km ²)	1.5	2.0	1.7	1.5	1.6	1.1
4 (30-40km ²)	1.6	2.1	1.8	1.5	1.7	1.2
5 (40-50km ²)	1.7	2.3	1.9	1.5	1.8	1.3
6 (50-60km ²)	1.8	2.4	2.0	1.6	1.9	1.4
7 (>60km ²)	2.0	2.7	2.3	1.7	2.1	1.6

De estimerede bredder og maksimumdybder anvendes til dimensionering af tværsnittet længst nedstrøms på vandløbsstrækningen. Tværsnittet længst opstrøms på vandløbsstrækningen (Start) blev dimensioneret med en bredde på 1 m og en maksimumdybde svarende til maksimumdybden af tværsnit med et oplandsareal på <10km² (Tabel 3 og Tabel 4).

Dimensioner af nye vandløbsstrækninger

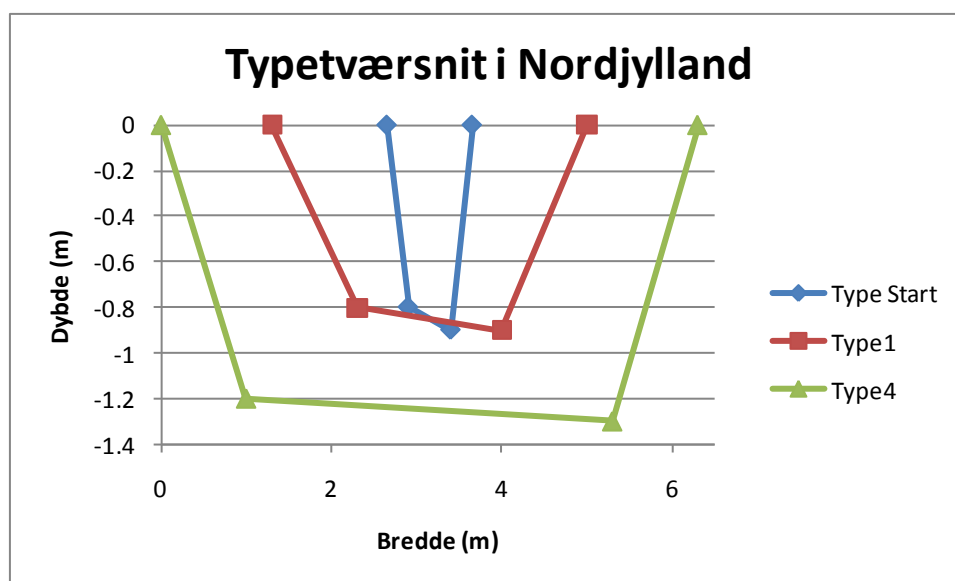
Oplandsareal for nye strækninger

Som beskrevet i tidligere afsnit er der udvalgt 133 nye vandløbsstrækninger, der skal inkluderes i MIKE11-setupet for DK-modellen. For at estimere oplandsareal for hver af de 133 strækninger er hver strækning konverteret til et punkt i ArcGIS svarende til midt på vandløbsstrækningen. Hvert punkt blev i ArcGIS joinet med oplandspolygoner baseret på 1. og 2. ordens oplande samt georegionerne. De 133 strækninger blev således klassificeret i forhold til georegion (1-6) og oplandsareal (Type 1-7). Denne halvautomatiske procedure til kobling af vandløbsstrækninger til georegion samt oplandsstørrelse blev efterfølgende kvalitetssikret ved manuel kontrol. I tilfælde hvor det ikke var muligt at associere et oplandsareal til vandløbsstrækningerne baseret på polygon temaet over 1. og 2. ordens vandløbsoplande, blev oplandsarealet manuelt estimeret i forhold til de 7 oplandstyper (Tabel 3 og Tabel 4).

MIKE11 setup

I MIKE 11 blev der oprettet nye opsætninger svarende til DK-modellen delområder 1, 2 og 4 – 6. For Fyn (område 3) blev der ikke udvalgt nye delstrækninger, hvorfor der ikke blev oprettet en ny MIKE 11 opsætning for Fyn.

De 133 nye vandløbsstrækninger er indlagt i MIKE11 vandløbsnetværksfiler (.nwk11 format) og tilrettet en 500m opløsning. Hver strækning er koblet med en ny MIKE11 tværsnitsfil (.xns11 format) indeholdende typetværsnit. Maksimal dybde og bredde for typetværsnittene er angivet i Tabel 3 og Tabel 4. Fra kronekant til maksimumdybde i typetværsnit er den vandrette afstand en meter for de nedstrøms tværsnit, mens afstanden er 25cm for Start tværsnit (Figur 12).



Figur 12. Eksempler på typetværsnit for opstrøms Start tværsnit og nedstrøms tværsnit for Type 1 og Type 4 tværsnit i Nordjylland (Novomr 6).

Vandløbstværsnittene er indlagt ved at placere et typetværsnit ved start og slut af de indlagte vandløbsstrækninger. Opstrøms er "Start" typetværsnit for det respektive delområde anvendt, mens størrelsen af de nedstrøms tværsnit er bestemt af oplandsstørrelsen. Imellem de to typetværsnit er der interpoleret tværsnit for hver 500m, hvilket er foretaget med den indbyggede interpolationsrutine i MIKE 11. For hver region blev MIKE11 netværksfilen rettet op til den rette topografiske placering vha. programmet Mike 11 Cross Section height editor (HydroInform 2010) og en digital højdemodel (DEM) for Danmark. Netværksfil og tværsnitsfil blev herefter integreret med det allerede eksisterende MIKE11-setup i DK-modellen.

Forslag til forbedring af vandløbssetup i DK-model

Den første udfordring ved at udvælge tværsnit til et kalibreringsdatasæt er at identificere de tværsnit der er opmålt i felten og frasortere typetværsnittene. I nærværende projekt blev det antaget, at vandløbstværsnit med flere end fire punkter er typetværsnit. Det er vigtigt, at det kun er feltopmålte tværsnit der indgår i kalibreringsdatasættet og det vil derfor være en fordel at udvikle metoden til udvælgelse af kalibreringsdata.

Det vil være muligt at udvide mængden af kalibreringsdata ved at estimere oplandsareal for hver vandløbsstrækning (nedstrøms tværsnit) i stedet for at anvende oplandsareal fra en vandføringsstation der maksimalt ligger 1000 m fra tværnittet. I denne del af udvælgelse af kalibreringsdata blev kalibreringsdatasættet reduceret fra 6700 tværsnit til 263 tværsnit. Oplandsareal kan estimeres fra den samme type oplandspolygoner, som også anvendes til estimering af oplandsareal til de nye vandløbsstrækninger, eller ved at bestemme oplandsareal vha. en DEM i ArcGIS.

Arealfordelingen for de 133 nye strækninger, der er inkluderet i den gennemførte analyse, er tydeligt anderledes end arealfordelingen for de 263 tværsnit, der er inkluderet i kalibreringsdatasættet (Tabel 5). Ved at anvende et større kalibreringsdatasæt er det muligt at forskellen i arealfordeling udlignes.

Tabel 5. Relativ fordeling af oplandsarealer for nye strækninger der skal inkluderes i DK-model og oplandsarealer for kalibreringsdata der er anvendt til opstilling af dimensioner af typetværsnit.

Areal	Nye strækninger i DK-model	Stationer fra kalibreringsdata
<30 km ²	86%	30%
30-60 km ²	9%	24%
>60 km ²	5%	47%

I nærværende analyse blev det antaget, at den angivne vandløbsbredde af de opmålte vandløb, er den vandfyldte bredde. Denne antagelse vurderes rimelig for hovedparten af vandløbene i områder karakteriseret ved stort ler indhold i de øverste jordlag (Område 1 – 3 samt 4/5E). I de sandede områder kan opmålingerne imidlertid præsentere bredde ådale, der kun ved høje vandføringer oversvømmes. Det kan derfor være relevant med en manuel gennemgang af vandløbstværsnittene anvendt som kalibreringsdata, for vurdering af hvad der skal anvendes som reference for beregning af vandløbsbredden. Endvidere vil det være en fordel at udvikle en stringent og gennemskuelig metode til at udelukke afvigende kalibreringsdata (bredde og maksimumdybde) fra regressionsanalysen mellem oplandsareal og bredde eller maksimumdybde. I nærværende analyse blev der rent skønsmæssigt vurderet hvilke datapunkter, der var stærkt afvigende fra en relation, som kan beskrives med en potensfunktion.

Konklusioner

Den opstillede metode samt anvendelsen heraf giver en betydelig mere stringent metode til indplacering af vandløb i DK-modellen. Med det udviklede værktøj, er ressourcerne ved udbygning af vandløbsnetværket endvidere reduceret ganske betragteligt. Metode og software programmet er ikke begrænset til anvendelse i forbindelse med opdatering af DK-modellen, men kan anvendes ved enhver modelopstilling baseret på MIKE SHE/MIKE 11. Samlet set gør metode og program det således væsentligt mere operationelt at anvende DK-modellen som udgangspunkt for lokalmodeller, hvori der er behov for en udbygning af vandløbsnetværket til opnåelse af en mere detaljeret beskrivelse.

Analysen af korrelationen mellem vandløbsdybde/-bredde og oplandsstørrelse, viser en væsentlig spredning af datapunkterne. Der er derfor en betydelig usikkerhed forbundet med de opstillede relationer mellem oplandsstørrelser og dybde/bredde forhold. I tilfælde hvor den samlede vandføring i vandløbene er i fokus, er det primært vandløbsdybden der er vigtig, da denne bestemmer den vertikale placering af vandløbet, og dermed indvirker på den beregnede gradient mellem vandet i vandløbene og grundvandsmagasinet. Af graferne på Figur 6 - Figur 11 fremgår det, at usikkerheden på vandløbsbunden generelt ligger på omkring en meter, dog med afvigelser mellem de observerede data og regressionen på op til ca. 3 m. Ved anvendelse af DK-modellen til estimering af de overordnede vandbalanceforhold på stor skala vurderes en usikkerhed på ca. 1 m ved den vertikale placering af vandløb fuldt tilstrækkeligt i sammenligning med den udglatning af den topografiske variation, der introduceres ved anvendelse af 500 x 500 m grid celler. Hvor lokale forhold ønskes belyst kan en yderligere præcision imidlertid være relevant. Dette kan enten være i forbindelse med opstilling af nye modeller eller ved anvendelse af DK-modellen på mindre skala. En bedre præcision vil kunne opnås ved udførelse af forslagene skitsere under forrige afsnit. Da typetværsnit kun

giver en grov beskrivelse af vandløbenes dimensioner, vil metoden ikke kunne anvendes i opgaver til simulering af oversvømmelser, idet dette kræver en detaljeret beskrivelse af vandløbets udformning samt den topografiske variation omkring vandløbet.

Referencer

Booker, D.J. og Dunbar, M.J. (2008) Predicting river width, depth and velocity at ungauged sites in England and Wales using multilevel models. *Hydrological Processes* 22(20), 4049-4057.

HydroInform (2010) Mike 11 Cross Section height editor er et Open Source software der er udviklet af HydroInform til placere MIKE11 netværksfiler topografisk korrekt i forhold til en digital højdemodel. Programmet kan downloades fra:
<http://code.google.com/p/hydronumerics/downloads/detail?name=CrossSectionHeights.msi&can=2&q=>

Højberg AL., Troldborg L., Nyegaard P., Ondracek M., Stisen S. & Christensen BSB (2010) DK-model 2009 – Sammenfatning af opdateringen 2005 – 2009. GEUS rapport 2010/81, København

Jowett, I.G. (1998) Hydraulic geometry of New Zealand rivers and its use as a preliminary method of habitat assessment. *Regulated Rivers: Research & Management* 14(5), 451-466.

Lamouroux, N., Capra, H. og Pouilly, M. (1998) Predicting habitat suitability for lotic fish: Linking statistical hydraulic models with multivariate habitat use models. *Regulated Rivers: Research & Management* 14(1), 1-11.

Leopold, L.B. og Maddock, T.M. (1953) The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *Geological Survey Professional Paper*, 252. U.S. Department of the Interior, Washington.

Rosenfeld, J.S., Post, J., Robins, G. & Hatfield, T. (2007) Hydraulic geometry as a physical template for the River Continuum: application to optimal flows and longitudinal trends in salmonid habitat. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64(5), 755-767.

Saraeva, E. og Hardy, T.B. (2009) Prediction of fisheries physical habitat values based on hydraulic geometry and frequency distributions of depth and velocity. *The International Journal of River Basin Management* 7(1), 31-10.

Bilag 1

Oversigt over vandløbsstationer i overvågningsprogrammet

St. nr.	Type	Areal	MC	Vandløb	Q	q	andet
20005	1	123.36	Aalborg	Elling Å	12		
30002	1	347.49	Aalborg	Uggerby Å	12		
30003	1	152.98	Aalborg	Uggerby Å	12		
40005	1	#I/T	Aalborg	Liver Å			x
50003	1	238.66	Aalborg	Voer Å	12		
60001	1	284.73	Aalborg	Ry Å	12		
70003	1	106	Aalborg	Lindholm Å	12		
80001	1	153.79	Aalborg	Gerå	12		
90001	1	99.9	Aalborg	Stor Å	?		
90021	1	123.2	Aalborg	Tranum Å	12		
100009	1	105	Aalborg	Herreds Å	12		
110011	1	238.26	Aalborg	Hvidbjerg Å	12		
110016	1	105	Aalborg	Årup Å	12		
130010	1	#I/T	Aalborg	Trend Å	12		
140016	1	317.82	Aalborg	Lindenberg Å	12		
140020	1	3.37	Aalborg	Refskær Bæk			*
140022	1	213.84	Aalborg	Lindenberg Å	12		
150002	1	96.29	Aalborg	Kastbjerg Å			x
150032	1	82.33	Aalborg	Haslevgårds Å	12		
150035	1	#I/T	Aalborg	Villestrup Å			*
160023	1	16.89	Ringkøbing	Bredkær Bæk	10		
160024	1	24.65	Ringkøbing	Fald Å	10		
160030	1	11.29	Ringkøbing	Lyby-Grønning Grøft	12		
160070	1	28	Ringkøbing	Vium Mølleå	7		
170004	1	15.16	Ringkøbing	Hvam Bæk	13		
170007	1	217.59	Ringkøbing	Simested Å	9		
180077	1	556.43	Ringkøbing	Skals Å	9		
190012	1	110.85	Ringkøbing	Jordbro Å	13		
190015	1	17.12	Ringkøbing	Lånum Bæk	13		
200024	1	626.5	Ringkøbing	Karup Å	9		
200026	1	522	Ringkøbing	Karup Å	12		
210030	1	32.21	Århus	Knud Å	12		
210062	1	119.81	Århus	Salten Å	12		
210072	1	3.95	Århus	Ellerup Bæk	15		
210084	1	1282.42	Århus	Guden Å	12		
210085	1	184.48	Århus	Guden Å	12		
210089	1	376.57	Århus	Guden Å	10		
210090	1	11.86	Ribe	Guden Å	10		
210110	1	2.95	Århus	Skærbæk	12/3		
210413	1	237.94	Århus	Alling Å	15		
210461	1	1790	Århus	Gudenå	12		
210467	1	2602.95	Århus	Guden Å			x
210528	1	41.2	Århus	Funder Å	12		
210548	1	301	Århus	Lilleå	12		

St. nr.	Type	Areal	MC	Vandløb	Q	q	andet
210572	1	1.34	Århus	Venge Bæk		18	
210794	1	230.2	Århus	Nørre Å	12		
210861	1	0.49	Århus	Rustrup Skovbæk		12/3	
210872	1	21.96	Århus	Ølholm Bæk	12		
210873	1	0.73	Århus	Holmsbæk		18	
220043	1	15.11	Ringkøbing	Ellebæk	10		
220047	1	5.38	Ringkøbing	Hestbæk	12/3		
220048	1	22.19	Ringkøbing	Idum Å	10		
220050	1	83	Ringkøbing	Råsted Lille Å	10		
220053	1	46.19	Ringkøbing	Sunds Møllebæk	12		
220062	1	1097.05	Ringkøbing	Storå	6		
230173	1	#I/T	Århus	Krakær Bæk		12/3	
240061	1	0.58	Århus	Feldbæk	18		
250020	1	117.26	Ringkøbing	Holtum Å	10		
250021	1	46.5	Ribe	Brande Å	10		
250075	1	91.8	Ringkøbing	Hover Å	15		
250078	1	611.66	Ringkøbing	Omme Å	10		
250082	1	1054.58	Ringkøbing	Skjern Å	12		
250086	1	80.63	Ringkøbing	Tim Å	10		
250097	1	1550	Ringkøbing	Skjern Å	6		
250707	1	#I/T	Ringkøbing	Ejstrup Bæk	12/3		
260080	1	323.53	Århus	Århus Å			x
260082	1	118.64	Århus	Århus Å	14		
260096	1	131.47	Århus	Lyngbygårds Å	12		
270004	1	74.96	Århus	Lille-Hansted å	12		
270045	1	136.26	Århus	Hansted Å		10	
280001	1	154.19	Århus	Bygholm Å	12		
290008	1	97.82	Århus	Rohden Å	12		
300013	1	15.71	Ribe	Langslade Rende	12/3		
310027	1	814.5	Ribe	Varde Å	10		
310032	1	14.61	Ribe	Frisvad Møllebæk	10		
320001	1	197.77	Ribe	Vejle Å	12		
320004	1	63.41	Ribe	Grejs Å	12		
320022	1	29.32	Ribe	Højen Å	12		
330004	1	64.59	Ribe	Spang Å	10		
340002	1	79.9	Ribe	Vester-Nebel Å	12		
340003	1	89.92	Ribe	Kolding Å	12		
340019	1	269.4	Ribe	Kolding Å			x
340024	1	141.12	Ribe	Harteværket	12		
350006	1	212.86	Ribe	Bramming Å			x
350010	1	223.37	Ribe	Sneum Å	12		
350011	1	6.64	Ribe	Solbjerg-Lunde Bæk	12		
350013	1	10.11	Ribe	Stenderup Bæk	12		
360009	1	426.67	Ribe	Konge Å	12		
360012	1	9.51	Ribe	Gamst Møllebæk	10		
370011	1	29.47	Ribe	Solkær Å	12		
370034	1	106.3	Ribe	Haderslev Møllestrøm	-	14	*
370036	1	4.92	Ribe	Kær Mølle Å	14		
370038	1	65.79	Ribe	Taps Å	14		
380020	1	10.8	Ribe	Blå Å, (Lille Å)	14		

St. nr.	Type	Areal	MC	Vandløb	Q	q	andet
380023	1	118.32	Ribe	Hjortvad Å	10		
380024	1	675.4	Ribe	Ribe Å	12		
390001	1	94.07	Ribe	Brøns Å	12		
390002	1	43.48	Ribe	Rejsby Å	12		
400001	1	290.04	Ribe	Brede Å	12		
410012	1	13.37	Ribe	Elsted bæk	14		
410014	1	19.32	Ribe	Fiskbæk	14		
410016	1	12.23	Ribe	Pulver bæk	14		
410020	1	31.91	Ribe	Blå Å, Bovrup bæk	14		
420016	1	563.26	Ribe	Grøn Å	12		
420021	1	247.71	Ribe	Vidå	12		
430001	1	136.79	Odense	Storå	12		
440021	1	127.63	Odense	Vindinge Å	15		
450001	1	535.07	Odense	Odense Å	12		
450002	1	535.04	Odense	Odense Å	a)		a)
450003	1	485.86	Odense	Odense Å	15		
450004	1	301.61	Odense	Odense Å	12		
450005	1	78	Odense	Stavis Å	15		
450043	1	64.74	Odense	Lindved Å	12		
450058	1	26.68	Odense	Geels Å	12		
450059	1	0.38	Odense	Holstenhuus	12/3		
460001	1	102.52	Odense	Brende Å	15		
460017	1	78.48	Odense	Hårby Å	15		
460030	1	70.89	Odense	Brende Å	12		
470001	1	57.77	Odense	Hundstrup Å	12		
470036	1	39.98	Odense	Vejstrup Å	15		
470037	1	53.33	Odense	Stokkebækken	15		
480006	1	6.13	Roskilde	Fønstrup Bæk		12/3	
480007	1	36.31	Roskilde	Højbro Å	12		
480010	1	57.75	Roskilde	Søborg Kanal		13	
480011	1	8.9	Roskilde	Østerbæk	12		
490066	1	31.97	Roskilde	Pøle Å	12		
500048	1	5.15	Roskilde	Kighanerenden	12		
500056	1	62.42	Roskilde	Nive Å	12		
500057	1	74.39	Roskilde	Usserød Å	12		
500058	1	8.39	Roskilde	Hestetangs å	12		
510020	1	62.34	Roskilde	Lammefjord Sø.			x
510024	1	104.69	Roskilde	Tuse Å	12		
520020	1	29.12	Roskilde	Nybølle Å	12		
520025	1	25.37	Roskilde	Græse Å	12		
520029	1	102.17	Roskilde	Havelse Å	12		
520033	1	5.42	Roskilde	Mademose Å	12		
520039	1	110.52	Roskilde	Værebø Å	12		
520068	1	175.48	Roskilde	Langvad Å	10		
520198	1	32.11	Roskilde	Kollerød å	12		
520199	1	26.49	Roskilde	Maglemose Å	10		
530010	1	25.51	Roskilde	Ll. Vejle Å	12		
530011	1	51.85	Roskilde	St. Vejle Å	12		
530028	1	63.85	Roskilde	Damhusåen	12		
530029	1	22.44	Roskilde	Ladegårdsåen			x
540002	1	13.97	Nykøbing	Fladmose Å	12		

St. nr.	Type	Areal	MC	Vandløb	Q	q	andet
550017	1	112.31	Roskilde	Åmose Å	12		
560001	1	53.66	Nykøbing	Bjerger Å	12		
560002	1	68.34	Nykøbing	Seerdrup Å	12		
560003	1	59.49	Nykøbing	Tude Å	12		
560005	1	260.74	Nykøbing	Tude Å	12		
560006	1	15.97	Nykøbing	Harrested Å	12		
560007	1	147.97	Nykøbing	Tude Å	12		
570049	1	63.84	Nykøbing	Saltø Å	12		
570052	1	21.3	Nykøbing	Fladså	17		
570055	1	150.94	Nykøbing	Saltø Å	17		
570063	1	12.26	Nykøbing	Haraldsted Å	12		
580019	1	4.25	Roskilde	Borup Bæk	10		
580047	1	134.32	Roskilde	Køge Å	10		
590006	1	129.22	Roskilde	Tryggevelde Å	12		
600027	1	7.84	Nykøbing	Hulebæk	17		
600031	1	42.88	Nykøbing	Mern Å	17		
600035	1	18.15	Nykøbing	Lille Å	17		
600036	1	54.2	Nykøbing	Tubæk	17		
610013	1	55.3	Nykøbing	Fribrødre Å	17		
620015	1	24.7	Nykøbing	Marebæksrende	17		
620017	1	79	Nykøbing	Ryde Å			x
640025	1	42.13	Nykøbing	Nældevads Å	17		
650001	1	207.4	Nykøbing	Hovedkanal			x
660014	1	41.91	Roskilde	Bagge Å	12		
670017	1	47.72	Roskilde	Øle Å	12		
670018	1	23.61	Roskilde	Kobbe Å	12		
670019	1	9.32	Roskilde	Øle Å	12/3		
	1	#I/T	Nykøbing	Banholm Havn	12		
	1	#I/T	Nykøbing	Hule bæk	12		
210040	2	31.3	Århus	Nimdrup Bæk			x
210487	2	27.63	Århus	Mausing Møllebæk	10		
210648	2	2.29	Århus	Hylte Bæk		18	
210759	2	10.59	Århus	Javngyde Bæk	12		
210786	2	3.14	Århus	Haurbæk	10		
210803	2	10.61	Århus	Skjellegrøften	10		
250734	2	11.25	Ringkøbing	Dybdal Bæk	14		
320017	2	5.98	Ribe	Engelsholm Sø		14	
360018	2	3.33	Ribe	Søgård Sø		10	
360086	2	#I/T	Ribe	Hjarup Bæk		14	
450034	2	6.59	Odense	Arreskov Sø	15		
450035	2	2.56	Odense	Arreskov Sø		15	
450090	2	0	Odense	Rislebæk	15		
460018	2	4.15	Odense	Søholm Sø	15		
490094	2	98.88	Roskilde	Pøle Å	12		
550018	2	292.07	Roskilde	Åmose Å	12		
570044	2	15.17	Nykøbing	Hulebæk	12		
570050	2	610.47	Nykøbing	Suså	12		
620022	2	15.43	Nykøbing	Åmoserenden	17		
480004	3	128.19	Roskilde	Esrum Å,	12		
490054	3	257.14	Roskilde	Arresø Kanal			x
500051	3	120.6	Roskilde	Mølle Å	12		

St. nr.	Type	Areal	MC	Vandløb	Q	q	andet
520063	3	67.89	Roskilde	Hove Å	10		
550015	3	402.99	Roskilde	Ndr. Halleby Å	12		
570058	3	763.28	Nykøbing	Suså	12		
250733	4	29.56	Ribe	Odderbæk	14		
320031	4	0.6	Ribe	Engelsholm Sø		16	
490057	4	19.38	Roskilde	Lyngby Å			x
490061	4	12.38	Roskilde	Æbelholt Å		6	
500046	4	34.45	Roskilde	Fiskebæk			x
500055	4	9.09	Roskilde	Vejlesø Kanal			x
210666	6	35.12	Århus	Knud Å			x
420017	6	3.57	Ribe	Slogsbæk		15	
420019	6	3.13	Ribe	Balledam kanal		15	
210665	7	57.24	Århus	Knud Å	6		
210712	7	53.79	Århus	Hinge Å	10		
210745	7	48.22	Århus	Bryrup Å	12		
250085	7	1.56	Ringkøbing	Søby Å	19		
310031	7	0.57	Ribe	Kvie Sø	12		
320013	7	15.67	Ribe	Vejle Å	19		
420022	7	44.89	Ribe	Bjerndrup Mølleå	26		
450045	7	29.51	Odense	Odense Å	26		
460019	7	5.95	Odense	Søholm Sø	26		
500050	7	78.16	Roskilde	Mølle Å			x
620012	7	29.74	Nykøbing	Halsted Å	21		
130011	8	11.43	Aalborg	Odderbæk	12		
210752	8	4.8	Århus	Horndrup Bæk	18		
420012	8	7.77	Ribe	Bolbro bæk	26		
470033	8	4.36	Odense	Lillebæk	26		
620014	8	9.85	Nykøbing	Højvandsrende	26		

Anvendte forkortelser og forklaring i tabellen:

St. nr.:

Stationsnummer, der skal anvendes ved den årlige indberetning til Fagdatacenter for Ferskvand

Type:

- 1: stationen anvendes kun i vandløbsprogrammet,
- 2: stationen er aftalt i vandløbsprogrammet, men anvendes også som søtilløb,
- 3: stationen er aftalt i vandløbsprogrammet, men anvendes også som søafløb,
- 4: stationen er aftalt i søprogrammet (tilløb), men anvendes også i vandløbsprogrammet,
- 5: stationen er aftalt i søprogrammet (afløb), men anvendes også i vandløbsprogrammet,
- 6: stationen er aftalt i søprogrammet (tilløb), og anvendes kun i dette program,
- 7: stationen er aftalt i søprogrammet (afløb), og anvendes kun i dette program,
- 8: stationen er aftalt i LOOP, og anvendes kun i dette program,
- 9: stationen er aftalt i LOOP, men anvendes også i vandløbsprogrammet.

MC:

Angiver i hvilket miljøcenter stationen er placeret.

Vandløb:

Angiver vandløbsnavn, eventuelt er også angivet nummer som amts - eller kommune vandløb. Vandløb uden navn angives normalt som tilløb til (T.T.)

Vandføring

Q:

Vandføringen Q måles ved fast Q/h -station (kontinuert). Det er i anført, hvor mange årlige vingemålinger, der som minimum forudsættes brugt til beregningerne af vandføring,

q :

Vandføringen q måles alene ved vingemålinger og daglige vandføringer beregnes ved efterfølgende relationer til station(er) med kontinuert Q/h -registrering. For disse stationer er anført den forudsatte mindste årlige vingemålingsfrekvens

andet:

Vandføringen måles/beregnes på anden vis end ved vingemåling.